

**EPSIS NÁUTICA, MÁQUINAS Y RADIOELECTRÓNICA NAVAL**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE GRADUADO EN  
NÁUTICA Y TRANSPORTE MARÍTIMO**

**ESTUDIO DEL SISTEMA DE ESTABILIZADORES Y SUS  
POSIBLES FALLOS: BUQUE BENCHIJIGUA EXPRESS**

Carlos Javier Viera Domínguez

Junio 2015



Dña. María del Cristo Adrián de Ganzo, Profesora asociada del Área de Conocimiento de Construcciones Navales certifica que:

D. Carlos Javier Viera Domínguez ha realizado bajo mi dirección el trabajo de fin de Grado titulado: **ESTUDIO DEL SISTEMA DE ESTABILIZADORES Y SUS POSIBLES FALLOS: BUQUE BENCHIJIGUA EXPRESS**

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 certificado en Santa Cruz de Tenerife, a fecha 18 junio de 2015

Director del trabajo

Dr. D. Federico Padrón Martín, Profesor del Área de Ingeniería de los Procesos de fabricación certifica que:

D. Carlos Javier Viera Domínguez ha realizado bajo mi dirección el trabajo de fin de Grado titulado: **ESTUDIO DEL SISTEMA DE ESTABILIZADORES Y SUS POSIBLES FALLOS: BUQUE BENCHIJIGUA EXPRESS**

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 certificado en Santa Cruz de Tenerife, a fecha 18 junio de 2015

Director del trabajo



# ÍNDICE

## **I. INTRODUCCIÓN**

## **II. OBJETIVOS**

1. OBJETIVO GENERAL
2. OBJETIVO ESPECÍFICO

## **III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES**

1. HISTORIA DE LOS ESTABILIZADORES: TIPOS Y USOS EN LOS BUQUES
  - 1.1 Distribución de pesos
  - 1.2 Tanques de lastre
  - 1.3 Quillas de balance
  - 1.4 Giróscopos
  - 1.5 Aletas
  - 1.6 Sistema Voith Schnneider
  - 1.7 Sistema generador de olas

## **IV. MATERIAL Y MÉTODOS**

1. MATERIAL
  - 1.1 Documentación bibliográfica
  - 1.2 Marco referencial
2. MÉTODOS

## **V. RESULTADOS**

1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL BUQUE FRED-OLSEN BENCHIJIGUA EXPRESS
  - 1.1 Identificación
  - 1.2 Características principales
  - 1.3 Sistema de Propulsión
    - 1.3.1 Motores principales
    - 1.3.2 Waterjets
    - 1.3.3 Booster
    - 1.3.4 Hélices de maniobra
  - 1.4 Sistema hidráulico
    - 1.4.1 Sistema SmartPac

## 1.5 Sistema Marine Link (Programa que controla los estabilizadores)

### 1.5.1 Motion Control System

1.5.1.1 Descripción general del sistema

1.5.1.2 MCS Estabilizadores

1.5.1.3 MCS Hidráulica

1.5.1.4 MCS Red

### 1.5.2 T-Max System

1.5.2.1 Descripción general del sistema

## 2. ESTUDIO DEL SISTEMA DE ESTABILIZACIÓN Y SUS POSIBLES FALLOS

### 2.1 T-FOIL

2.1.1 Descripción

2.1.2 Efecto

2.1.3 Representación

2.1.4 Simulación fallo

### 2.2 INTERCEPTORS

2.2.1 Descripción

2.2.2 Efecto

2.2.3 Simulación fallo

### 2.3 ROLLFIN

2.3.1 Descripción

2.3.2 Efecto

2.3.3 Representación

2.3.4 Simulación fallo

### 2.4 T-MAX

2.4.1 Descripción

2.4.2 Efecto

2.4.3 Simulación fallo

### 2.5 Comparación posibles fallos

## VI. CONCLUSIONES

## VII. BIBLIOGRAFÍA

# **I. INTRODUCCIÓN**

## I. INTRODUCCIÓN

---

A lo largo de la historia de la navegación se ha intentado reducir los movimientos del buque, tanto para la comodidad de la navegación como para la seguridad del mismo. De esta necesidad nacen los estabilizadores, como una ayuda para reducir al máximo posible estos movimientos.

Desde los primeros métodos hasta los modernos sistemas que conocemos actualmente ha habido una gran evolución. Esto ha permitido que la atenuación del movimiento sea casi perfecta.

Como ejemplo de los modernos sistemas actuales, se ha tomado como referencia para la realización de este trabajo, el buque Benchijigua Express. En este buque los estabilizadores juegan un papel muy importante. En primer lugar porque se debe garantizar la comodidad del pasaje, reduciendo los movimientos lo máximo posible. Y también, porque al ser un trimarán y tener poco calado, es más inestable que un buque convencional, por lo que, gracias a estos, se reducen esfuerzos y fatigas.

Primeramente, se explicarán los diferentes tipos de estabilizadores que ha habido a lo largo de la historia de la navegación.

Seguidamente, se estudiarán las características del Benchijigua Express y sus estabilizadores. Estos se controlan mediante un programa informático denominado Marine Link, del que conoceremos todas sus características y funcionalidades.

Además, mediante la simulación controlada de posibles fallos en el sistema, podremos comprobar cómo afectan estos a la seguridad del buque.

## **II. OBJETIVOS**

## II. OBJETIVOS

---

### 1. OBJETIVO GENERAL:

El objetivo general de este trabajo final de grado consiste en explicar cómo funcionan los estabilizadores en un buque. Para ello se toma como referencia el *Benchijigua Express*, donde he realizado una parte de mis prácticas profesionales como alumno de puente.

### 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Tipos y como se pueden controlar
2. Efecto de cada estabilizador sobre el buque
3. Posibles fallos de los sistemas a bordo

### **III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES**

#### **1. HISTORIA DE LOS ESTABILIZADORES: TIPOS Y USOS EN LOS BUQUES.**

En primer lugar se definen dos tipos de estabilizadores:

- a) Activos: Se definen por la necesidad de energía de entrada al sistema a través de una bomba, pistón hidráulico o actuador eléctrico. Son más efectivos pero presentan un alto coste y mantenimiento. Pueden ser retráctiles o estar en una posición fija.
- b) Pasivos: No necesitan energía de entrada ya que no son móviles. Son menos efectivos que los estabilizadores activos pero presentan un bajo coste y un mínimo mantenimiento.

Estos sistemas están diseñados para reducir los efectos de las olas o ráfagas de viento.

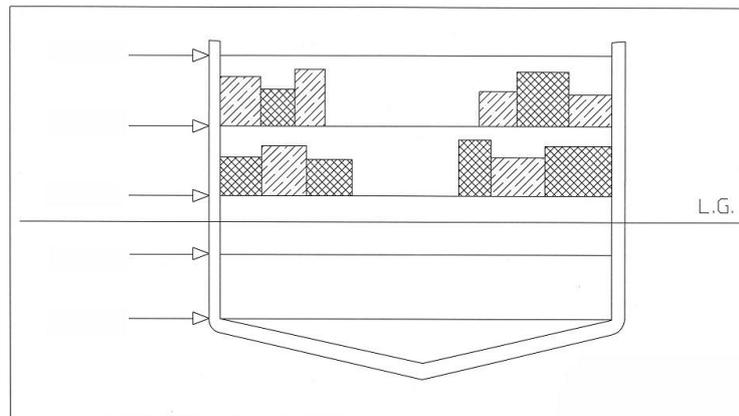
No aumentan la estabilidad de la embarcación en un mar en calma. La Convención Internacional de la Organización Marítima Internacional no menciona los sistemas de estabilidad activa como forma de garantizar la estabilidad. El casco debe ser estable sin sistemas activos

En segundo lugar, los diferentes tipos de estabilizadores usados en la historia de la navegación son muchos entre los que destacan:

#### 1.1 Distribución de pesos

Originarios de la época romana, pero en algunas ocasiones en que es necesario, todavía se sigue utilizando hoy en día. Se basa en la estiba de la carga, especialmente cuando se trata de la mitad o un poco menos de la plena carga. Consiste en distribuir la carga en los lados de las cubiertas superiores.

Ilustración 1



Fuente: michelangelo-raffaello [1]

De este modo, el peso de la carga se aplica como una fuerza que funciona como contrapeso, contrastando los puntos fuertes que causan los movimientos de balance. Este sistema afecta también, aunque muy poco, a los movimientos de cabeceo.

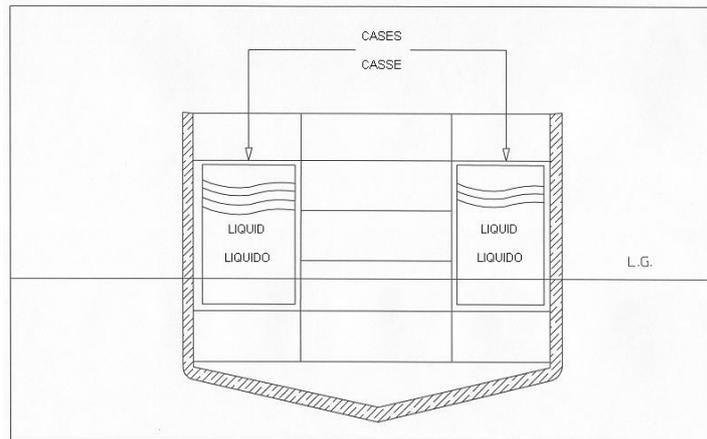
#### 1.2 Tanques de lastre

Es un método similar al sistema de distribución de la carga, pero en este caso el peso se obtiene por tanques construidos en el interior del casco y se llenan con agua. Estos tanques pueden extenderse a largo de toda la eslora del casco. La desventaja de este sistema es que las superficies líquidas son libres de moverse, por lo que se reducen las propiedades de estabilidad del buque. [1]

### III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

---

Ilustración 2



Fuente: michelangelo-raffaello[1]

En la actualidad, este sistema se sigue utilizando y ha evolucionado. Los más modernos se basan en bombas de trasiego que distribuyen el agua de un tanque al otro rápidamente. Para ello, un sensor se encarga de medir la escora del buque (inclinómetro) y de enviar la señal a una unidad computarizada para que actúe sobre las bombas de trasiego.

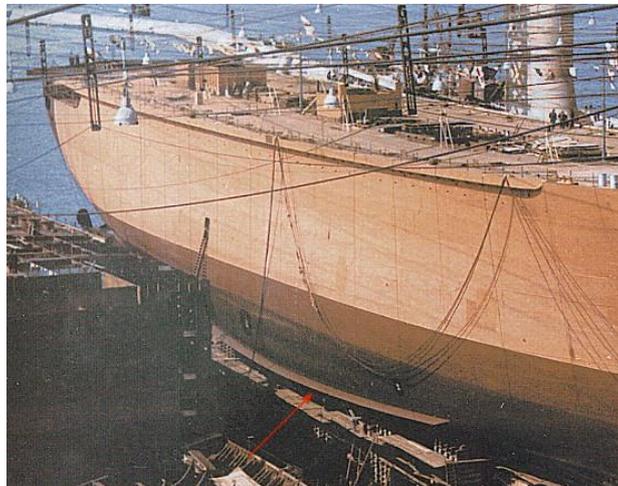
La capacidad necesaria de aguas de lastre es proporcional al tamaño del buque y sus condiciones de carga, pudiendo transportar desde unos centenares de litros hasta 100 000 toneladas entre las que también se incluyen sedimentos y particularmente, seres vivos animales y vegetales, incluyendo virus, bacterias y otros microorganismos. Con el tiempo ha sido reconocido como un problema medioambiental de primer orden, provocado por la introducción artificial de especies ajenas en ecosistemas que terminan por desequilibrarse al entrar en competencia con especies autóctonas.

