



**Universidad  
de La Laguna**

---

# **Sistema estabilización Humphree**

**Montaje estabilizadores en un yate de 50 metros**

**Trabajo Fin de Grado**  
Grado en Tecnologías Marinas  
Julio de 2024

Autor:  
**Jose Giner Oliver**  
41.537.285K

Tutora:  
Dra. Amanda Peña Navarro

**Escuela Politécnica Superior de Ingeniería**  
**Sección Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval**  
Universidad de La Laguna

---

---

D<sup>a</sup>. Amanda Peña Navarro, Profesor de la UD de Ingeniería Marítima, perteneciente al Departamento de Construcciones Navales de la Universidad de La Laguna:

Expone que:

D. **Jose Giner Oliver** con **DNI 41537285K**, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: **Sistema de estabilización Humphree**.

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

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

En Santa Cruz de Tenerife a **XX** de julio de 2024.

Fdo.: Amanda Peña Navarro.

Tutora del trabajo.

---

Giner Oliver, Jose (2024). *Sistema de estabilización Humphree*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

## RESUMEN.

El sector náutico está en continuo crecimiento y es por ello que se debe dar respuesta a todos los servicios que este solicita. A medida que el sector va mejorando, la tecnología requiere de soluciones más específicas, dónde años atrás no tenían gran peso, es aquí donde el confort entra en su papel principal. La mejora de los sistemas de estabilidad de buques está en auge para la mejora del confort a bordo, tanto de tripulación como pasajeros y aunque existen infinidad de recursos en el segmento de los megayates se está priorizando los sistemas de estabilización Humphree que ayudan tanto al trimado del buque en navegación, como en condición de fondeo, así como a reducir el consumo considerablemente y aumentar el rendimiento del buque. En el siguiente trabajo se especifica el estudio y montaje del sistema de estabilización a un yate de 50 metros de eslora.

Para todo ello, se ha realizado un estudio minucioso de la ubicación de los estabilizadores, usando planos específicos y diagramas de esfuerzos del buque siempre siguiendo las recomendaciones del fabricante y del propio astillero. Posteriormente se detalla el montaje del mismo, creando los propios cofferdam que se acoplan los estabilizadores al buque, así como la realización de soldaduras. A continuación se realizarán los trabajos de conexión de todo cableado eléctrico tanto de los estabilizadores como de los controles del puente. Para finalizar el trabajo se presenta el proceso de pinturas para realizar su sellado y recubrimiento con el propio casco. Se concluye con la aportación de diagramas sobre la reducción de las escoras con el buque en navegación o en condición de buque fondeado y los beneficios que este aporta tanto al buque.

Palabras claves: [Yate, estabilizadores, soldadura, sistema eléctrico de estabilización].

---

Giner Oliver, Jose (2024). *Sistema de estabilización Humphree*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

## **ABSTRACT**

The nautical sector is continuously growing, and therefore, it is necessary to respond to all the services it requires. As the sector improves, technology demands more specific solutions, where years ago they did not have much significance. This is where comfort plays a key role. The improvement of ship stability systems is on the rise to enhance onboard comfort for both crew and passengers. Although there are countless resources in the megayacht segment, Humphree stabilization systems are being prioritized. These systems help in both trimming the ship during navigation and in anchoring conditions, as well as significantly reducing fuel consumption and increasing the ship's performance. This work specifies the study and installation of the stabilization system on a 50 meter yacht.

A meticulous study has been conducted on the placement of the stabilizers, using specific plans and stress diagrams of the ship, always following the recommendations of the manufacturer and the shipyard itself. Subsequently, the installation is detailed, creating the cofferdams that attach the stabilizers to the ship, as well as performing the necessary welding. Next, the connection of all electrical wiring, both for the stabilizers and the bridge controls, will be carried out. The work concludes with the painting process to seal and cover the stabilizers with the hull itself. The final section presents diagrams showing the reduction of heel with the ship in navigation or anchoring conditions and the benefits this provides to the ship.

Keywords: [Yacht, stabilizers, welding, stabilization electrical system].

---

---

## Índice del TFG

---

<b>1. Introducción.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>4</b>
2.1. Objetivos generales.....	4
2.2. Objetivos específicos.....	4
<b>3. Sistemas de estabilizadores.....</b>	<b>4</b>
<b>4. Sistema de estabilización Humphree.....</b>	<b>7</b>
<b>5. Características básicas y tipo de buque.....</b>	<b>9</b>
<b>6. Elección y ubicación del sistema de estabilización.....</b>	<b>10</b>
<b>7. Montaje de los estabilizadores.....</b>	<b>17</b>
7.1. Corte del casco.....	17
7.2. Fabricación cofferdam.....	19
7.3. Proceso de soldadura.....	20
7.4. Ensayo no destructivo.....	21
7.5. Sellado.....	23
7.6. Instalación eléctrica.....	26
7.7. Conexión de las aletas.....	36
<b>8. Pruebas de mar.....</b>	<b>37</b>
<b>9. Conclusiones.....</b>	<b>40</b>
<b>10. Anexo.....</b>	<b>41</b>
01.- Anexo I: Modos de funcionamiento del panel de control.....	41
<b>Bibliografía.....</b>	<b>43</b>

## 1. Introducción

El mundo de la náutica está en continuo desarrollo, tanto en la tipología de buques, como en sus prestaciones. Debemos tener en cuenta que para cubrir las necesidades actuales del sector hay que desarrollar medidas específicas, entre ellas, aparece el confort a bordo. Años atrás no se valoraba este tipo de aspectos ya que los buques eran una medida de trabajo efectiva para el transporte de mercancías pero a día de hoy el sector se está definiendo en infinidad de subsectores para distintos usos.

El principal y dónde aparece la necesidad de mejora en los servicios es en el transporte de pasajeros, tanto en aquellos ferrys que realizan una línea regular de algunas horas, como en buques de mayor porte que puedan realizar trayectos más grandes donde se apuesta por el confort de todas los pasajeros, hasta la llegada de los cruceros de grandes dimensiones que han revolucionado el sector de la náutica, apostando no solo como los buques como manera de trasladarse de un lugar a otro sino como una manera de vivir una experiencia a bordo a través de un itinerario definido, durante las vacaciones de los pasajeros, apostando por todo tipo de actividades, ocio y confort de todo tipo a bordo del propio buque. El auge de este tipo de buques hace que las necesidades del sector crezcan cada vez más y a mayor velocidad, ya que la demanda de los pasajeros cada vez es mayor o más exclusiva.

Otro de los sectores que encontramos en auge es el de las embarcaciones recreativas, cada vez son más los que usan una embarcación, no como un medio de transporte de mercancías o personas, sino como un lugar de ocio, el objeto del uso del buque cambia de manera exponencial y las necesidades que aparecen son completamente distintas y aunque hasta hace pocos años sólo se consideraban embarcaciones recreativas aquellos pequeños botes, dedicados a la pesca o la navegación interior, hoy en día encontramos buques recreativos de grandes esloras que realizan trayectos buscando todo tipo de confort y lujos. La náutica recreativa comenzó a popularizarse a partir del siglo XIX, cuando las personas de clase media y alta empezaron a tener acceso a embarcaciones para disfrutar de actividades de ocio en el mar. Sin embargo, la práctica de la navegación por diversión ha existido desde tiempos antiguos, con ejemplos como las regatas en la antigua Grecia o las travesías de ocio de los romanos. [1]

Por todo ello, podemos definir el confort se refiere a la sensación de bienestar, comodidad y satisfacción que experimenta una persona en un determinado entorno o situación. Puede estar relacionado con aspectos físicos, como la temperatura, la iluminación, el mobiliario y la acústica de un espacio, así como con aspectos emocionales, como sentirse

seguro, relajado y a gusto. El confort es un factor importante en la calidad de vida de las personas y puede influir en su estado de ánimo, productividad y salud por ello podemos decir que el confort a bordo será la capacidad que tienen las personas de adaptarse con más facilidad al propio buque o embarcación para que sea más agradable la estancia en dicho espacio. Hay que tener en cuenta que el mar es un ambiente hostil que aunque ha avanzado mucho la cobertura de todos los servicios sigue siendo un lugar dónde la adaptación suele ser complicada o no apta para todos.

Históricamente no se han desarrollado grandes sistemas para mejorar el confort, aunque podemos iniciarnos en los sistemas más básicos como pueden ser un espacio para la habitación, o los espacios de camarotes donde disfrutar de más privacidad o de un descanso placentero e incluso de manera imprescindible hoy en día, los sistemas de climatización a bordo que regulan, tanto en climas más fríos, como en aquellas épocas más calurosas, la temperatura en el interior del buque, para una estancia más agradable y un espacio de trabajo más seguro, todos ellos imprescindibles hoy en día en cualquier tipo de buque, sea cual sea su fin o propósito de navegación. [1]

Podemos definir la estabilidad del buque como la capacidad que tiene de mantenerse adrizado o en equilibrio incluso después de haberle aplicado diferentes fuerzas, ya sean internas (a través de la carga del buque) o externas (como puede ser el viento, corriente, oleaje) y que sea capaz de recuperar la posición de equilibrio para la seguridad del propio buque y que este asegure su navegabilidad. La estabilidad es crucial para garantizar la seguridad de la embarcación y de su tripulación, ya que un buque inestable corre el riesgo de volcarse o hundirse en condiciones adversas. La estabilidad siempre ha sido objeto de estudio tanto para situaciones de emergencia, como puede ser la recuperación de un buque después de una varada, o de una colisión, pero también para la propia carga del mismo, ya que se realizan de manera minuciosa todas las cargas y descargas que se realizan a bordo para que este sea operativo. Es por todo ello que aparece en el sector el concepto de la estabilización como medida de confort.

La mejora en los conceptos de estabilización ha hecho posible la oportunidad de reducir el movimiento a bordo del buque, hacer que las navegaciones sean más placenteras, a la vez que las personas se acerquen a este modelo de ocio o viajes, ya que reduce el miedo de padecer mareos o malestar durante la navegación, siendo este uno de los factores más excluyentes para las personas a la hora de usar este medio de transporte finalmente aportando además, producir beneficios sobre los costes directos del buque, tales como el consumo de combustible que se reduce significativamente al reducir el movimiento y la estabilidad en el rumbo. [2]

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivos generales

- Implantación de un sistema de estabilización Humphree en un yate de 50 metros de eslora para la mejora de su estabilidad tanto estática como dinámica.

### 2.2. Objetivos específicos

- Mejoras en la estabilidad en navegación
- Mejora en la estabilidad con condición de buque fondeado
- Aumentar el rendimiento del buque durante la navegación, con una mayor estabilización del rumbo
- Disminuir el consumo de combustible con el mismo régimen de máquina.

## 3. Sistemas de estabilizadores

Para introducir los sistemas de estabilización previamente debemos conocer los diferentes modelos de estabilizadores que se desarrollan en el mercado a día de hoy, es por ello que todos presentan ciertas ventajas e inconvenientes a la hora del uso de los mismos. Todos los sistemas de estabilización consiguen en su mayor o menor medida los mismos efectos, obtener una navegación con una mayor estabilidad, reduciendo los distintos movimientos del buque en los diferentes ejes (x, y, z) que este presenta de libre movimiento, haciendo referencia a la guiñada, cabeceo y escora. Otro factor determinante a la hora de desarrollar los diferentes sistemas será evaluar los efectos existentes en la estabilidad estática o dinámica del buque. Siendo la estabilidad estática aquella que encontramos cuando el buque se encuentra en reposo y la dinámica que en buque en movimiento, es decir, si el efecto que queremos conseguir se trata el buque en navegación o con el buque fondeado o en puerto. También deberemos tener en cuenta otros factores tales como el tipo de buque o las funciones que desempeña el buque, siendo diferente para un ferry de línea regular a un yate de ocio.

Aunque existen infinidad de marcas y prototipos de estabilizadores centraremos el estudio en los grandes bloques en cual se enmarcan los diferentes sistemas. Se puede considerar que existen tres grandes tipos de sistemas de estabilización, presentando estos una serie de ventajas e inconvenientes cada uno, siendo estos:

- Tanques de estabilización
- Estabilizadores giroscópicos



- Estabilizadores de aleta

El primer estabilizador del cual podemos hablar son los tanques de estabilización, históricamente, el uso principal de estos se reducía al uso de tanques de lastre, los cuales el buque cargaba para poder compensar efectos de escora o asiento, además como ayuda activa durante los procesos de carga y descarga de buques manteniendo toda la estabilidad y momentos de fuerzas del buque correctamente. Aunque estos suponen una ayuda fundamental a la navegación no es una ayuda activa o que permita en un corto espacio de tiempo la modificación o la reducción de los movimientos del buque durante la navegación, ya que los tanques de lastre se cargan de manera inicial en puerto y es en esa condición como se desarrolla toda la navegación, obviando fuerzas externas que puedan ser existentes durante dicha navegación, tales como el efecto del viento u oleaje, modificando su par de fuerzas o adaptándose a dichas condiciones en diferentes escenarios. Es por ello, que se ha desarrollado el sistema de estabilización por tanques, donde el principio de funcionamiento es muy similar al de los tanques de lastre, lo que conseguimos con este sistema es un estabilizador dinámico que pueda adaptarse a los cambios durante la navegación, siendo este unos tanques situados a ambas bandas del buque de manera transversal que son capaces de trasegar el líquido del interior de un tanque a otro a través de bombas consiguiendo así un par de escora contrario al que pueda ejercer el efecto del viento u oleaje en un momento determinado, todo ello, con el fin de reducir los movimientos de balance y escora. Dicho sistema se ha reducido a usos muy particulares y no es el sistema más usado ya que requiere que el trabajo y espacio para los tanques se planifique en el proceso de construcción en astillero, siendo difícil la instalación posterior de este modelo de estabilización. Un sistema parecido o lo que podemos determinar como una variante del tanque estabilizador, son los “*flume tanks*” o tanques de lastre líquido, estos sistemas permiten que el agua se mueva libremente en un tanque transversal, generando una fuerza de contrabalanceo. Este método también es menos común pero efectivo en algunos buques. [3]

Por otro lado encontramos los estabilizadores giroscópicos, muy usados y en continuo desarrollo debido a su buen funcionamiento. Estos se basan en el uso de un giroscopio como elemento principal de la estabilización, siendo este un gran volante de inercia que gira a grandes revoluciones sobre un eje, obteniendo miles de revoluciones por minuto. El giroscopio está montado en un sistema que permite que su eje de rotación se incline o gire en respuesta a las fuerzas externas. Cuando el barco se balancea debido a una ola, el giroscopio experimenta una fuerza que causa que su eje de rotación se incline, esta inclinación genera una fuerza perpendicular al eje de rotación del giroscopio. La fuerza generada por el giroscopio actúa en la dirección opuesta al balanceo del barco, creando un

momento de enderezamiento que reduce o elimina el movimiento de balanceo. Como principal ventaja de estos estabilizadores, es que a velocidades pequeñas, incluso en reposo el buque presenta grandes alteraciones en sus movimientos, siendo este muy efectivo en un mar con poca presencia de oleaje o con el buque a poca velocidad, consiguiendo atenuar prácticamente la totalidad de la escora y balance. Por otro lado, otra gran ventaja es la facilidad de instalación ya que al instalarse en el interior del buque no presenta problemas añadidos, tales como la perforación del casco, trabajos de astillero, pintado o mantenimiento en obra viva, sino que únicamente se instala en el interior del buque pudiendo realizar los trabajos a flote. Aunque como desventaja principal podríamos decir que presenta menos estabilización en navegación y que pierde eficacia en buques de mayor eslora, siendo además complicado las reparaciones al disponer de una tecnología muy avanzada y poco intuitiva para realizar reparaciones a bordo y finalmente, ligado a los costes, suelen resultar a unos costes de instalación mayor respecto a otros estabilizadores ya que la tecnología usada es muy precisa y con componentes de alta complejidad. [3]

Finalmente encontramos los sistemas de estabilización por aleta, estos consisten en aletas que se distribuyen a ambos lados del buque y que tienen un cierto ángulo de movimiento respecto al flujo de agua de mar y de esta manera consiguen una estabilización mayor durante la navegación. Son especialmente usados en navegación y en buques de grandes esloras ya que eficacia disminuye con el buque en reposo y la instalación se dificulta en buques de pequeño porte o eslora. El sistema es bastante más simple en cuanto a los componentes respecto a otros estabilizadores ya que consta de dos aletas retráctiles que son movidas por un sistema hidráulico o motores eléctricos y permiten que pueda desarrollar dichos movimientos, además ha de disponer de un sistema de sensores que detecten el movimiento, a través de acelerómetros o sensores giroscópicos que envíen esta señal al sistema principal para poder contrarrestar las fuerzas externas, tanto sea de oleaje o viento, incluso cambios de en la distribución de los pesos a bordo y todo aquello que vaya apareciendo que pueda ser contrarrestado a través de las aletas. Como principal inconveniente que presenta este sistema sigue siendo su instalación ya que se debe desarrollar en un astillero con el buque en seco, además todos sus costes de mantenimiento deben desarrollarse en las operaciones de varada del buque siendo difícil realizar el mantenimiento de los estabilizadores a flote. Este tipo de estabilizadores sigue usándose en muchos buques que realizan navegación convencional con pasajeros ya que supone un buen sistema para la mejora de la comodidad a bordo de buques de pasajeros. [3] [2]

#### 4. Sistema de estabilización Humphree

Humphree fue fundada en Suecia en 2002 por un equipo de ingenieros marinos, activos en el campo de la propulsión de alta velocidad e hidrodinámica del buque desde 1990, con experiencia en el sector. Fue creada para satisfacer mejoras en la estabilidad y eficiencia de los buques, aplicando los conocimientos de hidrodinámica han conseguido desarrollar sistemas de estabilización que han supuesto una revolución tecnológica tanto en embarcaciones recreativas de lujo, es decir en los yates como en buques comerciales e incluso militares.

Una de las principales líneas de trabajo es el desarrollo de tecnologías de estabilización, entre sus componentes encontramos:

- Estabilizadores de aleta (*Fins*)
- Interceptores

Los interceptores ubicados en el espejo de popa de la embarcación tienen la función de mejorar el trimado de la misma para una mejora en la navegación, ya que permite el ajuste del interceptor y con ello conseguimos evitar movimientos indeseados, tales como los balances provocado por olas durante la navegación, además del ajuste del asiento del buque y permite poder establecer más rápidamente velocidades de crucero y con ello mejoras en el consumo de combustible, indirectamente también conseguimos que desde el puente de mando se consiga una mejora de visibilidad al poder conseguir asientos más aportantes. Su funcionamiento es muy simple, dispone de un motor eléctrico instalado en el interior del buque, el cual su eje atraviesa el espejo de popa para unirse con el dispositivo propiamente, el cual dispone de distintas "cuchillas" que se activan y consiguen bajar o subir en función del trimado que queramos conseguir en la embarcación. El principio fundamental de funcionamiento de un interceptor es generar un aumento de presión en la placa inferior del casco directamente delante del espejo de popa, interceptando el flujo con una cuchilla. La cuchilla solo necesita extenderse unos pocos milímetros por debajo del borde del espejo de popa para aumentar sustancialmente la presión sobre una gran área. Esto resulta en una alta elevación hidrodinámica. La elevación del interceptor es superior a la de cualquier otro dispositivo de elevación montado en el espejo de popa. Esto lo convierte en un dispositivo muy adecuado para proporcionar fuerzas que optimicen el trimado de funcionamiento y amortigüen activamente el movimiento de la embarcación. [2]



*Figura 1: Interceptores (Fuente: Trabajo de campo)*

Por otro lado, los estabilizadores de aleta mejoran significativamente la condición de buque fondeado, consiguiendo un par de fuerza que permite reducir el efecto de balanceo y cabeceo del buque mientras éste se encuentra fondeado. Además en buques de cierto porte donde los interceptores no son suficientes para la mejora del trimado, tenemos la necesidad de la instalación de este tipo de estabilizadores para conseguir una estabilización completa. Estos requieren una instalación más compleja ya que necesitamos un estudio previo para determinar la posición de las aletas, por el resto se activan con un motor eléctrico conectadas a un banco de baterías auxiliar.



*Figura 2: Aletas estabilizadoras (Fuente: Trabajo de campo)*

## 5. Características básicas y tipo de buque

El buque al cual se ha realizado la instalación de los estabilizadores Humphree es un yate del astillero italiano Codecasa nacida en Viareggio en el lejano 1825 por obra del maestro Giovanni Battista Codecasa, representan uno de los astilleros clave en el sector de los megayates, teniendo como sello una absoluta calidad, innovación y diseño en sus buques. El astillero ha ampliado su gama de yates estos últimos años ofreciendo yates de acero con una aleación ligera y rápidas que comprenden esloras entre 30 y 50 metros.

Las características principales del yate tenemos:

- Eslora total : 49.99 metros
- Manga: 9.20 metros
- Francobordo: 43.430 metros
- Calado: 4.5 metros
- Toneladas de registro bruto: 498 GT
- Propulsión: 3 MTU Engine 16V 2000 M94 Hp 2600; KAMEWA water jets.
- Velocidad crucero: 23 nudos
- Velocidad máxima: 30 nudos
- Autonomía: 750 millas con 45000 litros de combustible.

El yate construido en 2013 su principal actividad es el charter náutico tanto por el mediterraneo, como en el caribe, ofreciendo acomodación para 12 pasajeros distribuidos en 6 suites, una de ellas la VIP. Todo ello tripulado por un conjunto de 10 personas, en los tres departamentos principales, puente, máquinas y fonda.

Además dispone de un gimnasio equipado, un jacuzzi en la cubierta superior, wifi satelital para asegurar un confort total a bordo, así como una auxiliar de 8 metros de eslora para poder realizar transfers buque-tierra. Todo ello con precios aproximados de 220.000 euros a la semana.

Como podemos observar estamos ante un yate que busca unos estándares de comodidad muy elevados debido a los requerimientos de su actividad principal, así como el perfil de clientes que llegan a bordo. [4]



Figura 3: Buque exterior (Fuente:

<https://www.yachtcharterfleet.com/luxury-charter-yacht-23724/bon-vivant.htm>) [4]

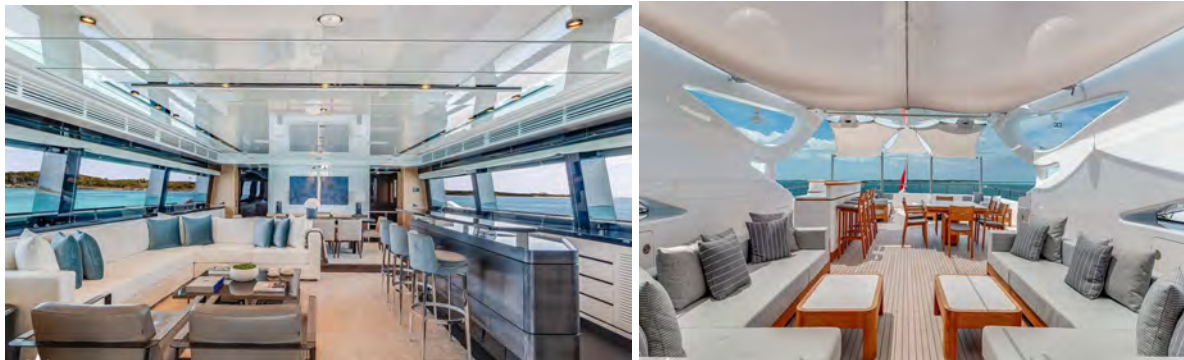


Figura 4: Buque Interior (Fuente:

<https://www.yachtcharterfleet.com/luxury-charter-yacht-23724/bon-vivant.htm>) [4]

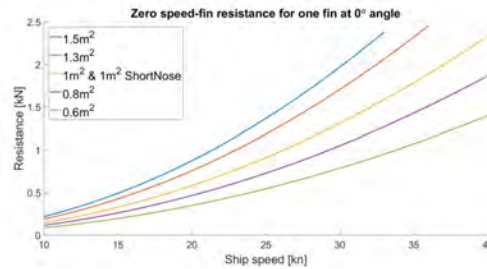
## 6. Elección y ubicación del sistema de estabilización

El proceso de elección del sistema de estabilización conlleva un estudio previo del buque, tanto a nivel estructural, como en la estabilidad propia. El trabajo específico de estudio se realiza a través de un empresa de ingeniería naval autorizada por las sociedades de clasificación.

El estudio lo podemos centrar en varias etapas, de forma inicial se centra en la búsqueda del estabilizador más idóneo para el tipo de buque, dentro de toda la gama que tienen disponible, posteriormente la ubicación exacta de los estabilizadores, para ello lo primero es un estudio de la estabilidad del buque y cómo influye el desplazamiento en todo este proceso y finalmente cómo se realiza el ensamblado del mismo.

Siguiendo las recomendaciones del fabricante se encuentra el servo más adecuado para el tipo de buque. Para evitar cavitación, ruido y vibraciones, las aletas están limitadas en velocidad operativa. El límite depende del tamaño y modelo de la aleta según la tabla a continuación. [2]

Fin sizes	Servo unit	Max Speed (knt)
0.6m <sup>2</sup>	SU553	40
0.8m <sup>2</sup>	SU553	40
1.0m <sup>2</sup>	SU563	40
1.0m <sup>2</sup> Short Nose	SU563	30
1.3m <sup>2</sup>	SU563	36
1.5m <sup>2</sup>	SU563	33



Quad installation:

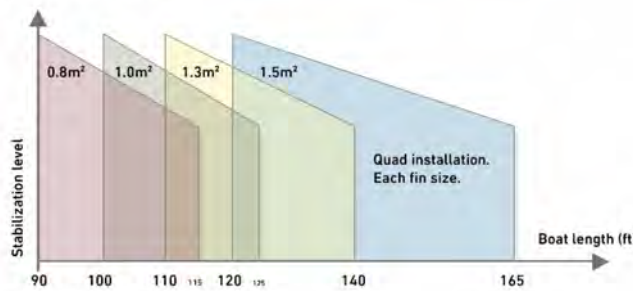


Figura 5: Elección aleta (Fuente: Manual montaje Humphree)

Tal y como podemos ver en las imágenes cada servo tiene una velocidad límite por lo que será un factor importante a la hora de la toma de decisiones, además vemos que la resistencia de los estabilizadores aumenta a medida que aumenta la velocidad del buque. Otro de los aspectos importantes será la eslora del buque, decisiva para conseguir un par de fuerza correcto y conseguir la estabilización que se desea. El yate que estamos desarrollando tiene una velocidad máxima de 30 nudos y una eslora de 50 metros por lo que la elección será un sistema de 4 aletas de 1,5 metros cuadrados. Una vez tenemos la elección de los servos que van a usarse podemos empezar a realizar los cálculos necesarios para ver cómo afecta el peso de todo el equipo al desplazamiento del buque y como se ve afectada la estabilidad en la ubicación de los mismos. Para ello se realiza un estudio técnico con todos los pesos de cada uno de los componentes y ubicándolos para poder observar cómo afecta ese traslado de pesos a la estabilidad.