#### 1.3 Quillas de balance

Se utilizaron por primera vez en el siglo 20. Son aletas situadas en el pantoque, colocadas en la mitad del buque en babor y estribor. Se emplean en una longitud del 25% al 40% de la eslora y su ancho es entre 30 a 60 cm. Debido a que pueden incrementar hasta un 5% la resistencia al avance, es preferible construirla con los contornos finos y con ángulos de entrada y salida de 25° a 30°.

Las quillas de balance transmiten al casco un elevado momento de amortiguamiento, razón por la que se recomienda construirlas sobre una superficie reforzada y entre elementos estructurales. No es tan eficaz en la reducción de balances pero es más fácil de instalar y no requiere espacio en el interior del casco.

Ilustración 3



Fuente: michelangelo-raffaello [1]

#### 1.4 Giróscopos

El trasatlántico italiano “Conte di Savoia” de 52.000 toneladas, construido en 1932 fue pionero en la utilización de giróscopos como estabilizadores.

Se basaba en los principios físicos del giróscopo: Un giróscopo en movimiento posee un movimiento angular y este se comportará para conservar este movimiento si se

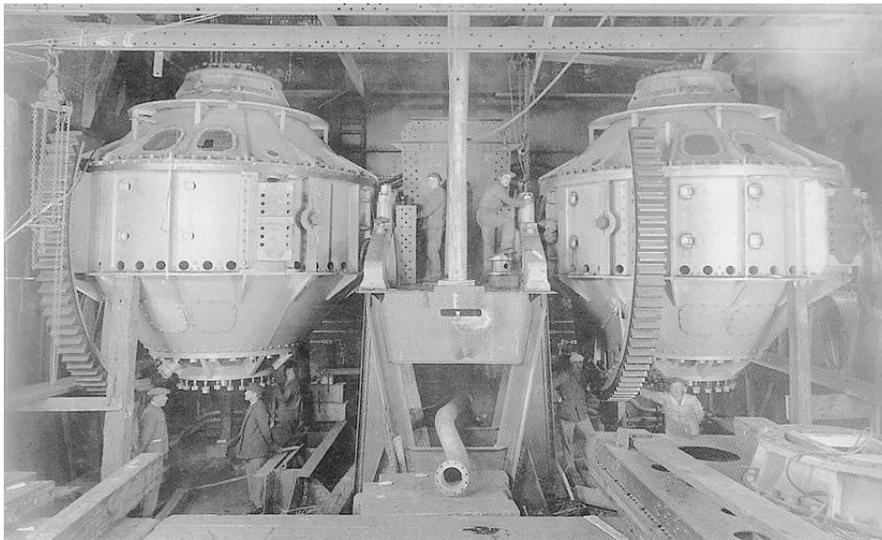
### III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

---

le somete a una fuerza externa. Esta facultad del giróscopo a reaccionar se denomina precesión.

El buque tenía 3 giróscopos de grandes dimensiones, situados en la proa. La fuerza de inercia, a través de sus volantes de giro, creaba una fuerza de oposición a los balances del buque. Cuanto mayor fuese el movimiento angular, mayor sería la fuerza de inercia.

Ilustración 4



Fuente: michelangelo-raffaello [1]

Este sistema tenía varios límites. En primer lugar, los cascos de los buques mercantes no están contruidos para albergar tanto peso. Estas cargas anormalmente fuertes y concentradas causan enormes tensiones en el casco. Debido a esto, emitía crujidos terribles en presencia de malas mares. Además, en el mar agitado e irregular, cuando se requerían movimientos rápidos y repentinos de los ejes de rotación de los giróscopos, el mecanismo no era capaz de trabajar con la suficiente velocidad. Por ello, el sistema aumentaba el movimiento de balance en vez de trabajar en contra de él. [1]

Finalmente se llegó a la conclusión de que el sistema, aunque reducía los movimientos de balance, no era rentable. Los giróscopos eran muy pesados por lo que reducían la capacidad de carga. Además, las estructuras ocupaban un considerable espacio que podía ser utilizado para pasajeros o carga.

### III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

---

Los requisitos de energía, para girar los volantes, eran muy altos. Todos estos factores hicieron que directamente, los estabilizadores mediante giróscopos, fueran inadecuados por lo que el experimento no se repitió.

En la actualidad, gracias a su evolución, se ha conseguido un sistema mucho mejor. Los nuevos estabilizadores constan de una esfera de aluminio sellada al vacío que contiene un volante o masa de alrededor de 300 Kg que gira a 10.000 rpm produciendo un gran momento angular que controlado por un cilindro hidráulico, manejado por un ordenador permite eliminar o reducir ampliamente los balances. Su principal ventaja es que es pequeño y ligero. [2]

Ilustración 5



Fuente: Ingeniero marino [2]

#### 1.5 Aletas

Se instaló en los buques Michelangelo y Raffaello, en el año 1965. Se basa en el empuje hidrodinámico generado por uno o más par de "alas" que sobresalen del casco bajo el nivel del mar. Las alas funcionan de manera similar a las alas de un avión, pero su inclinación es ordenada por un sensor que detecta los balances del buque. Naturalmente, la eficacia de las alas es proporcional a su superficie y a la velocidad del buque.

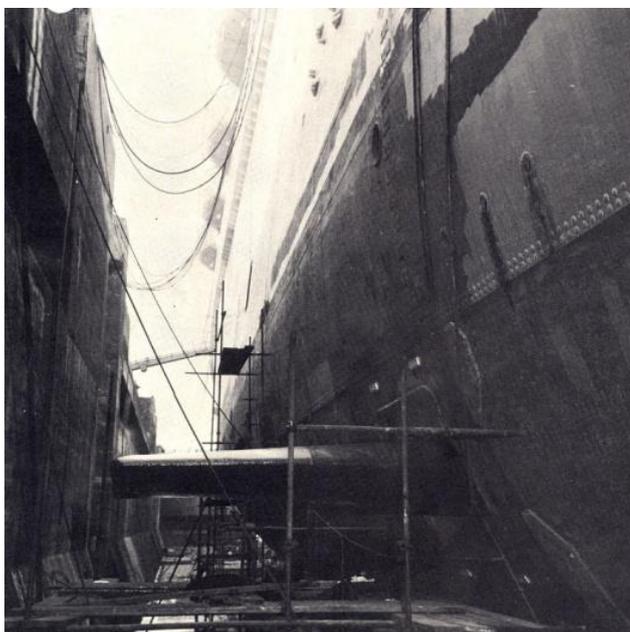
### III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

---

El peso del sistema es de aproximadamente 1/4 del sistema giroscópico. Como en el buque Michelangelo y Raffaello, las alas pueden ser retraídas dentro del casco cuando no es necesario. Gracias a esto, se disminuye la resistencia al agua y el consumo de combustible. [1]

En la actualidad, es uno de los sistemas más utilizados debido a su gran capacidad de estabilización, fiabilidad y coste. Se utiliza fundamentalmente en cruceros y buques de pasaje.

Ilustración 6



Fuente: michelangelo-raffaello [1]

#### 1.6 Sistema Voith Schneider

Es uno de los sistemas más innovadores de la propulsión naval actual, que incorpora en un solo equipo: propulsión, gobierno y estabilizador de balance. Puede generarse empuje en cualquier dirección y de cualquier magnitud en forma rápida, precisa y sin escalonamientos, lo que proporciona una serie de ventajas operacionales.

Utilizado por Remolcadores, Buques Offshore, Ferries, Manejadores de barcas y Plataformas Marinas, el Propulsor Voith Schneider Propeller (VSP) presenta la gran ventaja de mejorar notoriamente las cualidades evolutivas de la embarcación. Por tal razón se emplea particularmente en situaciones en que se opera en aguas limitadas y de tráfico intenso.

El concepto de este sistema se basa en un rotor que va alojado en el casco y tiene movimiento de rotación constante alrededor de un eje vertical. En la parte inferior del rotor con forma de disco, están afirmadas 4 ó 5 palas de perfil hidrodinámico, las cuales participan del movimiento circular del rotor y a su vez se superponen sobre sus respectivos ejes verticales mediante un mecanismo llamado cinemático. [2]

Ilustración 7



Fuente: ingeniero marino [2]

Al modificarse el paso de las palas y su excentricidad se consigue que la fuerza de empuje resultante actúe en cualquier dirección que se desee; de esta manera, manteniendo el giro del rotor en el mismo sentido y a velocidad constante, se logra realizar el cambio de marcha de adelante a atrás o viceversa de manera muy rápida.

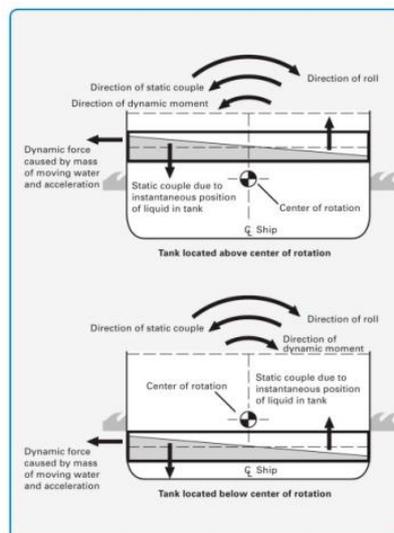
#### 1.7 Sistema generador de olas

Utiliza un flujo de líquido controlado dentro de un tanque especialmente diseñado, lleno con agua de lastre, para crear un momento estabilizante oponiéndose al movimiento de la ola que causa los balances del buque.

La cantidad de momento estabilizante creado depende de varios factores tales como el tamaño y la ubicación del tanque, así como, la forma del casco y la condición de carga del buque. Generalmente, con un buen diseño del tanque se pueden reducir los balances en un promedio del 40 al 60 %.

El sistema alerta de las condiciones óptimas de operación para permitir al estabilizador trabajar correctamente, por ejemplo si el nivel del agua está muy alto o muy bajo. El nivel recomendado de fluido puede ser ajustado automáticamente. Además posee un rápido sistema de descarga que en caso de emergencia puede descargar el fluido rápidamente. [3]

Ilustración 8



Fuente: Gizmodo [3]

## **IV. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **1. MATERIAL**

#### **1.1 Documentación bibliográfica**

La documentación bibliográfica utilizada para la realización de este trabajo ha sido recopilada por el autor de este Trabajo Fin de Grado, a base de manuales, artículos, referencias, libros, gráficas y demás datos bibliográficos que han podido ser de utilidad durante la elaboración.