The lightship data has been obtained from Nov.2020 approved Loading & Stability Manual.

Table of weights breakdown:

Item	Quantity	Unit Weight ton	Weight ton	LCG m	Mom.LCG ton.m
Fins @Fr 16-17	2	0,055	0,110	13,94	1,53
Unit SU563 @Fr 16-17	2	0,105	0,210	13,94	2,93
Added structure Fr 16-17	2	0,142	0,284	13,94	3,96
Small electrical material @Fr 16-17	2	0,010	0,020	13,94	0,28
Removed structure @Fr 16-17	2	-0,045	-0,091	13,94	-1,26
Fin @Fr 23-24	2	0,055	0,110	20,03	2,20
Unit SU563 @Fr 23,24	2	0,105	0,210	20,03	4,21
Added structure @Fr 23-24	2	0,184	0,368	20,03	7,37
Small electrical material @Fr 23-24	2	0,010	0,020	20,03	0,40
Removed structure @Fr 23-24	2	-0,043	-0,086	20,03	-1,72
<b>Subtotal added weight</b>			<b>1,155</b>	<b>17,219</b>	19,90

Updated Lightship including the added weight:

Item	Quantity	Unit Weight ton	Weight ton	LCG m	Mom.LCG ton.m
Lightship	1	269,636	269,636	17,919	4831,61
Subtotal added weight	1	1,155	1,155	17,219	19,90
Updated Lightship			270,791	17,916	4851,50

Variation of Lightship			1,155	
% Variation of Lightship			0,427%	
Variation of LCG				-0,003
%Variation of LCG vs LBP(41.79)			-0,007%	

*Figura 6: Cálculo estabilidad y pesos (Fuente: Trabajo de campo)*

Dentro de los requisitos técnicos de la instalación se pretende no superar variaciones de un 2% del desplazamiento en rosca y variaciones del centro de gravedad de manera transversal no superior a 1%, en el caso concreto, se observa que después del estudio la variación del desplazamiento en rosca supone un 0,427%, añadiendo un peso total de 1,155 toneladas, de manera simultánea la variación de LcG es de -0,003 metros.



Por otro lado debemos tener en cuenta que la instalación a bordo puede resultar difícil, aunque el estudio realizado indique una posición puede ser una adaptación muy costosa debido a la distribución de servicios auxiliares del propio buque, tales como tanques de combustible, de agua, cableado eléctrico o líneas de cualquier otro tipo, por ello todo este proceso es muy costoso, aunque uno de los más importantes. El estudio visto anteriormente parte de una condición de estudio previa realizada en el propio buque, analizando las posibilidades del mismo. En el yate en el cual centramos el estudio se pudo encontrar un lugar realmente amplio y con suficiente espacio para poder realizar dichos cálculos sin afectar a servicios auxiliares, debido a que la mayoría de las líneas, bombas, cableado están ubicadas en crujía o cercanos a ello.

Además se debe seguir las sugerencias propias del fabricante para la búsqueda de su posición, para optimizar el rendimiento de las aletas, es importante posicionarlas correctamente, se sugiere mantener los servos dentro del 30-50% de la eslora de flotación, tomando como referencia la popa para evitar efectos de ventilación y dirección. Además, para una instalación cuádruple se requiere una distancia mínima de dos longitudes entre las aletas para evitar colisiones durante la rotación. Transversalmente, es importante posicionar las aletas lo más cerca posible de la quilla para generar el máximo efecto. Para una instalación cuádruple, no es necesario alinear las aletas una detrás de otra. Finalmente, el sistema puede operar en un modo limitado para reducir el ángulo de rotación y así limitar la rotación de la aleta cuando sea necesario.

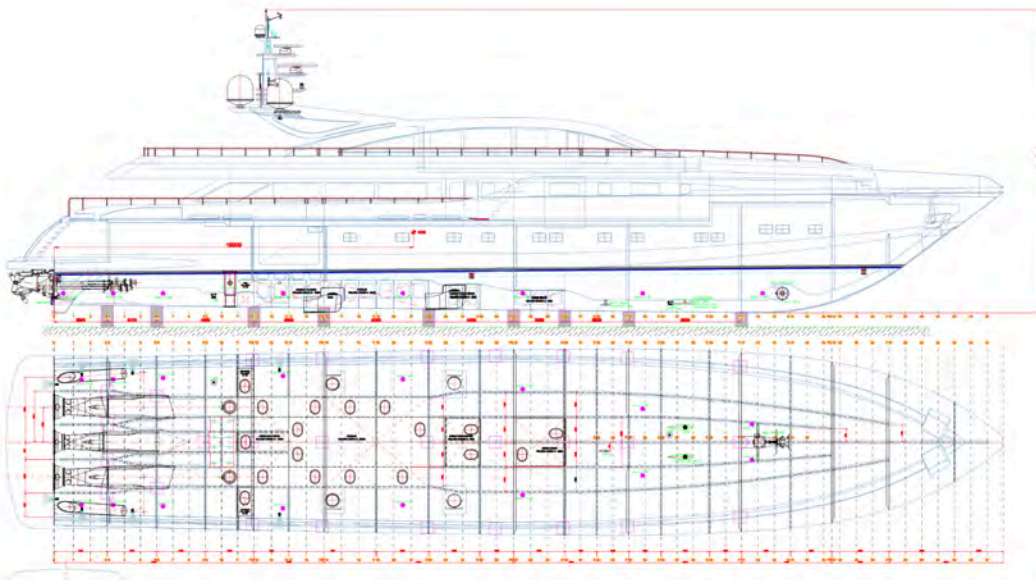


Figura 7: Plano ubicación de estabilizadores (Fuente: Trabajo de campo)



*Figura 8: Espacio sentina (Fuente: Trabajo de campo)*

En las imágenes podemos ver la ubicación finalmente elegida para realizar el trabajo, ubicado en los propios planos del buque como el espacio físico en sí mismo. Como se puede observar son los espacio de las sentinas y a pesar de ser un espacio muy pequeño para que una persona pueda realizar un trabajo, se tiene la facilidad de que todas las líneas no están ubicadas en el plan del buque, aspecto que facilita mucho la instalación. La fase final del estudio la focalizamos en cómo se realizará el ensamblado del estabilizador con el buque. El buque dispone de un casco de aleación de acero con planchas de 10 mm todo ello con refuerzos estructurales, tales como vagras, varengas y cuadernas. Para todo ello se finaliza con la decisión de eliminar 1.68m<sup>2</sup> de las planchas originales de 10 mm y serán sustituidas por una plancha de 15mm con un cofferdam preparado para la instalación del estabilizador. Además se realiza un estudio a los esfuerzos a que este se somete una vez ensamblado en propio buque para determinar que zonas pueden ser sujetas a fallo y poder evitarlo con anterioridad. El estudio de esfuerzos de las planchas se realizan en la oficina técnica de ingeniería naval en diferentes condiciones del buque, tales como por ejemplo, velocidad máxima de uso de estabilizadores, estableciendo en este caso 28 nudos.

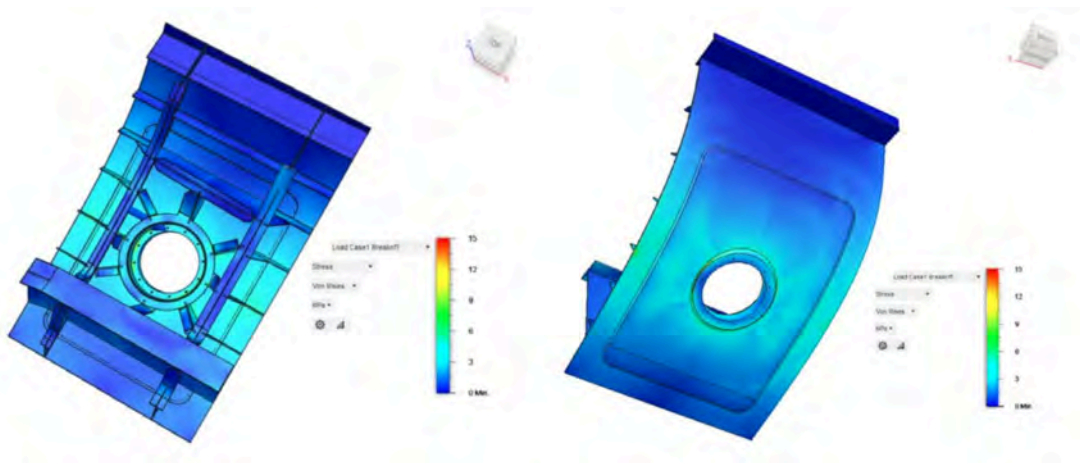


Figura 9: Esfuerzos cofferdam (Fuente: Trabajo de campo)

Para poder asentar sobre las varengas se realiza un cofre a la altura de las mismas soldado a la propia plancha de 15mm para poder almacenar la unidad eléctrica del estabilizador. Este cofre se realizará con planchas de 10mm, con un refuerzo estructural en forma de aro de 20 mm.

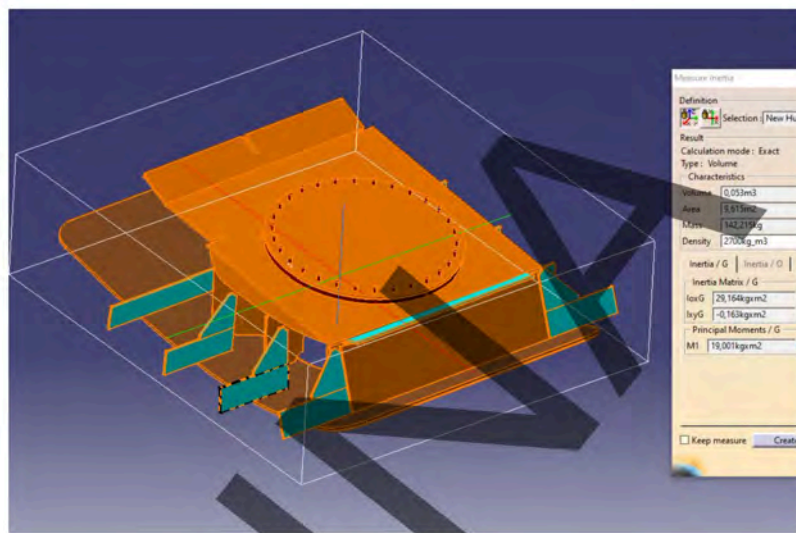


Figura 10: Diseño cofferdam (Fuente: Trabajo de campo)

Finalmente se incluye el diseño propio de los cofferdam contando con la instalación de la unidad ecléctica y el eje principal del estabilizador y la unión de las mismas. Con todo esto podremos realizar la instalación con mayor precisión y evitar retrasos en el proyecto.

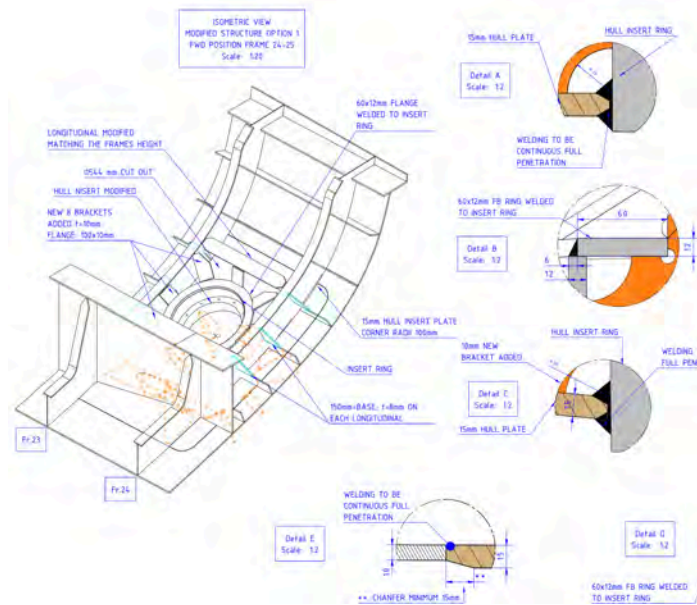


Figura 11: Vista superior cofferdam (Fuente: Trabajo de campo)

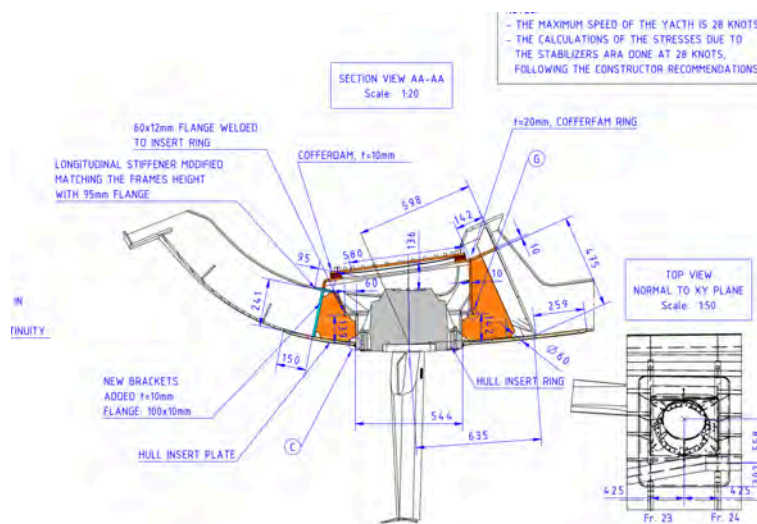


Figura 12: Vista lateral cofferdam (Fuente: Trabajo de campo)