#### **1.2 Marco referencial**

El marco referencial ha sido el buque Benchijigua Express, donde he realizado una parte de mis prácticas profesionales como alumno de puente. Durante ese periodo, he podido comprobar la importancia de los estabilizadores en un buque de este tipo.

También ha sido de vital importancia la colaboración de los oficiales de puente y maquinas, que a través de sus conocimientos y experiencia, me han permitido entender de forma más clara y sencilla, el funcionamiento de los estabilizadores.

### **2. MÉTODOS**

Para la realización del trabajo de campo, me he basado en mi experiencia profesional que me ha permitido conocer el uso de los estabilizadores, así como, sus diferentes usos. Se han incluido una serie de fotografías tomadas a bordo del buque Benchijigua Express, así como tablas e ilustraciones procedentes de manuales del mismo.

## **V. RESULTADOS**

### 1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL BUQUE FRED-OLSEN BENCHIJIGUA EXPRESS

Es un buque trimarán de alta velocidad y pantoque curvo, con la incorporación de un bulbo en su proa. Construido en Henderson (Australia) por el astillero AUSTAL, está diseñado para el transporte de vehículos y pasajeros. Se entregó en Abril de 2005 a la naviera Fred Olsen. Actualmente opera en Canarias, la ruta Tenerife-La Gomera-La Palma.

Sus 127 metros de eslora le hacen ser el segundo trimarán más grande del mundo a menos de 1 metro de la nave de combate Independence, basada en el diseño del Benchijigua y construida por el mismo astillero.

Los trimaranes presentan varias ventajas en comparación con los monocascos. Dados un monocasco y un trimarán de la misma eslora, el segundo tiene menor resistencia a la corriente, mejor estabilidad y un área de contacto menor en el casco. Además, dadas sus dimensiones, el trimarán no necesita la pesada quilla lastrada de un monocasco. Como resultado de lo anterior, los trimaranes son más ligeros, y por lo tanto más rápidos.

El casco y la superestructura están realizados en aleaciones de planchas de aluminio, que le aportan una gran ligereza. Todo el aluminio está certificado por el DNV (Det Norske Veritas).



### 1.1 Identificación

Número de construcción	260
Colocación de la quilla	11 de Noviembre de 2003
Botadura	25 de Septiembre de 2004
Distintivo de llamada	ECHP
Número IMO	9290056
Número MMSI	224441000

### 1.2 Características principales

Eslera máxima <i>Lenght overall</i>	126,65 m
Manga máxima <i>Extreme breadth</i>	30,40 m
Puntal a la cubierta principal <i>Depth to main deck</i>	8,20 m
Calado máximo a proa <i>Maximun fore draught</i>	3,71 m
Calado máximo en el centro <i>Maximun centre draught</i>	3,89 m
Calado máximo a popa <i>Maximun aft draught</i>	4,30 m
Desplazamiento máximo <i>Full load displacement</i>	2.509 TM
Francobordo de verano <i>Summer freeboard</i>	4,19 m
Desplazamiento en rosca <i>Light ship displacement</i>	1.509 TM

## V. RESULTADOS

Peso muerto <i>Deadweight</i>	1.000 TM
Arqueo bruto <i>Gross Tonnage</i>	8.973 TRB
Arqueo neto <i>Net Tonnage</i>	2.691 TRN
Velocidad de crucero <i>Cruising Speed</i>	33 Nudos
Velocidad máxima <i>Maximum Speed</i>	45 Nudos

Ilustración 1

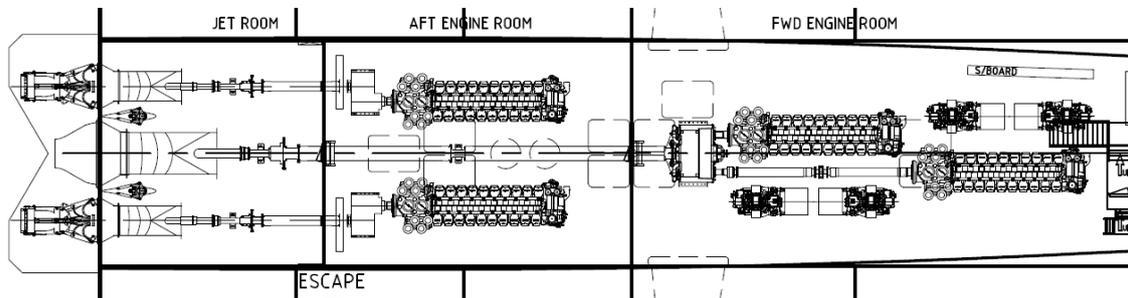
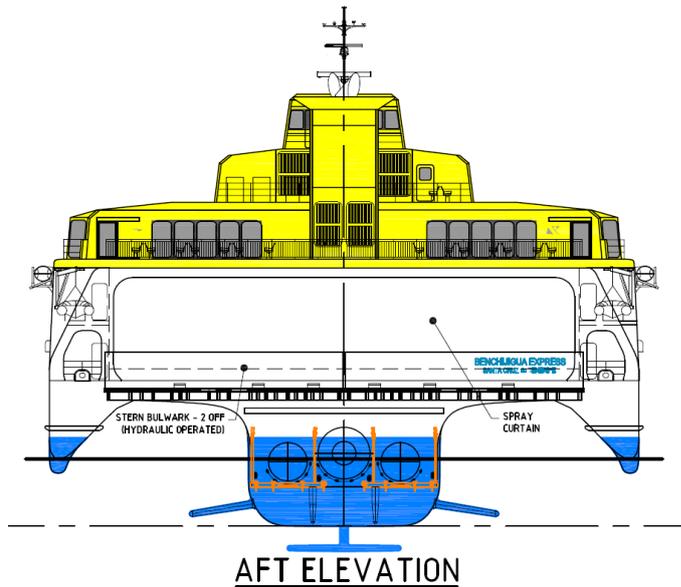


Fuente: Benchijigua Express

### 1.3 Sistema de Propulsión

El buque está provisto de cuatro motores diesel MTU 20V8000. Los dos motores exteriores están acoplados cada uno a una reductora y a su vez poseen un waterjet direccional Kamewa 125 SII. En el caso de los dos motores interiores se acoplan a una misma reductora y poseen un waterjets de empuje Kamewa 180 BII. [4]

Ilustración 2



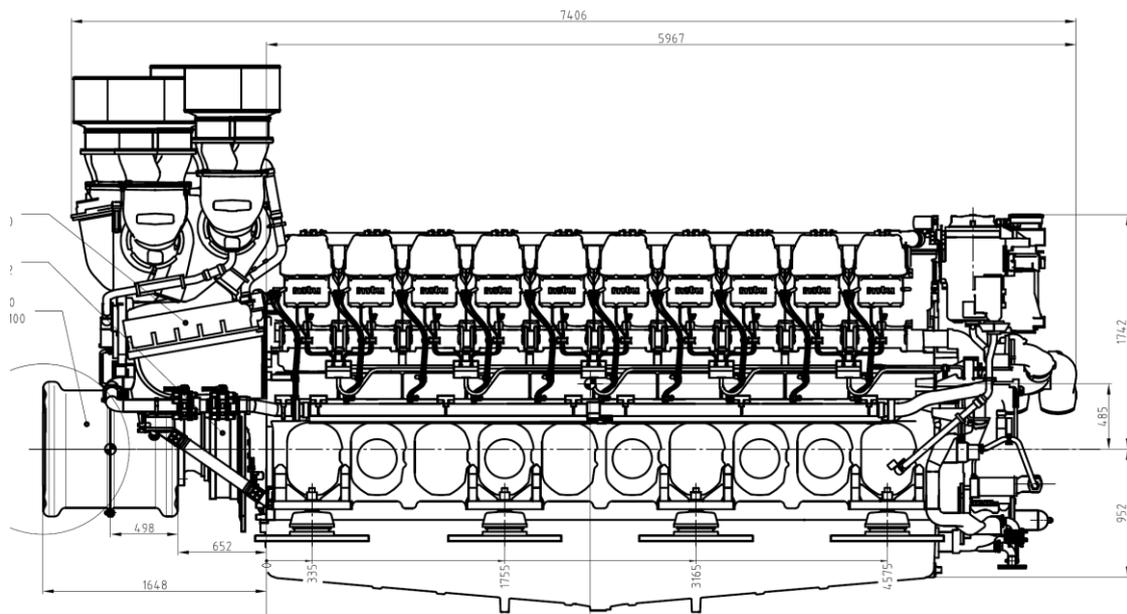
Fuente: Benchijigua Express [4]

### 1.3.1 Motores principales

Estos motores son de cuatro tiempos, refrigerados por agua, diesel de inyección directa. Están controlados por 24 voltios con arranque por aire y secuencia automática de arranque. Tienen una longitud de 7,4 metros y 2,4 metros de ancho con 44.500 Kg de peso. [4]

A velocidad de crucero funcionan a un régimen de 1100 rpm mientras que en ralentí a 400 rpm. Sus 20 cilindros en V le dan una potencia de 8200 Kw (11.150 CV).

Ilustración 3



Fuente: Benchijigua Express [6]

Los motores están equipados con alarmas para alertar al operador de los mismos en caso de cualquier inconveniente de la operación del motor. Cuando una alarma se activa, se deben tomar medidas correctoras, antes de sufrir cualquier daño el motor. Estas alarmas son activadas cuando existen temperaturas, presiones, niveles o revoluciones críticas.

### 1.3.2 Waterjets

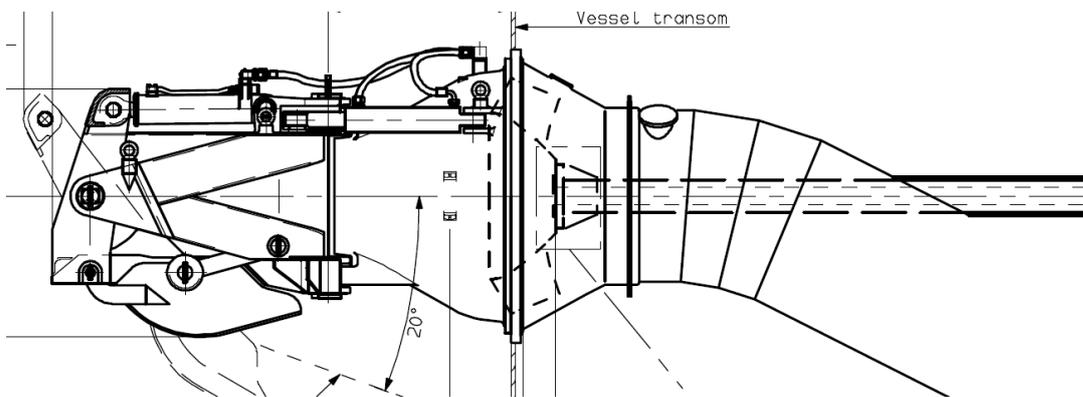
Existen dos waterjets direccionales y reversibles, localizados en el espejo de cada uno de los cascos laterales.

Cada sistema waterjets Kamewa consiste en una entrada de agua, una bomba con una salida del chorro en forma de jet y un sistema direccional y reversible. El sistema de gobierno está diseñado para cambiar la orientación de la salida del chorro. Para la condición de atrás una cuchara logrará que el chorro de agua salga hacia delante, consiguiendo así el empuje deseado.