Siguiendo el esquema final de la instalación y a modo resumen de la misma, se instalan un conjunto de cuatro aletas estabilizadores que junto a los dos interceptores que ya estaban ubicados en popa de la embarcación conseguiremos un proceso de estabilización más completo. Se muestra a modo resumen en la siguiente imagen:

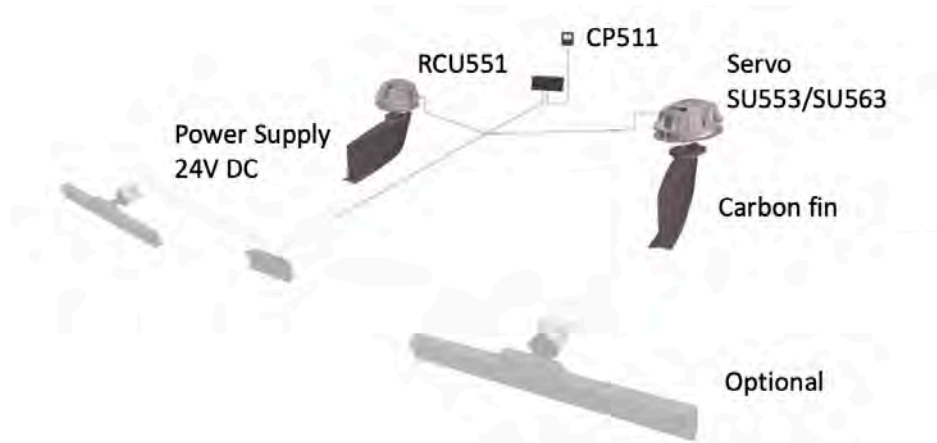


Figura 13: Esquema sistema (Fuente:Manual montaje Humphree)

## 7. Montaje de los estabilizadores

Tras finalizar el estudio y elección del tipo de estabilizadores se plantea un plan de trabajo para el montaje de los mismos. El desarrollo del propio montaje se sigue bajo las estrictas normas del proyecto y cumpliendo con los requisitos del fabricante, sociedad de clasificación y buque.

Las diferentes etapas de montaje de los sistemas aunque se proyecten de manera lineal se han desarrollado siguiendo un esquema de trabajo estructurado para poder tener el mayor tiempo simultaneidad en los trabajos y de esta manera optimizar el tiempo total del proyecto, debido a los elevados costes que conlleva disponer del buque varado en astillero, es por eso que dentro de las fases, la planificación es una de las más importantes.

### 7.1. Corte del casco

En primer lugar se identifica la zona donde se realizará el corte para su posterior soldado de las nuevas planchas, para ello se realizan diferentes mediciones por tal de asegurar el lugar exacto del corte. Una vez identificado el corte se marca por la parte exterior del casco de tal manera que el equipo de trabajo pueda identificar rápidamente el corte a realizar. El corte de la chapa se realiza con equipo de corte por plasma, este es una

herramienta utilizada para cortar metales mediante un chorro de plasma. Este método es ampliamente utilizado en diversas industrias, incluyendo la construcción naval, debido a su capacidad para cortar metales de manera rápida y precisa. Puede cortar metales más rápido que otros métodos, como el oxicorte, especialmente en metales delgados y medianos. Como principales ventajas respecto a otros tipos de corte, tales como el oxicorte encontramos que el corte por equipo de plasma, produce cortes con bordes limpios y precisos, lo que reduce la necesidad de retrabajo o acabado posterior, puede cortar una amplia gama de metales conductores, incluyendo acero inoxidable, aluminio, cobre y acero al carbono y la alta velocidad de corte y la menor zona afectada por el calor reducen la deformación térmica del material.



*Figura 14: Corte casco (Fuente: Trabajo de campo)*

Como se puede observar en las imágenes se ha realizado el corte de la chapa exterior del forro del casco, respetando los refuerzos estructurales del propio buque por tal de no debilitar la zona de corte. Todo ello se realiza con personal especializado en este tipo de cortes y trabajos propios del astillero.

## 7.2. Fabricación cofferdam

Durante el proceso de corte en el astillero se intentan simultanear varios trabajos, por lo que en un taller especializado realizan las nuevas planchas que albergarán los servos de las aletas. Después de diseñar las planchas se envían las medidas de las nuevas planchas y el aro central en el cual se introduce el motor eléctrico encargado de accionar las aletas estabilizadoras.



*Figura 15: Plancha estabilizador del casco (Fuente: Trabajo de campo)*



*Figura 16: Aros de refuerzo (Fuente: Trabajo de campo)*

Dichas planchas serán de un grosor de 15 mm algo superior al propio del caso (10mm) para poder conseguir ese refuerzo estructural en la zona de corte. Además estará formado por un aro central con planchas de 20mm ya que este alberga el motor eléctrico y estará en continuo esfuerzos dinámicos debido al movimiento de la aleta.

### 7.3. Proceso de soldadura

Una vez realizados ambos trabajos, la preparación de las nuevas planchas y el corte en el propio buque, empieza la parte de la soldadura en el buque, esta es una fase muy crítica ya que si esta no se realiza bien podría dar problemas futuros a toda la instalación, tales como vibraciones o ruidos no deseados, incluido con esfuerzos indebidos en el propio buque, rotora del equipo o siendo muy críticos vías de agua. Es por ello que el proceso de soldadura debe hacerse bajo unos requisitos muy estrictos, con personal cualificado y pasando la normativa vigente.

La soldadura más utilizada en la construcción y reparación de buques es la soldadura por arco eléctrico, especialmente los procesos de Soldadura por Arco Metálico con Gas (GMAW), también conocida como soldadura MIG (Metal Inert Gas) o MAG (Metal Active Gas), es un proceso de soldadura que utiliza un electrodo de alambre continuo y un gas protector para proteger el arco de la contaminación atmosférica, el gas utilizado puede ser inerte (como el argón en MIG) o activo (como una mezcla de argón y dióxido de carbono en MAG). Las principales ventajas de este tipo es que permite soldaduras rápidas, lo cual es ideal para la construcción de grandes estructuras como buques, puede utilizarse en una variedad de posiciones y materiales, incluyendo aceros al carbono, aceros inoxidable y aluminio y produce menos escoria comparado con otros procesos, lo que reduce el tiempo de limpieza posterior a la soldadura. Es por ello que el proceso de soldadura tanto del anillo principal a la chapa, como del conjunto al buque se realiza a través de este tipo de soldadura. [5]

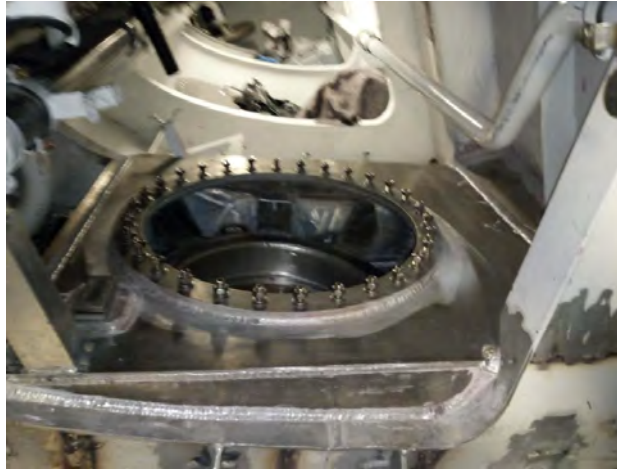


*Figura 17: Soldadura plancha principal (Fuente: Trabajo de campo)*

Por la parte interior del buque se ha realizado la soldadura e instalación del cofferdam que albergará la unidad eléctrica, de esta manera se consigue un ensamblaje



total, entre la nueva plancha y el cofferdam que hace de presión por la parte superior por tal de asegurar una estanqueidad completa. Finalmente, el proceso de apertura del espacio para el estabilizador ya queda completado.



*Figura 18: Soldadura cofferdam (Fuente: Trabajo de campo)*

#### **7.4. Ensayo no destructivo**

Siguiendo el proceso la sociedad de clasificación en este caso la RINA, para poder pasar las especificaciones y con ellas la inspección posterior se debe realizar un ensayo no destructivo (END) de la soldadura para verificar el estado de las mismas. Cabe recordar que las operaciones se producen de manera simultánea en los cuatro servos que se van a instalar en el buque. Los ensayos no destructivos de soldadura son métodos utilizados para evaluar la integridad y calidad de las uniones soldadas sin causar daño al material. Estos ensayos son esenciales en la industria naval, así como en otras industrias que requieren altos estándares de seguridad y calidad. Existen muchos métodos de ensayos no destructivos, tales como: Inspección visual, ensayo de líquidos penetrantes, ensayo de partículas magnéticas, con ultrasonidos, con radiografía industrial o con corrientes inducidas son alguno de los ejemplos. Lo importante de los END es que garantizan que las soldaduras cumplan con los estándares de seguridad, evitando fallos catastróficos en estructuras críticas, ayudan a asegurar la calidad de las soldaduras, lo que es crucial para la durabilidad y rendimiento de las estructuras y permiten detectar y corregir defectos antes de que se conviertan en problemas mayores, ahorrando costos de reparación y mantenimiento.

La elección del método de END depende de varios factores, incluyendo el tipo de material, la naturaleza de los defectos esperados, el espesor del material, y los requerimientos específicos del proyecto. A menudo, se utiliza una combinación de varios métodos para garantizar una inspección exhaustiva y confiable de las soldaduras. En nuestro caso se ha realizado un ensayo por líquidos penetrantes. El ensayo de líquidos

penetrantes es una técnica ampliamente utilizada para detectar discontinuidades superficiales en materiales no porosos, como metales, plásticos y cerámicas. En el contexto de soldaduras, este ensayo es especialmente útil para identificar defectos superficiales tales como grietas, porosidades, fisuras y otros tipos de discontinuidades que podrían comprometer la integridad de la unión soldada. El procedimiento para aplicar el ensayo se basa en varias fases:

1. Preparación de la superficie: La superficie de la soldadura y la zona circundante deben limpiarse minuciosamente para eliminar cualquier contaminante, como aceites, grasas, polvo, óxidos o pintura. Esto se puede hacer utilizando solventes, desengrasantes o métodos mecánicos como el cepillado.
2. Aplicación del Líquido Penetrante: El líquido penetrante, generalmente un tinte de alto contraste (rojo o fluorescente), se aplica sobre la superficie limpia. El penetrante debe tener suficiente tiempo de permanencia (tiempo de penetración) para infiltrarse en cualquier discontinuidad presente. Este tiempo puede variar, pero generalmente oscila entre 5 y 30 minutos, dependiendo del tipo de penetrante y del material.
3. Eliminación del exceso de penetrante: Después del tiempo de penetración, se retira el exceso de penetrante de la superficie. Esto se hace con un paño limpio y húmedo o con un limpiador específico, teniendo cuidado de no eliminar el penetrante que haya ingresado en las discontinuidades.
4. Aplicación del revelador: Se aplica un revelador sobre la superficie inspeccionada. El revelador actúa como una esponja, extrayendo el penetrante de las discontinuidades hacia la superficie, donde se forma una indicación visible. Los reveladores pueden ser de tipo seco, húmedo o a base de solvente.
5. Inspección y evaluación: Se realiza la inspección visual bajo una iluminación adecuada. En el caso de penetrantes fluorescentes, se utiliza una luz ultravioleta (luz negra). Las discontinuidades se manifestarán como indicaciones visibles (manchas o líneas) en la superficie revelada. Estas indicaciones deben ser evaluadas en términos de su tamaño, forma y ubicación para determinar la aceptación o rechazo de la soldadura.
6. Limpieza final: Después de la inspección, se limpia el revelador de la superficie, especialmente si la soldadura va a ser pintada o recubierta posteriormente.