La entrada de agua dentro de la bomba está localizada en el casco por su parte inferior. La inserción de la entrada de agua en la bomba está constituida de tal manera que no se produzcan turbulencias a la entrada de la misma. Con el movimiento direccional de los waterjets, los mismos pueden orientarse hasta 30 grados hacia babor y estribor. La cuchara se une al waterjets por unos cojinetes de bronce auto lubricados y que se mueven gracias a dos cilindros hidráulicos en la parte superior del mismo.

En la acción de atrás la cuchara se irá cerrando para enviar el flujo de agua hacia la proa, logrando así el empuje del barco hacia atrás. Este empuje se puede graduar, además de con las revoluciones del motor, con la apertura y cierre gradual de la cuchara. Esta acción se realiza por medio de un cilindro hidráulico situado en su parte superior. [4]

Ilustración 4



Tanto el control del gobierno como del empuje avante 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 avante o atrás y de gobierno están situados en las estaciones de control de los mismos.

El control principal de los waterjets está situado en el puente, entre los asientos del Capitán y primer Oficial. Teniendo en esta posición control de las revoluciones, apertura y cierre de los waterjets, así como gobierno de los mismos. El sistema de gobierno de emergencia también se encuentra en esta consola. En la parte de atrás de la consola, antes indicada, se encuentra la consola de maniobra, donde se localizan controles e indicadores de los waterjets.

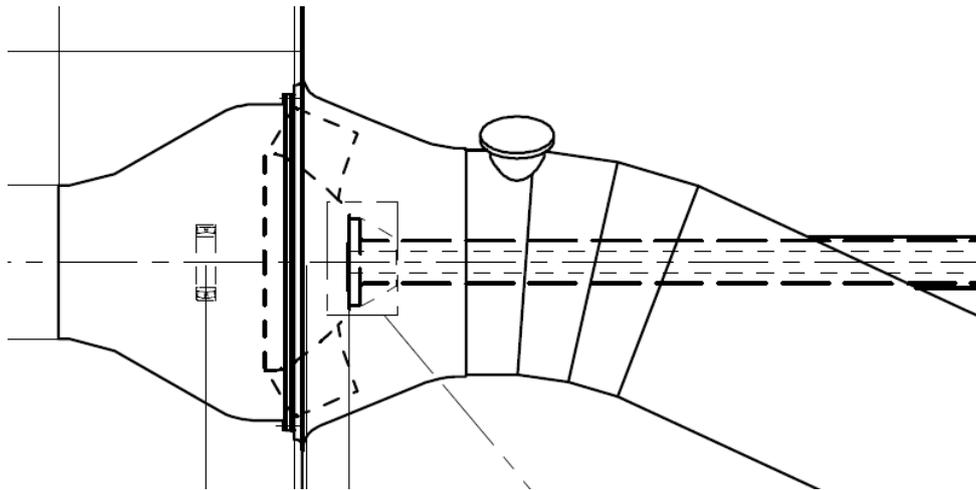
### **1.3.3 Booster**

No es direccional ni reversible. Este propulsor está instalado en crujía del buque sobre el espejo. Este waterjet consiste en un conducto de entrada, un impulsor y una tobera de salida que da forma al chorro.

Como este waterjet ha sido instalado solo para proporcionar empuje, y no para gobernar a las bandas o atrás su sistema de control es independiente del sistema de control de KAMEWA de los otros dos waterjets. El control de este waterjet se hace directamente desde el propio sistema de control MTU de los dos motores principales centrales. [4]

El conducto de entrada está integrado en el casco del buque. La intersección con el casco está suavizada para evitar perturbaciones en el impulsor. El panel de control principal se sitúa en la consola principal, entre los asientos del Capitán y del Primer Oficial

Ilustración 5



Fuente: Benchijigua Express

### 1.3.4 Hélices de maniobra

El buque está equipado con dos hélices de maniobra Rolls-Royce Aquamaster retractiles, las cuales se encuentran en el casco central, inmediatamente a proa y a popa del mamparo estanco de la cuaderna 26.

Proporcionan:

- Empuje a los 360° para maniobras a poca velocidad
- Ayuda para maniobras de puerto con vientos de costado
- Propulsión y gobierno para casos de emergencia

Las hélices son no-reversibles totalmente azimutales, con gobierno hidráulico. Cada unidad es movida por un motor eléctrico de velocidad variable de 450 Kw. En condiciones normales ambas hélices son controladas como una sola. Pueden operarse de modo independiente y, si una de ellas queda in-operativa, la otra podrá usarse. Los controles se encuentran en la consola principal del puente y en la consola de maniobra del puente

Ilustración 6



Fuente: Benchijigua Express

Cuando no se opere, cada hélice se mantiene asegurada en su posición alta mediante dos trincas hidráulicas. La abertura inferior del casco queda sellada con una plancha de cierre, la cual va montada sobre la parte inferior de la tobera de la hélice.

Cuando la hélice se retrae, esta plancha de cierre queda bloqueada en su posición por medio de cuatro trincas giratorias hidráulicas. Las fuerzas hidrodinámicas que actúan sobre esta plancha se transmiten directamente al casco, mientras que la hélice de proa queda aislada por medio de soportes elásticos. Para evitar una tensión excesiva y posibles daños a la unidad y/o el casco, el sistema solo permite subir o desplegar las hélices cuando la velocidad del buque es inferior a 6 nudos. Por lo tanto, antes de comenzar a desplegar o izar las hélices, lo ideal es poner los motores a ralentí.

### 1.4 Sistema hidráulico

En este barco existen dos sistemas hidráulicos independientes. Cada sistema es operado y alimentado independientemente.

- Sistema hidráulico de Kamewa.
- Sistema hidráulico de las máquinas de cubierta y sistema de control de movimiento de los estabilizadores.

#### 1.4.1 Sistema SmartPac

Este sistema hidráulico tiene 3 SmartPac de 3 bombas cada uno con una potencia de 66 KW de la casa “Sea State”. Los “SmartPacs” están situados, dos en el Sala de Jets y otro en la planta de proa.

Cada “Smart Pac” consiste un tanque de aceite con 3 bombas hidráulicas principales, motores eléctricos y armario de control eléctrico montado en el frente.

Ilustración 16



Fuente: Elaboración propi

Cada una dispone de un enfriador y circuito de filtración separados. Este circuito tiene una bomba que circula aceite a través de un intercambiador de calor agua/aceite retornando después al tanque a través de un filtro de circulación. Hay filtros adicionales en cada línea de succión así como también en las descargas de las bombas principales. Hay también varios instrumentos de protección fijados al “Smart Pac” para controlar y proteger el sistema.

Los sensores de monitorización miden el nivel de aceite y temperatura del depósito, la presión de descarga de la bomba principal y el ensuciamiento del filtro. Estos sensores los usa el sistema de control para proveer un interfaz al operador (para suministrar información), así como controlar el calentamiento, enfriamiento y operaciones de parada de emergencia. Un plano del circuito hidráulico está situado en el panel frontal de cada “Smart Pack”. [5]

Los “Smart Packs” proveen potencia hidráulica a los siguientes equipos:

- Sistema de estabilización.
- Trincas bloque hélices de proa.
- Cabrestantes de proa.
- Cabrestantes de popa.
- Molinete.
- Cilindros de las cancelas.
- Cortina de popa.
- Pescantes botes de rescate.

El sistema de control de estabilización ha sido instalado por “Sea State”. Este sistema esta movido por tres “Smart Packs”. Este sistema solo se utiliza en la mar, mientras el equipo de cubierta solo se utiliza en puerto. Ambos sistemas no pueden ser utilizados simultáneamente.

De la misma forma se supone que solo se operara un equipo de cubierta a la vez, por ejemplo si 2 cabrestantes se operan simultáneamente, será insuficiente el flujo de aceite desde el “Smart Pack” para que los dos cabrestantes giren a máxima velocidad. En una situación como esta la presión de aceite en el “Smart Pack” caerá y dará alarma de baja presión de aceite.

### 1.5 SISTEMA MARINE LINK

El buque dispone de un programa informatizado, denominado por AUSTAL, como “Marine Link” en el que se controlan y monitorizan todos los equipos del buque. El panel principal se encuentra situado en el puente, en la posición del jefe de maquinas. También existe otro panel situado al lado del asiento del primer oficial.

Se basa en sensores que miden temperaturas, presiones, posiciones... Estos envían la señal a una unidad central, que la procesa y la representa en las pantallas del puente.

También se envían señales, mediante comandos, que activan o mueven diferentes sistemas del buque como por ejemplo:

- Estabilizadores
- Sistema hidráulico
- Hélices de proa
- Puertas corta-humos

#### 1.5.1 MOTION CONTROL SYSTEM (PROGRAMA QUE CONTROLA LOS ESTABILIZADORES)

El sistema de control de movimiento (MCS) es automático, controlado electrónicamente y opera hidráulicamente el control de movimiento y el control del asiento (trimado) del buque. El sistema básicamente actúa sobre las superficies de control de los estabilizadores, cuyos movimientos son controlados por un controlador local de lazo cerrado, a través de órdenes desde una unidad central computarizada. [5]

El control del *Motion Control System* se realiza a través del *Marine Link*. En él se pueden controlar todas las funciones del sistema.

En caso de fallo del Marine Link, el Motion Control System seguirá, automáticamente, en funcionamiento en el modo que estaba seleccionado antes de fallar. El control limitado seguirá disponible a través de la pantalla táctil del puente.

Las páginas disponibles en la interface del Marine Link para la configuración de los estabilizadores son:

- MCS Control
- MCS Hydraulics
- MCS Network

### 1.5.1.1 Descripción general del sistema

El sistema tiene 5 principales elementos que forman el sistema de control:

- Sensor de movimiento
- Control de algoritmo
- Comunicación de red
- Control de lazo cerrado local
- Estaciones de control

- Sensor de movimiento:

Consiste en una matriz, con sensores de movimiento montados en un recipiente sellado, que se encarga de medir los movimientos del buque. Los datos registrados se comunican con el control de algoritmo, donde se procesa la señal.

Ilustración 17



Fuente: Elaboración propia

- Control de algoritmo:

El sistema incorpora un sofisticado algoritmo de control de alta velocidad. El algoritmo monitoriza constantemente los datos del sensor de movimiento y envía señales de mando a las estaciones de control locales. Cada estabilizador es accionado para proporcionar una fuerza de oposición al movimiento de la embarcación tanto para minimizar los movimientos del buque como para proporcionar un trimado adecuado.

El algoritmo del *Seastate* se ha desarrollado utilizando la tecnología de control principal para producir una excelente atenuación de movimiento para un determinado tamaño de la fuerza hidrodinámica. El usuario tiene la opción de aumentar o disminuir la agresividad del control de movimiento para ajustar la “sensación” de la embarcación. Este también posee más opciones de configuración, que se describirán más adelante.

- Comunicación de red:

Las comunicaciones del sistema son a través de una red digital distribuida a lo largo de todo el buque. Todos los dispositivos y las interfaces de usuario están conectados a uno de los nodos dentro de la red. Se puede acceder a cualquier nodo por su propia interfaz de usuario y este puede funcionar independientemente de los otros nodos. También es posible desactivar el control local en cada nodo a través del Marine Link.

- Control de lazo cerrado local:

Después de recibir una señal de mando de accionamiento desde el algoritmo del Seastate, la estación de control local mueve los actuadores de fuerza hidráulica a la posición deseada, utilizando un control de lazo cerrado local. Este controlador, a su vez, acciona la válvula servo y recibe su señal de realimentación desde un transductor de posición integral en el actuador hidráulico. El controlador de lazo cerrado local se establece durante la puesta en marcha de las pruebas de mar.

- Estaciones de control:

Hay 2 interfaces a través de las cuales se puede acceder al sistema para que pueda ser controlado por el operador.

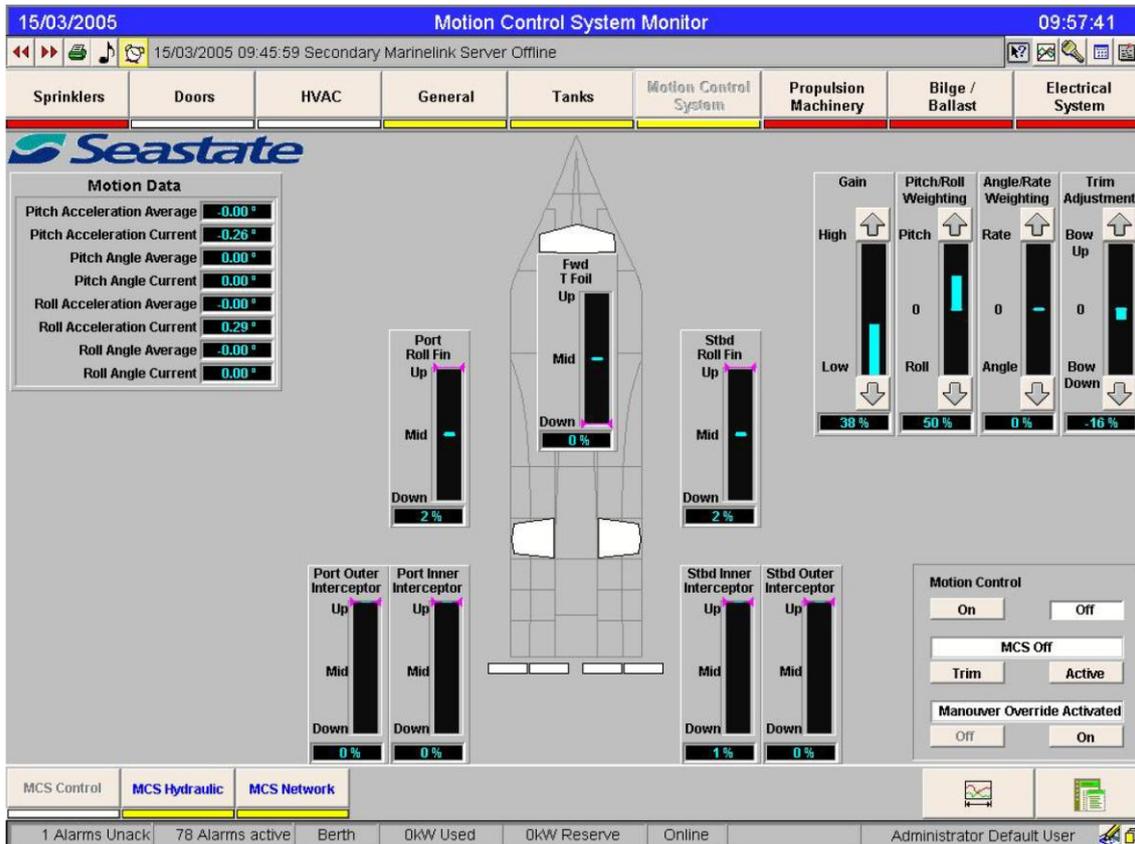
1. Marine Link
2. Estaciones de control local

Todos los seguimientos y las notificaciones de los parámetros de funcionamiento del sistema se realizan a través del Marine Link. Los sistemas hidráulicos pueden funcionar de forma remota en esta estación. El Marine Link también muestra las posiciones de la superficie de control, modo de operación e informa de cualquier mal funcionamiento con las alarmas de la pantalla.

Cada *SmartPac* tiene su propio control de pantalla táctil local. El estado de cada fuente de energía básica se mostrará junto con la posición del generador de fuerza instantánea atendida por el *SmartPac*. El control local del generador de fuerza se puede ver también a través de esta pantalla.

1.5.1.2 MCS ESTABILIZADORES

Ilustración 18



Fuente: Benchijigua Express [5]

a) Indicador de posición de las superficies de control

Cada señal de realimentación, de posición de la superficie de control, se representa gráficamente como un bar. El intervalo indicado es de 0 a 100% del rango completo de cada superficie de movimiento. El rango de superficie de control de movimiento se indica como “Up” (retraída) a “Down” (totalmente extendido). Las flechas en el lado de cada barra de retroalimentación indican el comando de la superficie de control.

### b) Control operacional

Existen cuatro modos de funcionamiento en los que el MCS puede operar:

- OFF
- MANOEUVRE MODE
- TRIM ONLY
- ACTIVE

Cada uno de estos modos se describe a continuación:

- off mode

En el modo OFF las superficies de control están totalmente replegadas.

Después de que las superficies de control se han trasladado a sus posiciones de estacionado, las válvulas de aislamiento aíslan hidráulicamente todas las superficies de control de las SmartPacs. La válvula de descarga del acumulador se abre junto con las válvulas de retención cercanas.

Las válvulas de retención aseguran que las superficies de control no se mueven de su posición de estacionamiento debido al drenaje de fluido hidráulico o fuerzas gravitacionales.

Para que cualquiera de los otros modos de funcionamiento pueda ser activado, el control de movimiento debe estar en la posición ON.

- manoeuvre mode

Este modo se activa de forma automática cada vez que uno cualquiera de los siguientes cinco casos ocurre:

- El ajuste de empuje del waterjet no está seleccionado en full ahead
- El sistema de control del waterjet está seleccionado en modo maniobra
- El sistema de control del waterjet está seleccionado en modo atrás

- El sistema de control del waterjet está seleccionado en Backup
- El sistema de control del waterjet está en modo alarma

Cuando se entra en el modo de maniobra las superficies de control se retraerán completamente. Los ajustes de posición de las superficies móviles se establecen durante la puesta en marcha del buque, a través de ensayos de los ingenieros de Seastate.

- trim mode

Se accede desde el modo maniobra cuando el waterjet está seleccionado en el modo full ahead. En este modo no hay ningún control activo de las superficies de control para controlar los movimientos de balance.

En este modo el timonel tiene la habilidad de trimar el buque. Para trimar, un valor de 0% indica que la máxima fuerza se está aplicando para trimar el barco con la proa hacia arriba. Un valor del 100% de trimado indica que la máxima fuerza está siendo aplicada para trimar el buque con la proa hacia abajo.

- active mode

Este modo solo se puede seleccionar desde el modo Trim.

La selección de este modo da el mando a las superficies de control para el control del movimiento. Las superficies de control serán ahora comandadas para resistir los movimientos del buque. El trimado y la escora del buque se pueden controlar en el modo activo. El ajuste de trimado define la posición media de la superficie de control sobre lo que la superficie oscila para resistir el movimiento de la embarcación.

**IMPORTANTE:** Es importante comprender que ajustar el valor del trimado o de la escora de cualquier otro valor que del 50%, limitará el recorrido disponible para controlar el modo activo.

Por ejemplo, si el trimado o la escora se ajustan al 20%, la posición media de la superficie de control será del 20% todo el trayecto. El resultado es que la mínima posición de las superficies de control será del 0% y la máxima posición será del 40%.

Por lo tanto el valor disponible para amortiguar el movimiento del buque será solo el 40% del máximo.

Se recomienda que en condiciones climatológicas adversas, el ajuste de trimado debe ser mantenido lo más cerca posible del 50% para permitir que las superficies de control actúen al máximo.

c) Manoeuvre override button

Este botón anula todos los requisitos seleccionados en el sistema para entrar en el modo TRIM ONLY o en el modo ACTIVE. Estos requisitos se explicaron anteriormente.

Esta funcionalidad se deberá usar en las siguientes circunstancias:

- El sistema de control del waterjet se encuentra en el modo Back-Up debido a un fallo en un motor principal, pero el capitán cree que existe suficiente velocidad como para que el buque se estabilice gracias al Motion Control System.
- El sistema de control del waterjet se encuentra en modo Back-Up debido a un fallo en el control de este, pero el capitán cree que el buque puede seguir operando con seguridad con el Motion Control System en modo ACTIVE o TRIM ONLY.

**IMPORTANTE:** Este modo solo debe ser usado en situaciones de emergencia, donde la seguridad o la comodidad de los pasajeros o del buque depende sobre la funcionalidad del motion control system. El fallo debe ser reparado lo antes posible para que el sistema siga funcionando con normalidad.

### d) Trim Adjustement

Se puede configurar el asiento del buque (trimado) mediante este ajuste.

Un valor de 0% indica que la máxima fuerza está siendo aplicada para trimar el buque con la proa hacia arriba. Un valor del 100% indica que la máxima fuerza está siendo aplicada para trimar el buque con la proa hacia abajo.

### e) Angle/Rate weighting

El factor *Angle/Rate* altera como el sistema centra los esfuerzos en controlar la escora o los balances del buque.

Si se selecciona el valor totalmente hacia Angle, el sistema está preparado para controlar automáticamente la escora. En este modo, el controlador centra todo el esfuerzo en mantener una posición nivelada del buque (adrizar) y no está atento a controlar los movimientos de balance.

Si se selecciona el valor totalmente hacia Rate, el sistema está preparado para controlar automáticamente los movimientos de balance. En este modo, el controlador ignora la escora del buque y centra todo el esfuerzo en amortiguar los movimientos de balance.

En cualquier configuración intermedia, el sistema intentará controlar los balances así como la escora.

### f) Gain control

El ajuste mínimo de control de la ganancia es cero (0), y el máximo ajuste uno (1). Incrementar la ganancia aumenta la respuesta de las superficies de control de los estabilizadores.

Seleccionar una ganancia cero tendrá como resultado que el algoritmo no controlará las superficies de los estabilizadores independientemente de los movimientos que tenga el buque.

Seleccionar una ganancia de uno tendrá como resultado un movimiento de las superficies bastante agresivo.

En malas condiciones del mar seleccionar la ganancia máxima puede resultar incomodo. La mejor selección es la que minimiza los movimientos del buque sin causar “desagradables” esfuerzos en los estabilizadores.

Descubrir la configuración óptima depende de la experiencia de los capitanes quienes, con el uso diario, desarrollarán la intuición para la configuración idónea.

### g) Pitch/Roll Weighting

La selección del control de Cabeceo/Balance proporciona el control que los estabilizadores tienen sobre estos movimientos. Incrementar este factor, aumenta la proporción de control sobre el movimiento de cabeceo y reduce el control sobre los movimientos de balance.