Sus principales ventajas respecto a otros es la capacidad de detectar discontinuidades pequeñas o superficiales, además de poder aplicarse a una amplia gama de materiales y no requiere un equipo complejo por lo que es relativamente económico. Como principal desventaja tenemos que no es efectivo para detectar defectos internos y que

cabe controlar la temperatura y humedad ya que pueden afectar con el penetrante, así como una buena preparación de la superficie. [5]

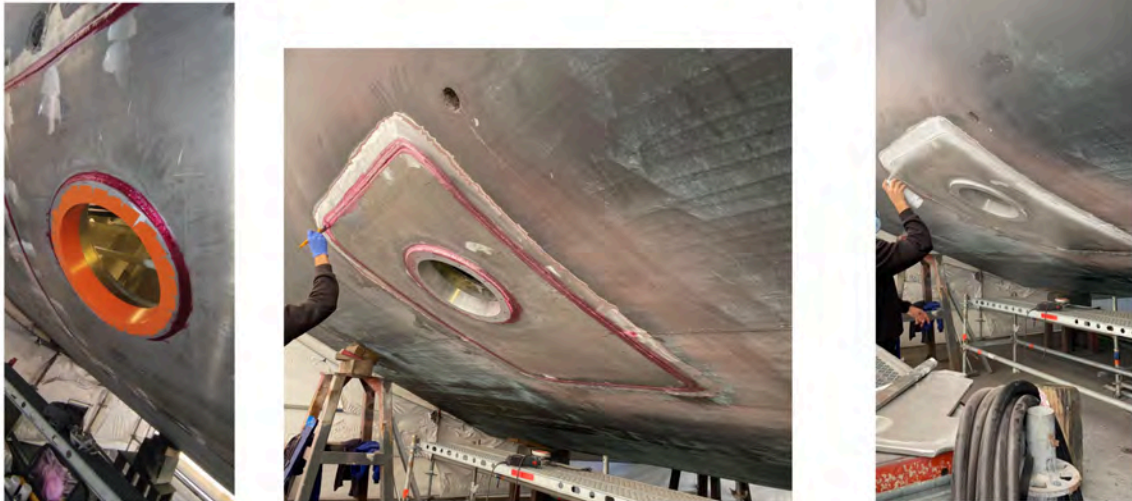


Figura 19: END en soldadura (Fuente: Trabajo de campo)

## 7.5. Sellado

Una vez se ha terminado el proceso de soldadura en su totalidad teniendo en cuenta todo el proceso de inspección se puede empezar con el montaje de las unidades que irán acopladas a la estructura. Como parte principal de este proceso tenemos la unidad eléctrica que realiza el movimiento de la aleta estabilizadora. Antes de realizar las conexiones del mismo realizamos el acople y sellado del mismo, para realizar esta operación se introduce la unidad eléctrica por el interior del buque, hasta llegar a la posición indicada. La unidad consta de dos partes, una exterior y una interior que van ancladas entre sí con doce pernos, aunque para asegurar su estanqueidad se aplica en la junta principal y en los pernos, sika 291 recomendada por el fabricante para este tipo de sellados. Una vez aplicado se procede a su limpieza final para dejar la unidad completamente limpia de impurezas.



Figura 20: Sellado (Fuente: Trabajo de campo)

Para asegurar un sellado completo, además del sika 291 se aplica el *chockfast orange PR-610 TCF* el cual es un compuesto a base de resina epoxi de dos componentes inerte que asegura la fijación de la maquinaria, está diseñado para ambientes marinos severos de esta manera aseguran un alto grado de choque físico y térmico, al ser un producto que no se contrae ni tiene fuerza de impacto y de compresión muy alta. [6]

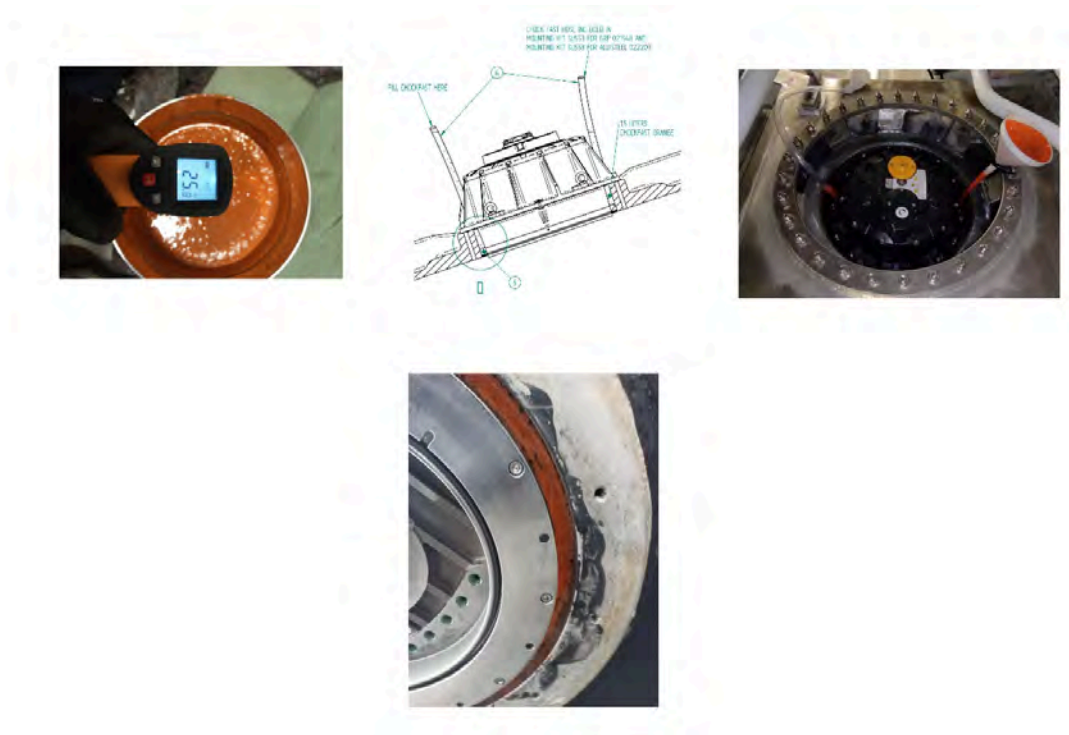


Figura 21: Sellado interior (Fuente: Trabajo de campo)

Para finalizar el proceso, sin considerar la instalación eléctrica, como parte de la fabricación, pintado y sellado de los elementos se procede a crear unas tapas a medida de los cofferdam para el cierre de los mismos y su posterior pintado.

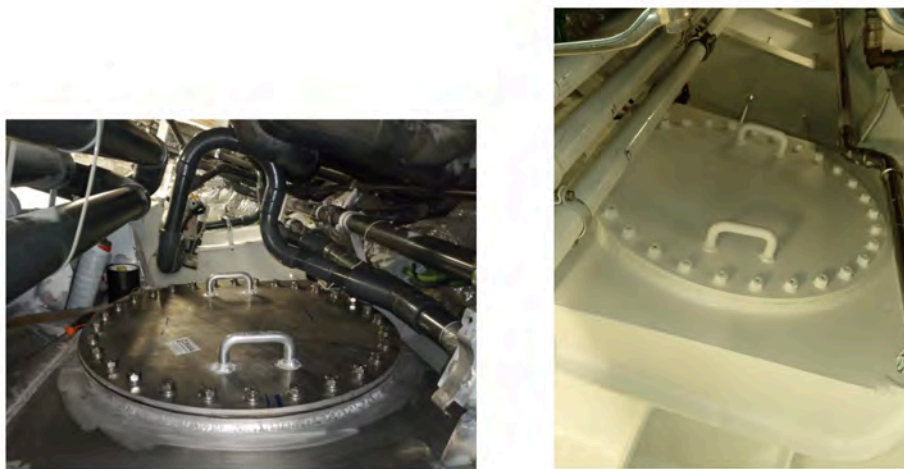


Figura 22: Pintado tapa superior (Fuente: Trabajo de campo)

## 7.6. Instalación eléctrica

La instalación eléctrica será una parte fundamental para el buen funcionamiento del equipo ya que la totalidad de su funcionamiento es eléctrico. Para ello se realiza un estudio para poder observar qué tipo de instalación se debe realizar. Se seguirán las recomendaciones del fabricante para tal fin. El funcionamiento de los servos se nutre de un banco de baterías que se acoplaron a los sistemas auxiliares del buque para su posterior carga.

En primer lugar realizamos el cálculo estimado del tamaño estimado de las baterías que deberemos instalar para el buen funcionamiento del servo.

$$BatSize = Cons_{mod.waves} * n_{fins} * t * d$$

<i>Parameter</i>	<i>Explanation</i>	<i>Unit</i>
$Cons_{mod.waves}$	Consumption at moderate waves, see chapter 3.3.2	A
$n_{fins}$	Number of fins (2 or 4)	-
$t$	Time	h
$d$	50% Discharge factor (d=2)	-
$BatSize$	Battery size	Ah

<i>Fin sizes</i>	<i>Servo unit</i>	<i>Consumption, RMS (24V) [A]</i>
$0.6m^2$	SU553	25
$0.8m^2$	SU553	35
$1.0m^2$	SU563	42
$1.0m^2$ Short Nose	SU563	42
$1.3m^2$	SU563	65
$1.5m^2$	SU563	80

Figura 23: Cálculo consumo eléctrico (Fuente: Manual montaje Humphree)

Con el siguiente cálculo, obteniendo el consumo de la aleta estabilizadora podemos concluir en un consumo estimado para poder realizar la instalación. Hay que tener en cuenta que el grupo de baterías de servicio va a ser utilizado para los estabilizadores de aleta, se recomienda aumentar el grupo de baterías de servicio con la capacidad de batería mencionada anteriormente. Si el grupo de baterías existente tiene capacidad de reserva cuando el barco está a velocidad cero, los tamaños pueden reducirse en consecuencia.

En cualquier caso el fabricante en sus propios manuales tiene recomendaciones sobre el tamaño de grupo de baterías a instalar, en nuestro caso al tener estabilizadores de 1,5 debemos recurrir a un consumo medio de 80A siempre teniendo en cuenta que esta tabla se ha desarrollado en una situación de olas moderadas y velocidad cero. También debemos tener en cuenta que esta recomendación es un estudio teórico que deberemos adaptar al propio buque, ya que como se desarrolla en la fórmula principal del cálculo, aspectos como las horas de uso será de vital importancia, así como la capacidad de carga de las baterías de los generadores o motor principal instalados ya que en muchos buques la capacidad de carga de los sistemas es limitado debido a la gran demanda de servicios de los mismos, tales como equipos de climatización, instalaciones frigoríficas para los servicios de fonda que suponen consumos elevados y que en su mayoría obligan a tener periodos muy altos de funcionamiento de los generadores.

<i>Fin sizes (twin installation)</i>	<i>Consumption [A]</i>	<i>Recommended battery size</i>
<i>0.6m<sup>2</sup></i>	25	150Ah (24V) or 4x75Ah (12V)
<i>0.8m<sup>2</sup></i>	35	210Ah (24V) or 4x105Ah (12V)
<i>1.0m<sup>2</sup></i>	45	270Ah (24V) or 4x135Ah (12V)
<i>1.0m<sup>2</sup> Short Nose</i>	45	270Ah (24V) or 4x135Ah (12V)
<i>1.3m<sup>2</sup></i>	65	390Ah (24V) or 4x195Ah (12V)
<i>1.5m<sup>2</sup></i>	80	480Ah (24V) or 4x240Ah (12V)

Figura 24: Consumo eléctrico por fin (Fuente: Manual montaje Humphree)

Por otro lado, será fundamental la elección de qué tipo de grupo de baterías queremos instalar a bordo, hoy en día existe mucha variedad en cuanto al tipo de baterías a elegir. Aspectos como su funcionamiento en el tipo de instalación o aspectos económicos marcan la diferencia entre una y otras.

Existen baterías de plomo tradicionales, baterías AGM o GEL o las más recientes baterías de ion de litio desarrolladas mucho actualmente en muchas instalaciones. Se recomienda discutir las opciones disponibles de baterías ya que las baterías tienen diferentes capacidades en cuanto al nivel de descarga y ciclos de carga, lo cual es importante tener en cuenta.

A continuación se muestra una tabla resumen adquirida por el fabricante donde se nos muestra los diferentes tipos de opciones, con sus características principales, tales como mantenimiento, descarga mínima permitida y los ciclos de vida. Como podemos observar

dentro de las diferentes opciones las baterías de ion litio són las más recomendables, por su nulo mantenimiento, permite su descarga hasta un 20%, con ello podemos prolongar la vida útil de las mismas y ciclos de vida que superan con creces los demás grupo de baterías, siendo su media de vida útil entre 2000 a 2500 ciclos.

<i>Battery type</i>	<i>Wet cell</i>	<i>AGM</i>	<i>GEL</i>	<i>Li-ion</i>
<i>Start/Cyclic</i>	Start/Cyclic	Start/Cyclic	Cyclic	Cyclic
<i>Maintenance free</i>	No	Yes	Yes	Yes
<i>Minimum discharge</i>	50%	50%	40%	20%
<i>Lifespan in cycles</i>	200-400	400-600	400-600	2000-2500

Figura 25: Tipo de baterías(Fuente: Manual montaje Humphree)

Finalmente debemos tener en consideración el dimensionado del cableado, para evitar posibles sobrecalentamientos en la instalación, para ello, seguiremos las dimensiones de cableado que nos especifica el fabricante en función de la distancia entre objetos que queramos conectar entre sí. También consideramos los cuadros de protección para evitar sobretensiones y rotura del material. [2]

<i>Cable area [mm<sup>2</sup>]</i>	<i>Maximum cable length [m]</i>
25	5
50	10
70	14
95	19
120	24
150	30

<i>Circuit breakers</i>	
SU553 – size 0.6 to 0.8	100A / each servo
SU563 – size 1.0 to 1.5	150A / each servo

Figura 26: Sección cableado y protección (Fuente: Manual montaje Humphree)

Tras recoger toda la información necesaria para el proceso de elaboración del cableado se establece el siguiente esquema eléctrico:



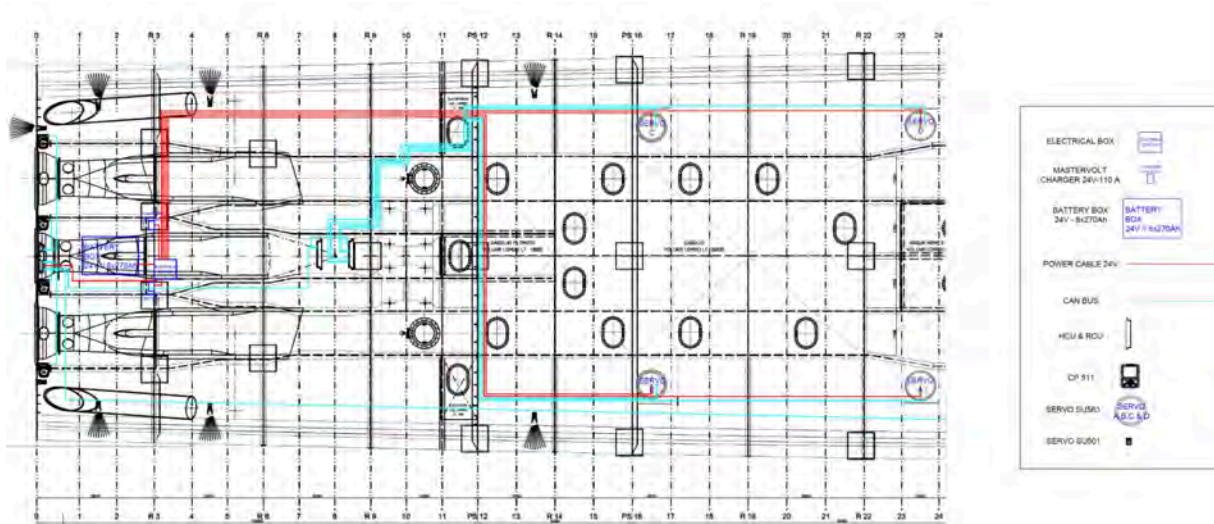
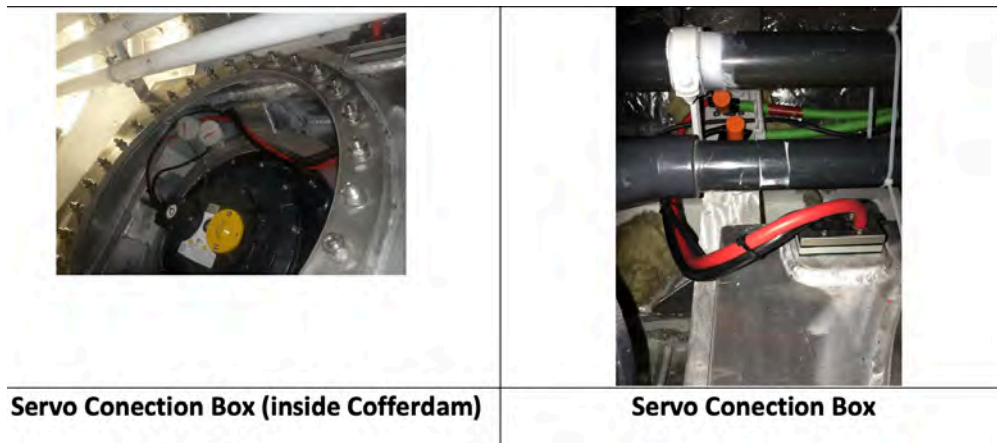


Figura 27: Esquema eléctrico (Fuente: Trabajo de campo)

Este que se presenta a continuación representa la conexión de los cuatro servos instalados, cada uno de ellos lleva el siguiente conexionado:

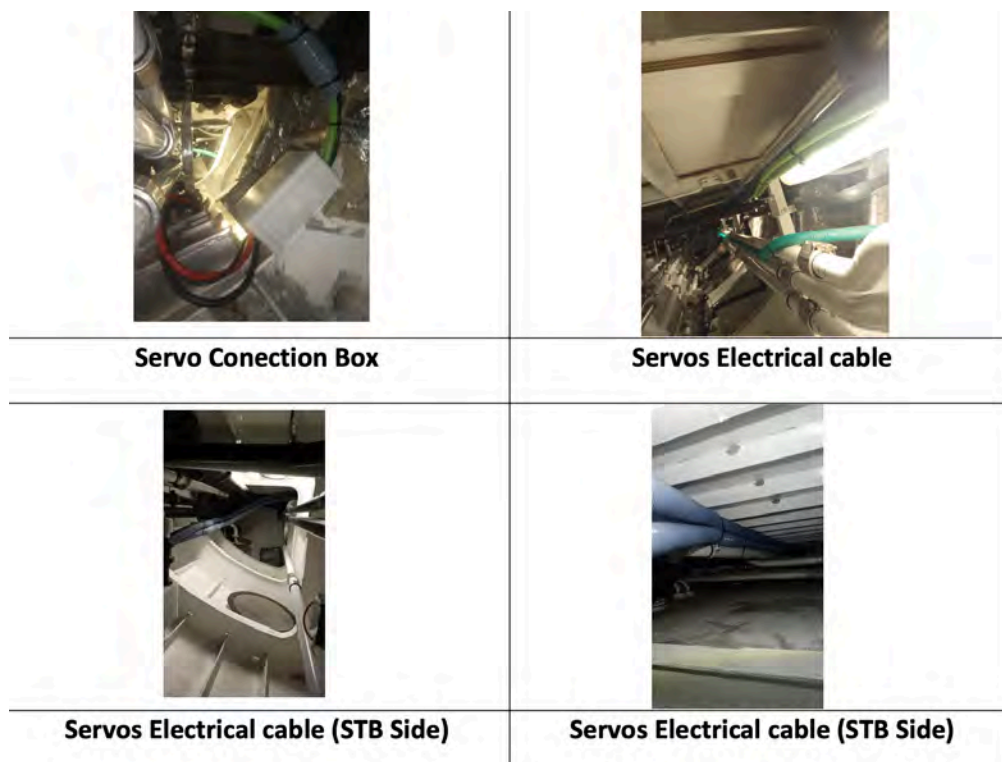
- Cableado de fuerza 24V con positivo y negativo en ambos, de sección de 120mm<sup>2</sup>
- Cableado “bus” de información, únicamente transmite datos.



Servo Connection Box (inside Cofferdam)

Servo Connection Box

Figura 28: Conexión servos (Fuente: Trabajo de campo)



*Figura 29: Cableado (Fuente: Trabajo de campo)*

Toda la instalación se ha centralizado en la sala de máquinas, en un lugar cercano al grupo de baterías instalado. Para la llegada de todo el cableado a la sala de máquinas se ha tenido que instalar pasamuros en algunos mamparos debido a que otros, ya instalados, no tenían la posibilidad de admitir el cableado de ese calibre. Algunos de los mamparos deben ser estancos, en especial aquellos por debajo de la cubierta de flotación, es por ello que los pasamuros han tenido que ser certificados por la sociedad de clasificación RINA.



*Figura 30: Sellado pasamuros (Fuente: Trabajo de campo)*

Una vez se ha pasado todo el cableado de los servos hasta la sala de máquinas es el momento del conexionado de los diferentes servos a las diferentes unidades de control, el conexionado es bastante sencillo debido a que está muy bien indicada la posición de cada elemento. Debemos recordar que este buque ya tenía sistema de estabilización, pero en este caso eran unos interceptores situados a popa que funcionan similar al mecanismo de

un “flap” que ayuda a la mejora del trim durante la navegación pero ineficientes cuando el buque está parado, es decir, fondeado e incluso para la mejora de los movimiento de cabeceo y balance en velocidades bajas, es por ello que se ha instalado las cuatro aletas estabilizadoras. Para el conexionado debemos centralizarlo todo en una unidad, por ello lo primero que haremos será localizar el conexionado de los cuatro interceptores de popa con su unidad de control ya instalados. De dicha unidad de control podemos enlazarla con la nueva unidad de control de las aletas, así tener un mayor control sobre ambos desde una sola pantalla. Ambos sistemas necesitan un sistema de control general, el cual lo llamamos “sistema maestro” que servirá de unidad de control general para ir integrando ambas señales y poder adaptar en todo momento tanto a las aletas como a los interceptores la señal que se deba y estas no se mezclan produciendo señales contradictorias que pueden afectar al buen funcionamiento del sistema completo de estabilización. Por todo ello la conexión se ha realizado en tres fases:

- Conexión unidad de control interceptores
- Conexión unidad de control de las aletas estabilizadores
- Conexión unidad de control maestra

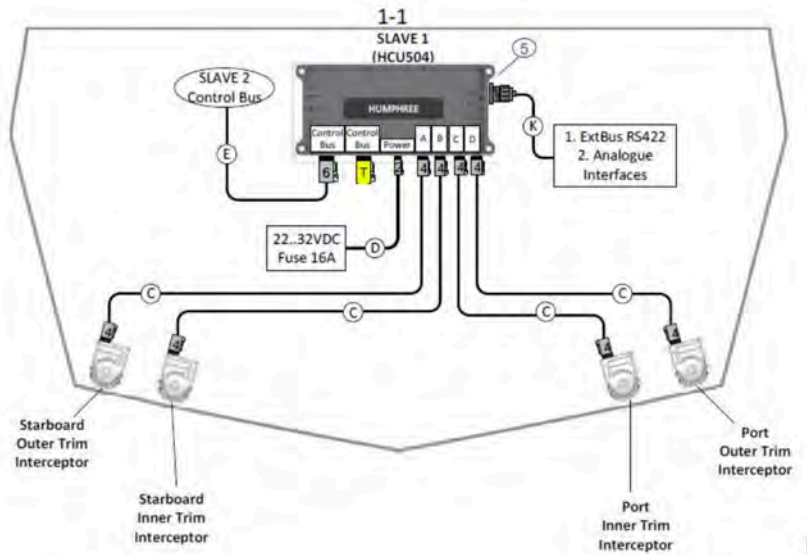


Figura 31: Conexión unidad de control interceptores (Fuente: Manual montaje Humphree)

En esta primera conexión ya estaba realizada a bordo, se conectan los cuatro interceptores de popa y además se lleva un cable de datos hasta la unidad de control de las aletas estabilizadoras.

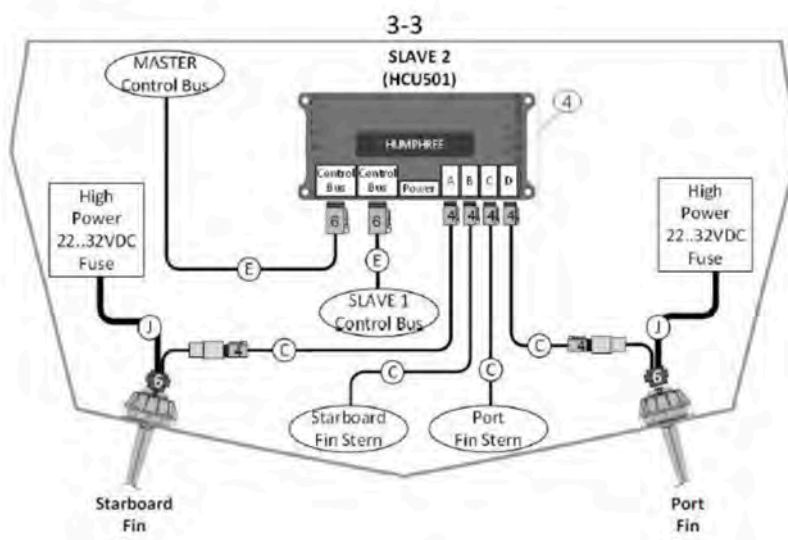


Figura 32: Conexión unidad de control fins (Fuente: Manual montaje Humphree)

En esta segunda conexión tenemos la entrada de las aletas estabilizadoras, pero además la entrada de datos de la unidad de control de los interceptores y un cable de envío de datos hacia la unidad de control maestra.

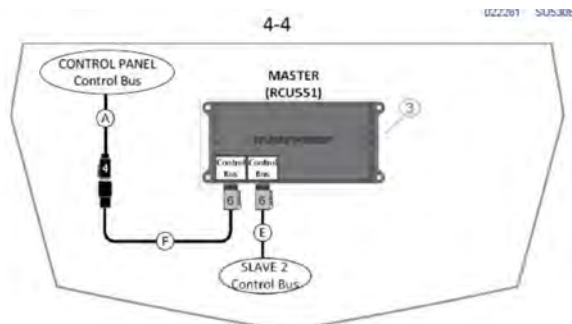


Figura 33: Conexión unidad de control maestra (Fuente: Trabajo de campo)

Finalmente tenemos la unidad maestra que recibe la señal de ambos controladores y envía esa señal al panel instalado en el puente, esté únicamente para modificar datos y parámetros del sistema, es decir, para la manipulación del mismo.

Por otro lado debemos instalar la conexión del banco de baterías y los sistemas de protección que van a alimentar a todo el sistema. Después del estudio presentado anteriormente para saber qué cantidad de grupo de baterías y sistemas de protección deben instalarse se ha determinado lo siguiente:

- 8 baterías de 270Ah conectadas en paralelo.
- Dos cargadores de batería de 24V-110Ah
- 4 fusibles reiniciables de 150A (uno para cada servo)
- 1 disyuntor de 16A para la alimentación del bus de datos
- Un panel Mastervolt para visualizar el estado del sistema eléctrico.

Todo ello nos permite que el sistema esté bien alimentado eléctricamente para el consumo de los mismos. Queda puntualizar que los dos cargadores de batería instalados reciben la carga del generador auxiliar del cual disponen a bordo para los consumos diarios.