Este factor está diseñado para permitir al capitán elegir cuanto esfuerzo del motion control system quiere destinar a corregir el cabeceo o el balance. Por ejemplo, al seleccionar el valor cero (100%), la estación de control solo atenderá a los movimientos de cabeceo por lo que ignorará los balances.

### h) Power management ON/OFF

Este botón habilita la administración de energía que requiere el sistema.

Cuando se encuentra en la posición ON, el sistema arrancará el número de bombas necesarias por lo que el operador no tendrá control sobre cuantas bombas se han arrancado. Por lo tanto el operador no sabrá que bombas se han arrancado y cuantas son necesarias.

### i) Motion Data

El sistema representa la información sobre los balances y cabeceos del buque para poder tener una idea estadística de cómo se está comportando. Esto sirve de ayuda para poder elegir una configuración adecuada de los estabilizadores. Los parámetros que se representan son:

- Aceleración promedia cabeceos
- Aceleración actual cabeceo
- Ángulo promedio cabeceo
- Ángulo actual cabeceo
- Aceleración promedia balances
- Aceleración actual balances
- Ángulo promedio balance
- Ángulo actual balance

### j) Ajustes predeterminados del sistema

Trim= 50%

(Durante las pruebas de mar se descubrió que el 20% era el ajuste óptimo para la máxima velocidad del buque)

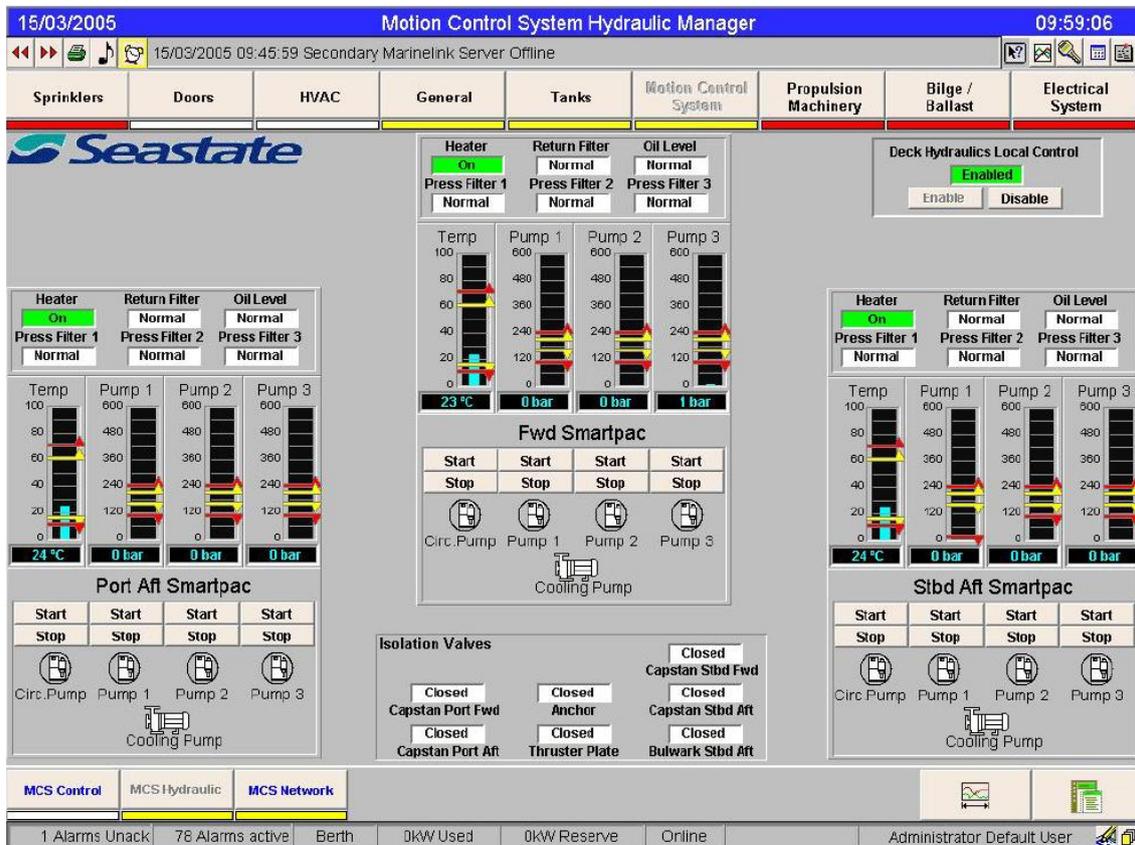
Angle/Rate Weighting= 50%

Gain= 0.25

Pitch/Roll Weighting= 50%

1.5.1.3 MCS Hidráulica

Ilustración 19



Fuente: Benchijigua Express [5]

El *MCS Hydraulic* es la interface a través de la cual se controla el sistema hidráulico desde el puente.

a) Control local

Cuando el botón “*Disabled*” se encuentra presionado, las estaciones locales de *start/stop* del puente se encuentran inactivas. En este estado, las válvulas de aislamiento hidráulico solo se pueden abrir usando el accionamiento manual en la válvula y las *SmartPacs* solo se pueden arrancar desde las propias *SmartPacs*.

Esta característica ha sido prevista para prevenir la manipulación o el mal uso accidental desde la consola del puente.

Nota: Si las *SmartPacs* se arrancan usando los botones *start/stop* desde el control local, automáticamente el control y la monitorización de las *SmartPacs* desde el *marine link* se desactiva. Esto significa que las bombas no se pararán debido a cualquier alarma crítica excepto la de muy bajo nivel de aceite hidráulico.

Las *SmartPacs* solo deberían arrancarse en este modo en situaciones de emergencia.

### b) Start/Stop

El arranque o parada de cada una de las bombas individuales de las *SmartPacs* puede ser llevado a cabo desde estos botones. Si una bomba hidráulica principal es activada sin la bomba de circulación asociada, la bomba de circulación arrancará automáticamente. Esta no puede ser detenida sin parar antes la bomba hidráulica principal.

Cualquier cambio de estado realizado desde las estaciones locales será reflejado en la pantalla principal del puente.

El sistema de administración de potencia hidráulica está diseñado para controlar automáticamente el arranque de las bombas. Cuando el *motion control system* o algún equipo del buque (maquinillas, grúas...) se activan, el sistema calcula cuanta potencia es necesaria para activar el número de bombas suficientes.

### c) Presión hidráulica del aceite

La presión del aceite hidráulico de cada bomba principal está representada gráfica y numéricamente en el panel principal.

La visualización numérica está en bares y se encuentra debajo de la representación gráfica. Esta también es una representación en bares al igual que las marcas de incremento o disminución de la presión.

## V. RESULTADOS

---

Las líneas rojas y amarillas representan alarmas y puntos de ajustes de alarmas críticos. Cuando se excede el rango de presión se activa una señal sonora y textual. El indicador de presión cambiará a amarillo para alarmas de altas o bajas presiones o a rojo para alarmas de muy altas o muy bajas presiones. Cuando se desencadena una de estas alarmas, las *SmartPacs* se cierran automáticamente.

Los puntos de ajuste de presión son:

Muy baja presión	-60 bar
Baja presión	-30 bar
Alta presión	+ 30 bar
Muy alta presión	+60 bar

### d) Estado del sensor de presión

El indicador del sensor de presión tiene 2 estados. Si el sensor está correcto, la etiqueta del indicador será “*Normal*” y el indicador estará en verde. Si la señal del sensor está fuera del rango admisible la etiqueta cambiará a “*Fault*” y el indicador estará en amarillo.

### e) Temperatura del aceite hidráulico

La temperatura del aceite hidráulico del tanque de las *SmartPac* está representada grafica y numéricamente en grados Celsius.

Las líneas rojas y amarillas representan alarmas y puntos de ajustes de alarmas críticos. Cuando se excede el rango de temperatura se activa una señal sonora y textual. El indicador de temperatura cambiará a amarillo para alarmas de altas o bajas temperaturas o a rojo para alarmas de muy altas o muy bajas temperaturas. Cuando se desencadena una de estas alarmas, las *SmartPacs* se cierran automáticamente.

Los puntos de ajuste de temperatura son:

## V. RESULTADOS

---

Muy baja temperatura	10 °C
Baja temperatura	15 °C
Alta temperatura	65 °C
Muy alta temperatura	75 °C

### f) Estado sensor temperatura

El indicador del estado del sensor de temperatura tiene 2 modos. Si el sensor está “saludable”, la etiqueta del indicador será “*Normal*” y el indicador estará en verde. Si la señal del sensor está fuera del rango admisible la etiqueta cambiará a “*Fault*” y el indicador estará en amarillo.

### g) Indicadores del estado del filtro

La presión diferencial está medida sobre todos los filtros en el sistema para permitir que si uno de estos está obstruido suene una alarma para poder reemplazarlo. Esto prevendrá futuros fallos mas graves en el sistema.

- El filtro de retorno es el que está inmediatamente después de la bomba de circulación.
- El filtro de presión principal se encuentra en la línea de presión, inmediatamente después de la bomba de presión principal.

Estos indicadores tienen 2 estados. Un filtro “saludable” está indicado mediante la etiqueta “*Normal*” y en color verde. Un filtro que requiere ser reemplazado está indicado mediante la etiqueta “*Fault*” y en color amarillo.

Un fallo representa una caída de presión sobre el filtro mayor de 3 bares. La configuración eléctrica es a prueba de fallos, por lo que cualquier daño o fallo en el sensor también se indicará como “*Fault*”.

### h) Indicador tanque bajo nivel

Si el tanque está lleno el indicador de bajo nivel estará en verde y la etiqueta será “*Normal*”. Cuando el nivel de aceite cae por debajo del nivel mínimo, el indicador saltará en amarillo y con la etiqueta “*Fault*”. Esto irá acompañado de una señal sonora y textual.

### i) Indicador tanque muy bajo nivel

Si el tanque está lleno el indicador de muy bajo nivel estará en verde y la etiqueta será “*Normal*”. Cuando el nivel de aceite cae por debajo del nivel mínimo, el indicador saltará en amarillo y con la etiqueta “*Fault*”. Esto irá acompañado de una señal sonora y textual.

La *SmartPac* parará automáticamente el motor eléctrico para prevenir daños en la bomba.

### j) Estado del calentador

El aceite hidráulico de la *SmartPac* se calienta pasando el aceite a través de un orificio. Una válvula solenoide cambia la posición de este orificio dentro o fuera del circuito hidráulico.

El calentador tiene 2 estados: Cuando está encendido la etiqueta estará en “*ON*” y el indicador en verde. Cuando está apagado la etiqueta estará en “*OFF*” y el indicador en blanco.

### k) Indicadores válvula de aislamiento

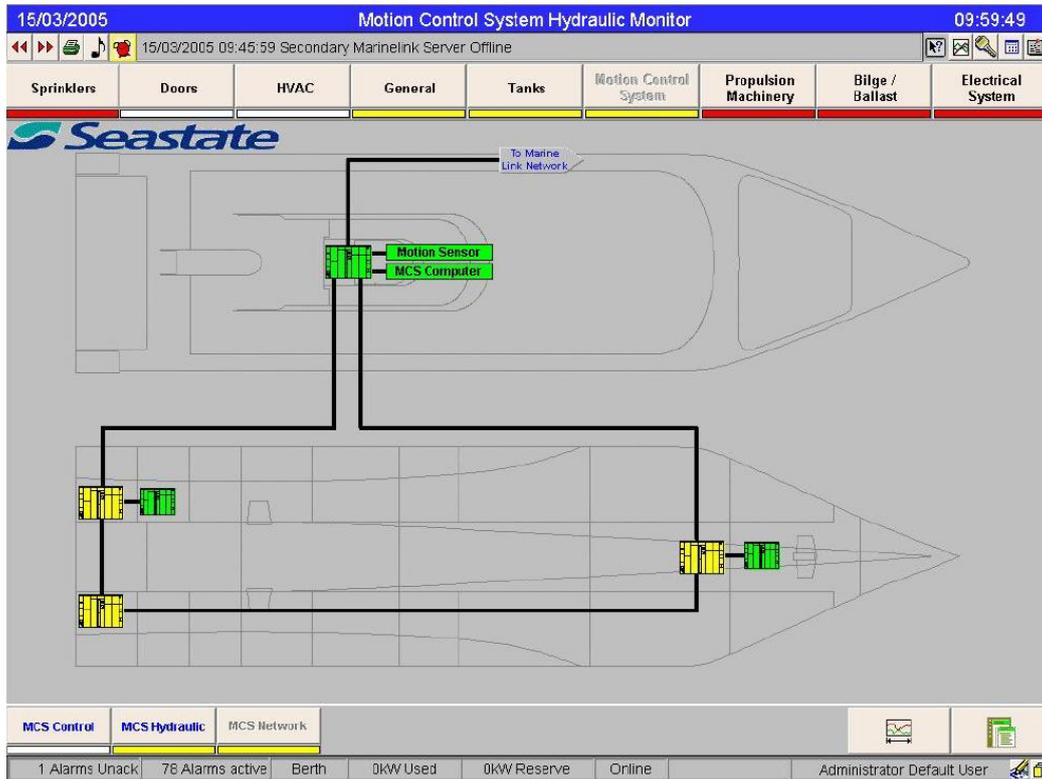
Cada casilla indica la válvula local de aislamiento que se ha abierto o cerrado, cuando el botón local *start/stop* ha sido presionado. Cuando está abierta los indicadores estarán en verde y en blanco cuando está cerrada.

Las válvulas de aislamiento presentes en el buque son:

- Capstan Port Fwd* (Cabrestante proa babor)
- *Capstan Stbd Fwd* (Cabrestante proa estribor)
- Anchor* (Ancla)
- *Capstan Port Aft* (Cabrestante popa babor)
- *Capstan Stbd Aft* (Cabrestante popa estribor)
- Thruster Plate* (Hélices de proa)
- Bulwark Stbd Aft* (Interceptors)

1.5.1.4 MCS RED

Ilustración 20



Fuente: Benchijigua Express [5]

La página *MCS Network*, representa el estado de todas las *PLC's* y los concentradores de puertos del sistema *Seastate*.

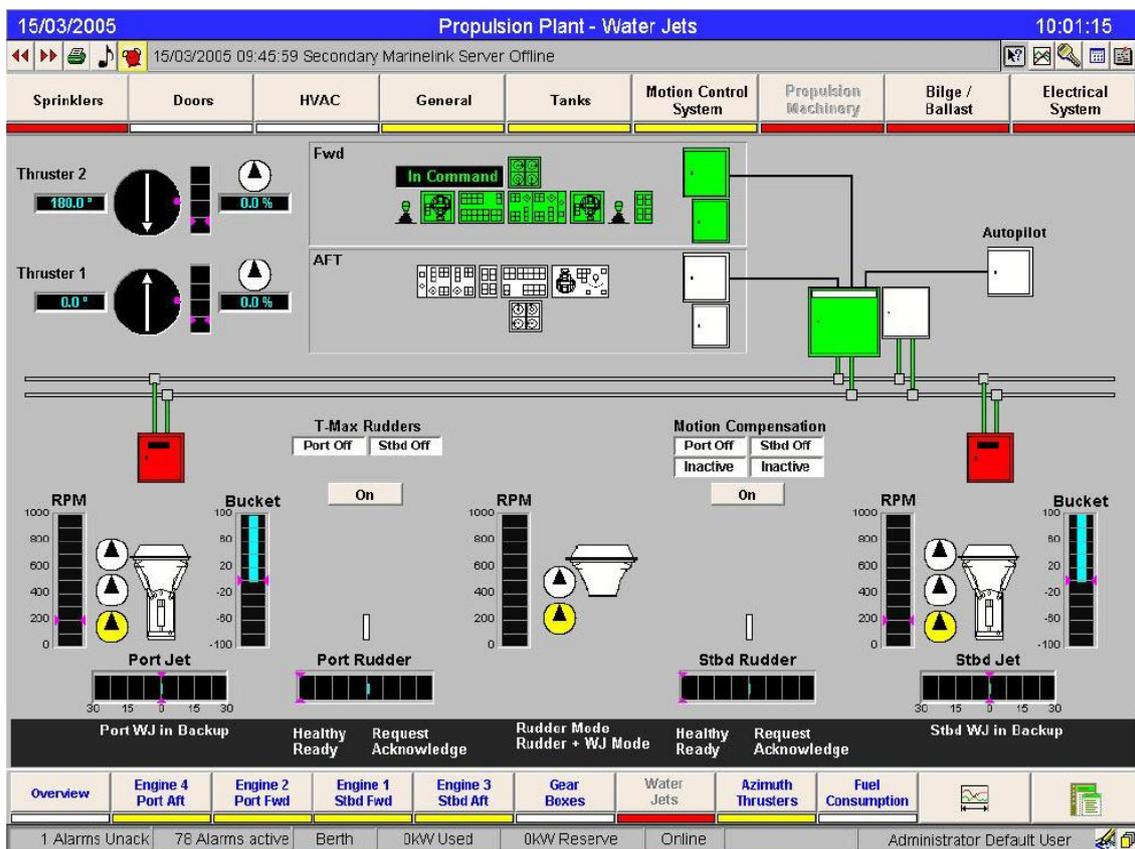
Si cualquiera de estos componentes tiene algún fallo, el ícono asociado cambiará de verde a amarillo y se activará la correspondiente alarma.

1.5.2 SISTEMA T-MAX

El sistema de gobierno T-Max ha sido diseñado para estar integrado junto al sistema de gobierno water-jet, para optimizar la navegación del buque manteniendo una alta velocidad de operación.

El control del sistema T-Max se realiza a través del Marine Link. Este puede controlar todas las funciones del sistema. En caso de fallo del Marine Link, el sistema T-Max se cerrará y el sistema de control de los waterjets coherá el control.

Ilustración 21



Fuente: Benchijuga Express [5]

### 1.5.2.1 Descripción general del sistema

#### a) Comando de dirección

El sistema de control T-Max coge la señal de comando desde el sistema de control de los waterjet. Los waterjets están diseñados para orientarse 30° a una banda o a otra. Por lo que los T-Max se orientan proporcionalmente a esos 30°. Así que, cuando los waterjets se orientan 10° a una banda, los T-Max también se orientaran 10° a esa banda. Cuando los waterjets se orientan más de 10°, los T-Max estarán fijados a una posición máxima de 10°.

La señal de comando de los waterjets se genera mediante el joystick del timón o el piloto automático.

#### b) Comando de compensación del movimiento

En el modo de compensación del movimiento, los T-Max están automáticamente controlados por el piloto automático y por el motion control system. En este modo, el MCS está atento a contrarrestar la fuerza de dirección generada por la actuación de los roll fins (movimiento de guiñada) usando los T-Max.

Para un determinado porcentaje de actuación del roll fin, le corresponde una orden de comando de los T-Max. Cuando se recibe una orden de gobierno desde el piloto automático, el comando del MCS se añade al comando del piloto automático para dar un control total del timón

#### c) Ajuste de ganancia

La agresividad del motion compensation mode puede ser ajustada variando la ganancia del motion control system.

El ajuste mínimo de control de la ganancia es cero (0), y el máximo ajuste uno (1). Incrementar la ganancia aumenta la respuesta de las superficies de control respondiendo al movimiento de los roll fin.

Seleccionar una ganancia cero tendrá como resultado que el algoritmo no controlará las superficies de control de los estabilizadores independientemente de los movimientos del roll fin. Sin embargo el ajuste de ganancia no afectara al movimiento de los T-Max en respuesta al comando del piloto automático.

En malas condiciones del mar seleccionar la ganancia máxima puede resultar incomodo. La mejor selección es la que minimiza los movimientos del buque sin causar “desagradables” esfuerzos en los estabilizadores. Descubrir la configuración óptima depende de la experiencia de los capitanes quienes, con el uso diario, desarrollarán la intuición para la configuración idónea.

### d) T-Max ON/OFF

Pulsar el botón “ON” arrancará las SmartPacs si estas todavía no están preparadas y si aún no han abierto las válvulas de aislamiento hidráulico.

### e) Motion compensation ON/OFF

El botón de compensación de movimiento On/Off cambia el modo de operación de los T-Max.

#### **On mode**

Este modo solo está disponible cuando el sistema de gobierno principal del buque está siendo controlado por el piloto automático. En este modo el sistema de control activa el control de los timones para minimizar los movimientos de guiñada y para mantener el rumbo seleccionado en el piloto automático.

### **Off mode**

Cuando la compensación activa de guiñada está desactivada, los T-Max pueden ser controlados mediante el piloto automático o mediante el joystick. En este modo los T-Max operan como timones convencionales y no responden activamente a los movimientos de guiñada.

#### f) Indicador de posición de los timones

Tanto la instantánea señal de comando de posición de los T-Max como la señal de posición de reacción están representadas en bares. El indicador más delgado (violeta) marca la señal de posición del comando actual mientras que el indicador más grueso (azul) marca la señal de reacción.

El rango de representación va desde babor (Port) a estribor (Starboard) y la posición central indica cuando los T-Max están a la vía. El rango máximo de los timones está limitado por la estación de control para ser 12.5° a una banda o a otra.

#### g) Indicador del estado de los T-Max

Debajo del indicador de posición de los T-Max, hay cuatro indicadores del estado del sistema.

### **Healthy**

Este indicador estará en verde cuando el sistema T-Max es capaz de coger el control de los timones. Para ello se deben cumplir una serie de requisitos antes de que el indicador este en verde:

1. Las bombas principales SmartPac están en funcionamiento.
2. La bomba de circulación de las SmartPac está en funcionamiento.
3. El Motion Control System no ha sido cerrado por alarmas.
4. La bomba de circulación no ha sido cerrada por alarmas.
5. No hay fallos en el sistema

6. El sistema T-Max ha sido encendido
7. No hay señales de fallo de comando en el sistema T-Max
8. El sistema T-Max no ha sido cambiado al modo control local, a cualquier estación local o al puente
9. La posición de comando de los timones está entre  $\pm 5^\circ$

### **Ready**

Los indicadores estarán en verde cuando se cumplen los siguientes requisitos:

1. SmartPacs en funcionamiento
2. El ajuste de combinación de los waterjets es, al menos, cinco
3. El comando del joystick dentro de  $\pm 5^\circ$
4. Waterjets dentro de  $\pm 5^\circ$
5. El sistema de control de los waterjets no está en modo backup o con alarmas

Cuando el sistema está listo, el botón de gobierno auxiliar en el panel de control de los waterjets comenzará a parpadear.