[7]

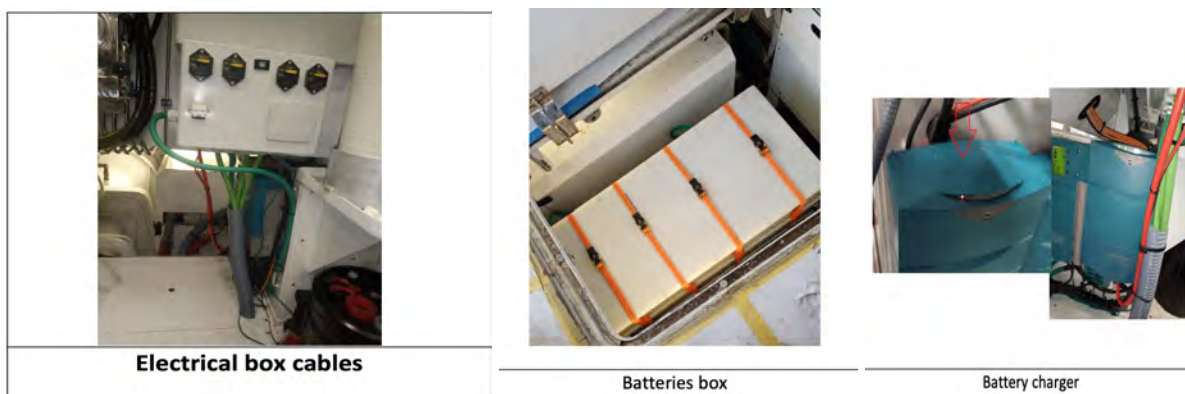
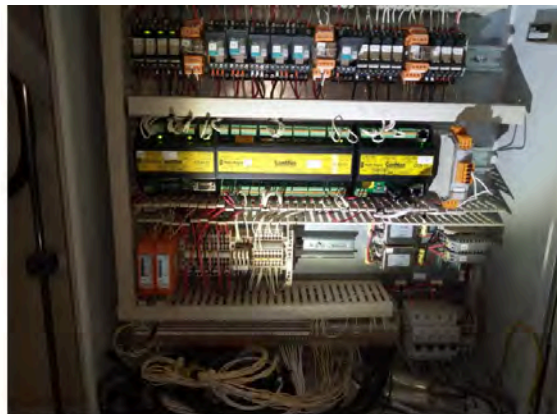


Figura 34: Cuadro eléctrico y grupo de baterías (Fuente: Trabajo de campo)

El equipo para su funcionamiento precisa de diferentes señales para optimizar todas las funciones y mejorar la precisión de los movimientos del buque. Una de las señales que será necesaria será la señal del timón, es por ello que siguiendo los esquemas de Kamewa, marca de los waterjets instalada a bordo se ha encontrado la señal que indica la posición de los mismos en cada momento y se ha trasladado al sistema. Otra de las señales que podemos conectar en el sistema, son señales de posicionamiento GPS, esta puede ser una señal independiente con su propia antena instalada a bordo o en su defecto una de las señales ya existentes a bordo de alguno de los GPS instalados. Gracias al sistema NMEA 2000 simplifica mucho la búsqueda de este tipo de señales debido a que todo está conectado a un “bus” común donde se identifica todo el tráfico de envío y recibo de señales, en este caso se ha conectado la unidad a través de un cable NMEA 2000 para recibir dicha señal.



Kamewa rudder signal connected in Starboard box

*Figura 35: Cuadro eléctrico Kamewa (Fuente: Trabajo de campo)*

Todo el equipo queda centralizado en el puente con un panel de control sencillo y de pequeñas dimensiones, con una pantalla para poder manipular los diferentes parámetros. El funcionamiento de todos los modos del equipo queda desarrollado en el anexo I.



Figura 36: Panel de control puente (Fuente: Trabajo de campo)

Podemos concluir todo el conexionado con este esquema que simplifica todo el proceso de conectividad entre los diferentes equipos

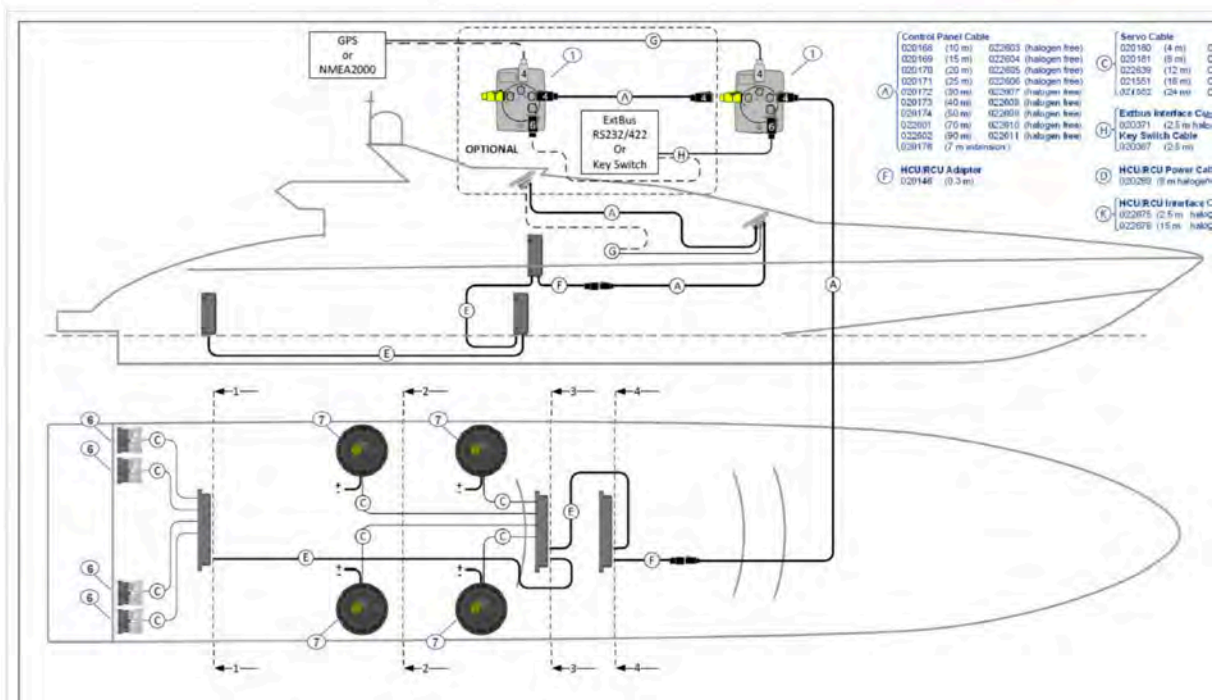
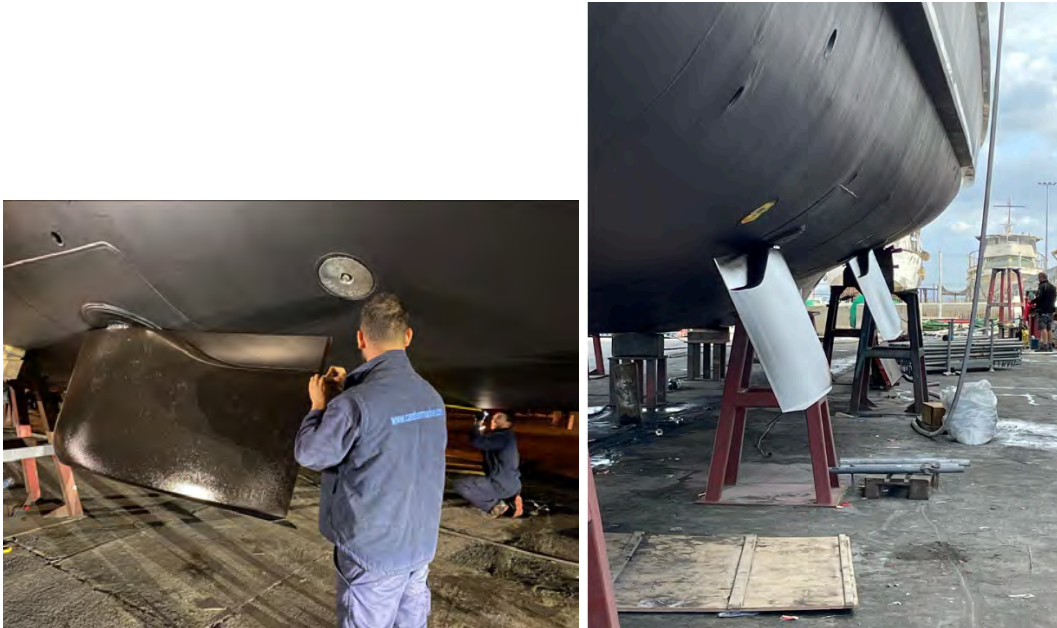


Figura 37: Resumen cableado (Fuente: Manual montaje Humphree)

### 7.7. Conexión de las aletas

La última parte antes de realizar la botadura del buque será la instalación de las propias aletas a los servos, este acople se realiza de manera manual a través de un engranaje que acopla ambas partes y queda sellado por un conjunto de pernos que quedan en la parte superior y unidos al servo. Además se ha realizado un proceso de pintado, tanto con un tratamiento de imprimación, como con un antifouling para asegurar su durabilidad.



*Figura 38: Instalación aletas(Fuente: Trabajo de campo)*

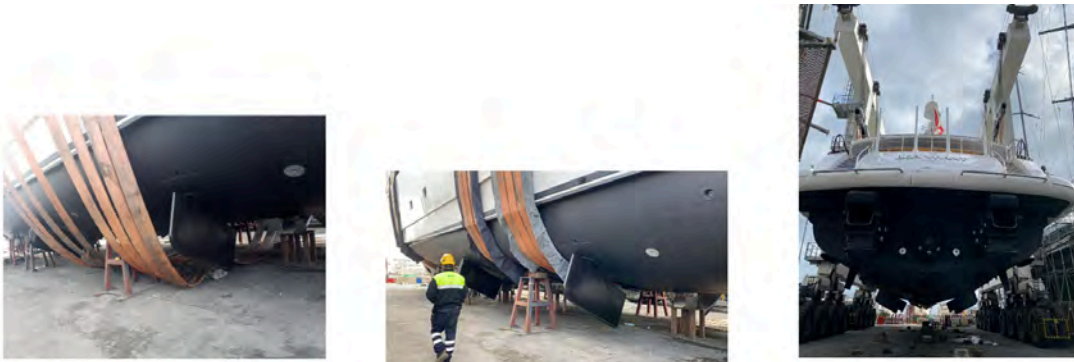


*Figura 39: Aletas estabilizadoras (Fuente: Trabajo de campo)*

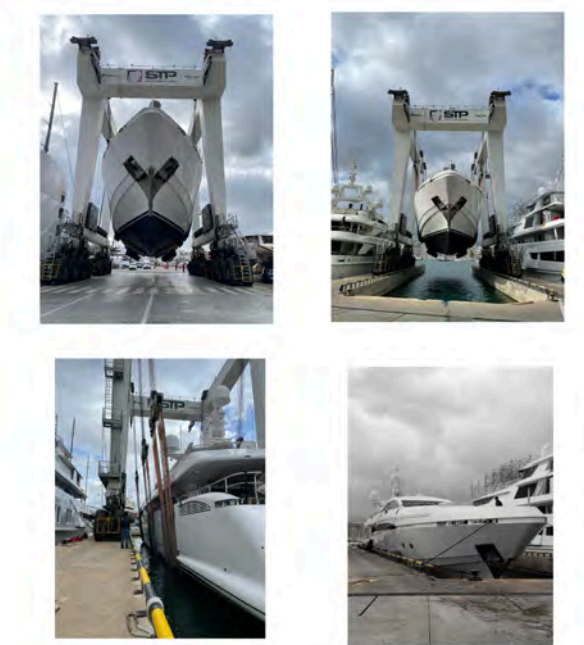


## 8. Pruebas de mar

La fase inicial de las pruebas de mar para la comprobación del equipo y obtener los resultados precisos, será necesario realizar la botadura del buque. La botadura se realiza a través de un travel lift ubicado en STP shipyard Palma, uno de los astilleros más grandes de la isla de Mallorca. Dicho travel lift ha sido considerado uno de los más grandes de Europa pudiendo izar embarcaciones de hasta 1000 tn.



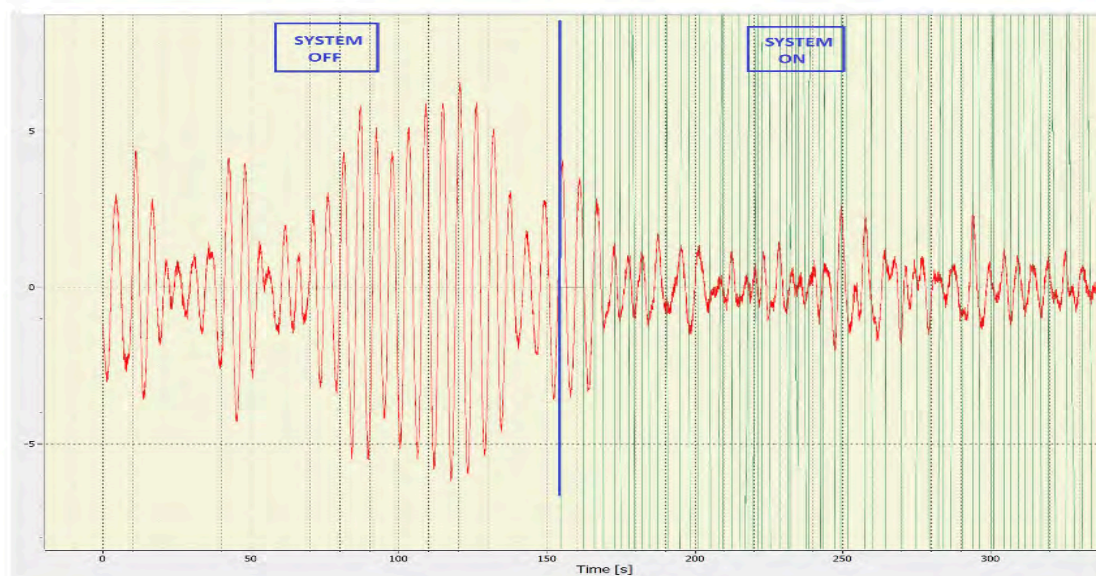
*Figura 40: Botadura (Fuente: Trabajo de campo)*



*Figura 41: Botadura (Fuente: Trabajo de campo)*

Una vez en el agua se prueba todo el sistema y se revisan todos los sellos para verificar que no exista ninguna entrada de agua, además de un buen funcionamiento en estático en puerto. Las fases iniciales requieren la configuración de todo el sistema de control que puede llevar un tiempo poder calibrar todos los aspectos. Una vez calibrado se realiza la prueba de mar fuera del puerto, en diferentes condiciones, con el buque parado y con el buque en navegación. Para ello se realizan las pruebas en la bahía de Palma, una bahía con características muy óptimas para este tipo de pruebas, dispone de unas 10 millas de longitud para poder realizar dicha navegación sin salir de aguas interiores de la isla. El día elegido es un día de noviembre con unas condiciones de fuerza 3 - 4 en la escala beaufort ( entre 8 y 15 nudos de viento ) y mar rizada en la escala douglas (aproximadamente 0,5 metros de ola) las características idóneas para poder ver el efecto el sistema, siendo condiciones flojas para un buque de este porte.

Una de las características que posee la unidad es la capacidad de poder medir los balances del buque a través de inclinómetros y acelerómetros digitales es por ello que se ha podido recoger los siguientes datos:



*Figura 42: Registro estabilización (Fuente: Trabajo de campo)*

El siguiente gráfico muestra el registro realizado con el Humphree Configurator en el que se puede ver la amortiguación del sistema en activo, en rojo, el movimiento de las aletas en verde y la línea que separa el gráfico con el sistema apagado en azul (lado izquierdo del gráfico) y el sistema activo (lado derecho del gráfico). El eje Y indica los grados. El eje X indica el tiempo en segundos del registro. La lectura se realizó durante 340 segundos. Con este registro se puede ver la reducción del balance del buque una vez el sistema se activa.

Para poder determinar de mejor manera el coeficiente de reducción del sistema se ha representado en un gráfico, en el cual las mediciones de la línea roja muestra el movimiento de balance con los estabilizadores desactivados, y la línea azul muestra el movimiento de balance con las aletas activadas.

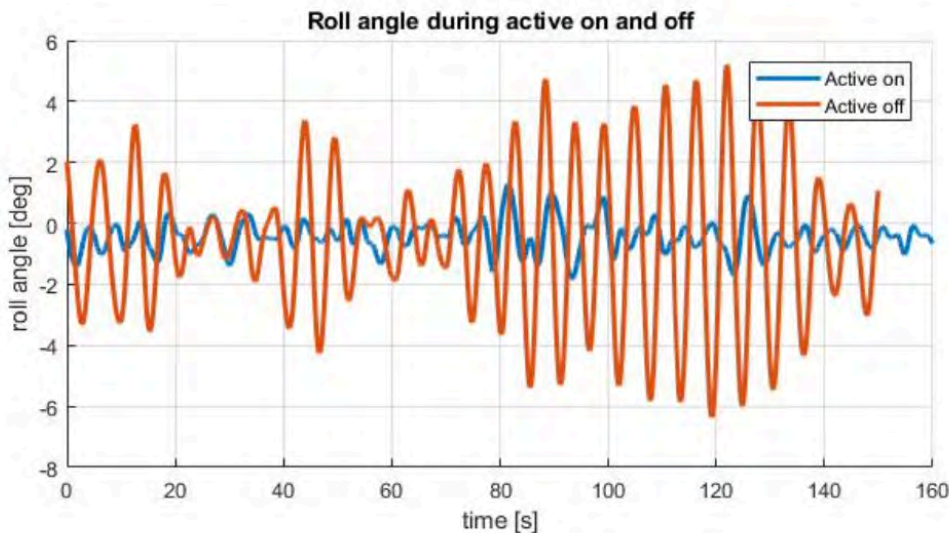


Figura 43: Diagrama de balance (Fuente: Trabajo de campo)

Calculando la desviación estándar entre ambas curvas determina las siguientes desviaciones:

- Desviación estándar encendido: 0.49989
- Desviación estándar apagado: 2.4218

Se concluye que tiene un coeficiente de amortiguación del balance entendiendo la diferencia entre el sistema activo o apagado de un 79.3582%

## 9. Conclusiones

Después de finalizar el proceso y obtener los resultados se presentan las diferentes conclusiones las cuales se han podido determinar durante el proyecto. El estudio del mismo es un proceso largo, en el cual se deben considerar multitud de factores y los cuales se deberán adaptar a cada tipo de buque. El aspecto más crítico a tener en cuenta es la modificación de la carena del buque, con el corte y ensamblado de las nuevas piezas que el sistema requiere. Es por ello, que no todos los buques serán aptos para este tipo de sistema e incluso, aunque lo sean, en algunos la instalación puede desarrollarse completamente diferente o con otros aspectos, aunque el resultado sea similar. Aspectos como la distribución de los servicios del buque será fundamental para determinar el buen funcionamiento del sistema.

Además debemos tener en cuenta que el espacio a bordo es un factor importante ya que destinar espacios a equipos significa perderlos, en su defecto para otras cuestiones, es por ello que este sistema al quedar completamente integrado en la sentina y estar en el exterior supone unos beneficios muy grandes para el buque. Además después de presentar los resultados podemos observar que el coeficiente de amortiguación es de casi un 80% resultado muy positivo en el desarrollo de los sistemas de estabilidad.

Se debe determinar que establecer un precio exacto de la instalación será difícil frente a otros sistemas que puedan determinar con mayor exactitud el precio final de la instalación debido a que este sistema pese a ser uno de los mejores en cuanto a coeficientes de estabilidad se deben considerar la mano de obra de muchos factores externos ( equipos de soldadura, metalurgia general, permanencia en astilleros, pintura) Así que no sólo será fundamental para determinar el precio, el coste del sistema sino de la modificación interior, exterior y servicios externos que pueden modificar el precio inicial.

El aspecto más importante de este sistema, será determinar durante el proceso de construcción del buque, siempre que se pueda, ya que hoy en día, los buques cambian muy rápidamente su uso comercial, la instalación de este sistema ya que de esta manera se puede realizar la instalación a un coste mucho menor debido a la facilidad de adaptación de todos los sistemas auxiliares.

## 10. Anexo

### 01.- Anexo I: Modos de funcionamiento del panel de control

La pantalla principal de control nos ofrece opciones variadas de funcionamiento dependiendo del sistema en su embarcación. Cada función seleccionada se muestra en la parte inferior de la pantalla principal.

- Trim manual: Con las funciones automáticas desactivadas, el trim manual permitirá al operador cambiar manualmente el trim y la escora de la embarcación desplegando o retrayendo los interceptores. Los grandes e intuitivos indicadores de trim y escora presentarán los ángulos en tiempo real. Una antena GPS está conectada al sistema y la velocidad de la embarcación se muestra en la parte superior izquierda de la barra de estado.
- El control automático de trim: Agrega el ajuste automático del trim de la embarcación para proporcionar el trim de funcionamiento óptimo para la máxima velocidad y el menor consumo de combustible. El operador puede ajustar manualmente el trim y la escora de la embarcación desplegando o retrayendo los interceptores y/o las aletas.
- El control automático de escora: proporciona la corrección automática de la escora de la embarcación, normalmente causada por el viento o una carga desigual. La "configuración de escora" normalmente debe ser quilla nivelada (0°). El control automático de escora ajustará automáticamente la embarcación para que navegue con el ángulo de escora establecido. La función se activa automáticamente a 10 nudos y más, manteniendo la embarcación en el ángulo de escora establecido cuando navega en línea recta.
- El control de giro coordinado: ajusta automáticamente el ángulo de escora de la embarcación durante los giros para reducir las fuerzas laterales para las personas a bordo. La capacidad de giro de la embarcación se mejora significativamente gracias a la fuerza de dirección del interceptor. Una barra de entrada del timón también se muestra en la pantalla principal.
- Con el control de ride activo: Los interceptores y/o las aletas estabilizadoras se accionan instantáneamente para proporcionar elevación que contrarresta los movimientos de la embarcación y al mismo tiempo optimiza el trim de funcionamiento y el ángulo de escora, todo en un solo sistema. El sistema incluye una unidad de control de ride (RCU) que consiste en un controlador digital avanzado con algoritmos de control únicos y un paquete de sensores avanzados que utiliza una combinación

- de GPS, giroscopios y acelerómetros para evaluar los movimientos de la embarcación.
- El control de velocidad cero: reduce el movimiento de rolo cuando la embarcación no está en movimiento. La función se puede usar cuando el barco está anclado o sin anclar. Cuando la velocidad de la embarcación es inferior a 3 nudos, el control de velocidad cero está disponible si la embarcación tiene instaladas aletas estabilizadoras.
- La asistencia de dirección con interceptor: mejora la dirección del chorro de agua desplegando los interceptores y manteniendo el empuje del chorro de agua sin desviar para comandos de dirección pequeños. Para comandos de dirección más grandes, una combinación de interceptores y la deflexión del chorro de agua resultará en una mayor fuerza de dirección y un radio de giro reducido. La barra de posición del interceptor de dirección se puede ver en la pantalla principal cuando está instalada. [2]

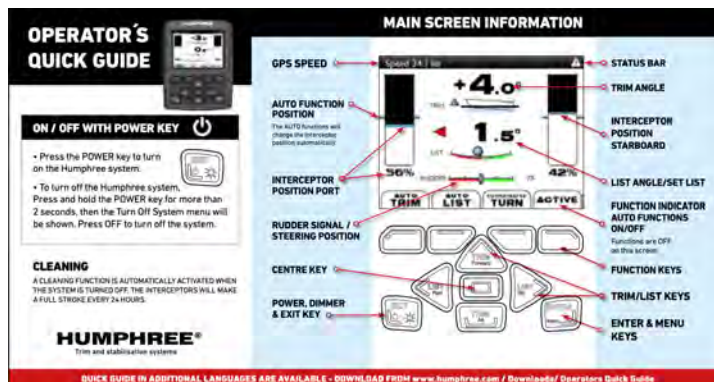


Figura 44: Manual panel de control (Fuente: Manual montaje Humphree)

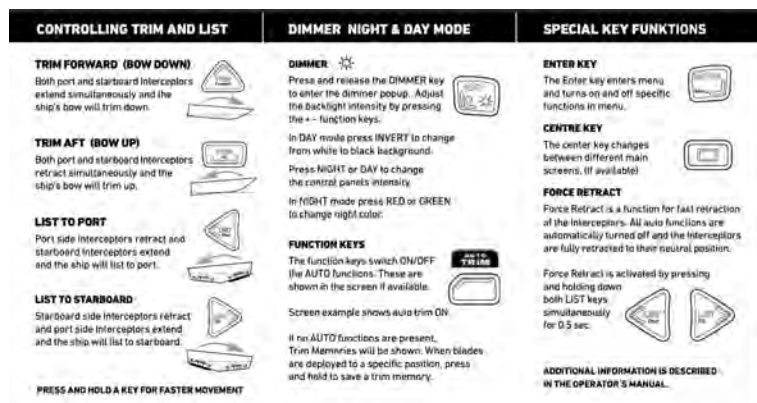


Figura 45: Manual Panel de control (Fuente: Manual montaje Humphree)

## Bibliografía

[1] El origen holandés de la navegación por placer. (n.d.). Gaceta Náutica. Retrieved Abril 2, 2024, <https://www.gacetanautica.es/author/el-origen-holandes-de-la-navegacion-por-placer>

[2] Humphree. (n.d.). Retrieved Abril 2, 2024, <https://humphree.com>

[3] Ingeniero Marino. (n.d.). Estabilizadores del buque. Retrieved Abril 2, 2024, <https://ingenieromarino.com/estabilizadores-del-buque/>

[4] Yacht Charter Fleet. (n.d.). Bon Vivant yacht for charter. Retrieved Mayo 20, 2024, <https://www.yachtcharterfleet.com/luxury-charter-yacht-23724/bon-vivant.htm>

[5] Esteban Lasheras, J. M. (n.d.). *Tecnología mecánica y metrotecnica* (Vols. 1-2).

[6] Sintemar. (n.d.). Chockfast naranja (Chockfast orange). Retrieved Junio 2, 2024, <https://www.sintemar.com/es/productos/chockfast-naranja-chockfast-orange>

[7] Mastervolt. (n.d.). Retrieved Junio 2, 2024, <https://www.mastervolt.es>

## Permiso de divulgación del Trabajo Final de Grado

El alumno **Jose Giner Oliver**, autor del trabajo final de Grado titulado **Sistema de estabilización Humphree**, y tutorizado por la profesora Amanda Peña Navarro, a través del acto de presentación de este documento de forma oficial para su evaluación, manifiesta que **NO PERMITE** la divulgación de este trabajo, una vez sea evaluado, y siempre con el consentimiento de su/s tutor/es, por parte de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, del Departamento de Construcciones Navales y de la Universidad de La Laguna, para que pueda ser consultado y referenciado por cualquier persona que así lo estime oportuno en un futuro.