### **Request**

Este indicador estará en verde cuando el timonel pulse el botón de solicitud de gobierno auxiliar. El botón estará en verde cuando se cumplan los siguientes requisitos:

1. El indicador de estado del equipo hidráulico este en verde
2. El timonel ha pulsado el botón de solicitud de gobierno auxiliar en la consola central del puente.

### **Acknowledged**

Este indicador se iluminará en verde cuando los 2 indicadores anteriores estén iluminados y el sistema T-Max haya enviado una señal al control de los waterjets, reconociendo que el sistema T-Max tiene el control direccional del buque.

El controlador de los waterjets utiliza esta señal como un disparador para colocar los waterjets en una posición central.

## 2 ESTUDIO DEL SISTEMA DE ESTABILIZACIÓN Y SUS POSIBLES FALLOS

El buque dispone de un sistema denominado Motion Control System (MCS) que se encarga de actuar sobre los estabilizadores para adrizar el buque. Todos los estabilizadores se encuentran situados en el casco central.

Hay 4 tipos de estabilizadores:

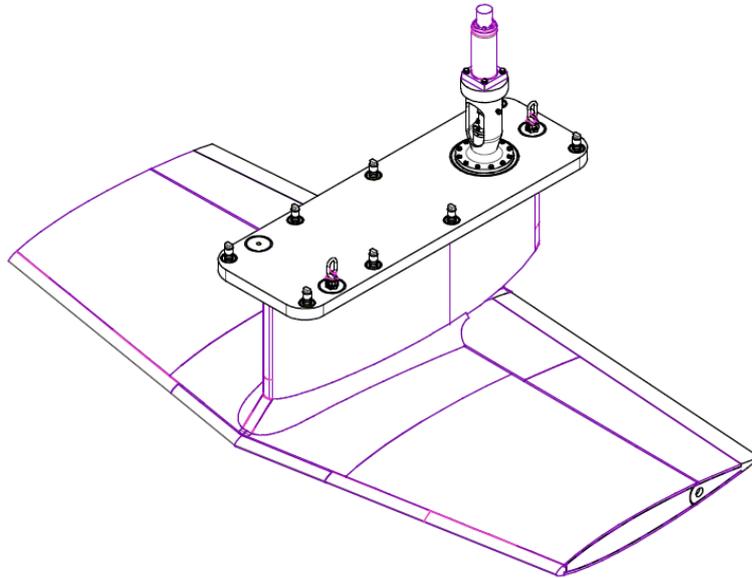
- T-Foil: situado entre las cuadernas 16-19
- Roll fin: situado sobre las cuadernas 78-82
- T-Max: situados justo después de la tobera de entrada de agua de los waterjets
- Interceptors: situados en el espejo de popa, debajo de los waterjets

### 2.1 T-FOIL

#### 2.1.1 Descripción

El buque tiene montado un T-Foil, localizado debajo del casco principal, entre las cuadernas 16-19. El control principal de superficie está formado por una aleta con dos componentes, la propia aleta y el alerón. La aleta principal está atornillada al casco mientras que el alerón está abisagrado en la zona de salida de la aleta mediante cuatro bisagras y es movido por un pistón hidráulico.

Ilustración 7



Fuente: Benchijigua Express [6]

Se dispone de un actuador montado en la parte superior del T-Foil y puede ser visto desde el interior del casco. Esto comprende un actuador hidráulico, una biela de unión en acero, un prensaestopas para hacerlo estanco y una unión articulada húmeda que conecta directamente al alerón.

### 2.1.2 Efecto

El desvío provocado por este alerón genera las fuerzas positivas o negativas de elevación necesarias para contrarrestar los movimientos del buque, especialmente el cabeceo. Gracias a esto, el sistema corrige inmediatamente la elevación (asiento) del buque durante la navegación.

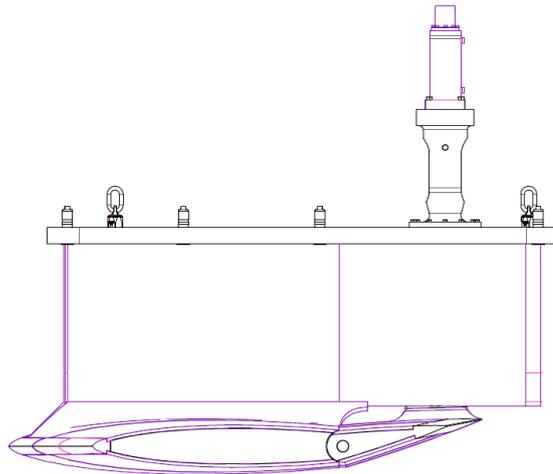
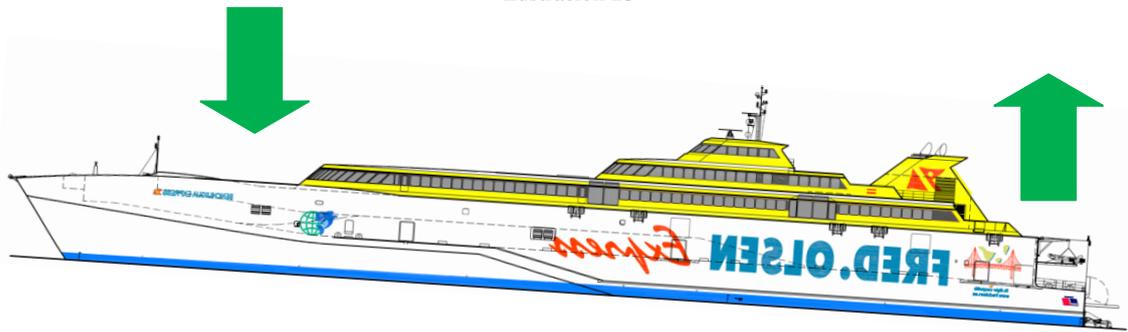
## V. RESULTADOS

### a) Asiento apopante

Cuando el buque eleva su proa y hunde su popa, es decir, cuando tiene un asiento apopante, el T-Foil eleva la superficie móvil para contrarrestar esta situación.

Esto provoca que, por la parte inferior del alerón, las líneas de agua circulen a una mayor velocidad produciendo una baja presión mientras que, se produce una mayor presión en la parte superior junto a una menor velocidad. Debido a esto, se genera una fuerza negativa que hunde la proa.

Ilustración 23



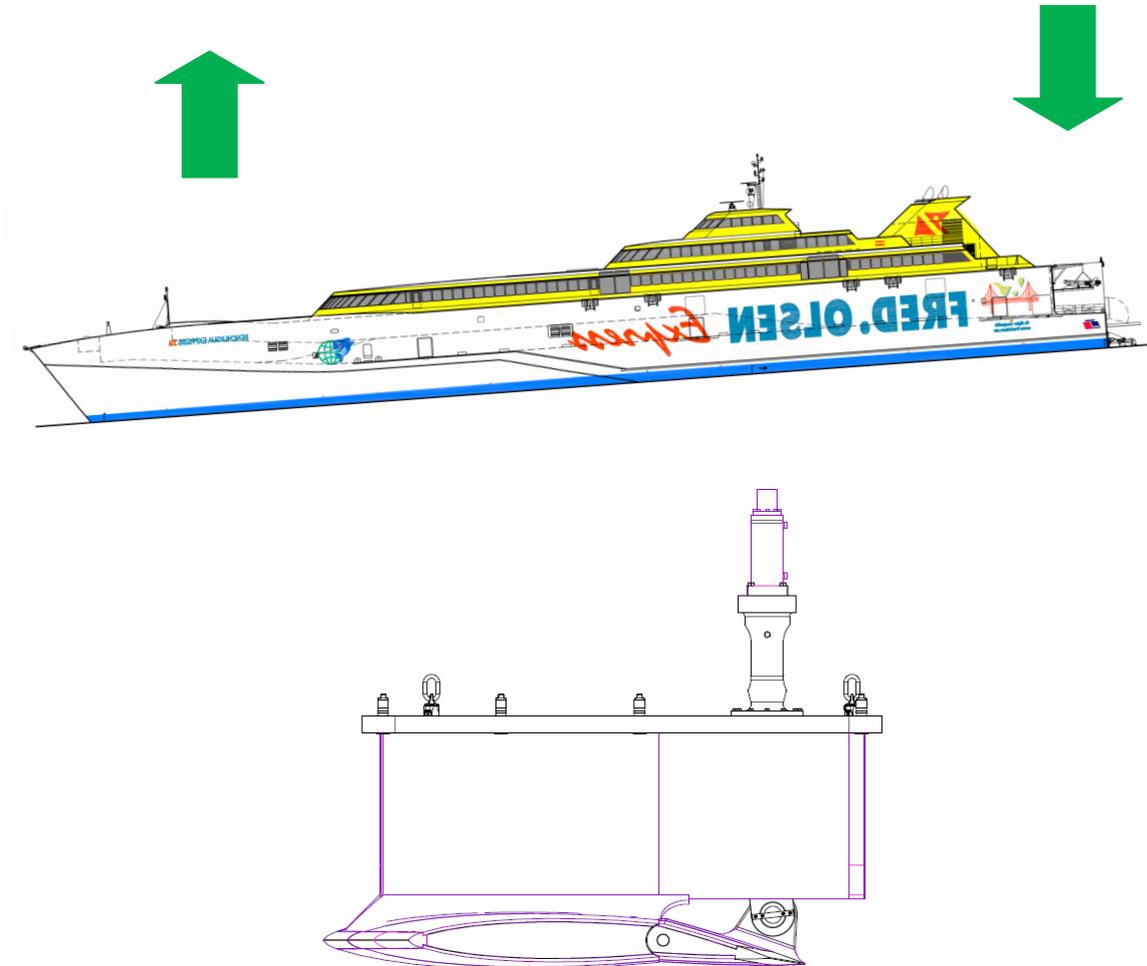
Fuente: Benchijigua Express [6]

b) Asiento aproante

En este caso la proa está más sumergida en el agua que la popa. Para contrarrestar esta situación, la superficie móvil baja.

Las líneas de agua circularán a una mayor velocidad por la parte superior del alerón. Esto provoca una baja presión mientras que por la parte inferior se produce una mayor presión debido a la menor velocidad de las líneas de agua. Se genera una fuerza positiva que hace que la proa ascienda.

Ilustración 24



Fuente: Benchijigua Express[6]

### 2.1.3 Representación

Como ejemplo, se han tomado los datos extraídos del Marine Link del día 27 de Enero de 2015. Se pueden apreciar los movimientos del T-Foil durante 2 minutos en la ruta Los Cristianos-La Gomera. Las condiciones climatológicas eran las siguientes:

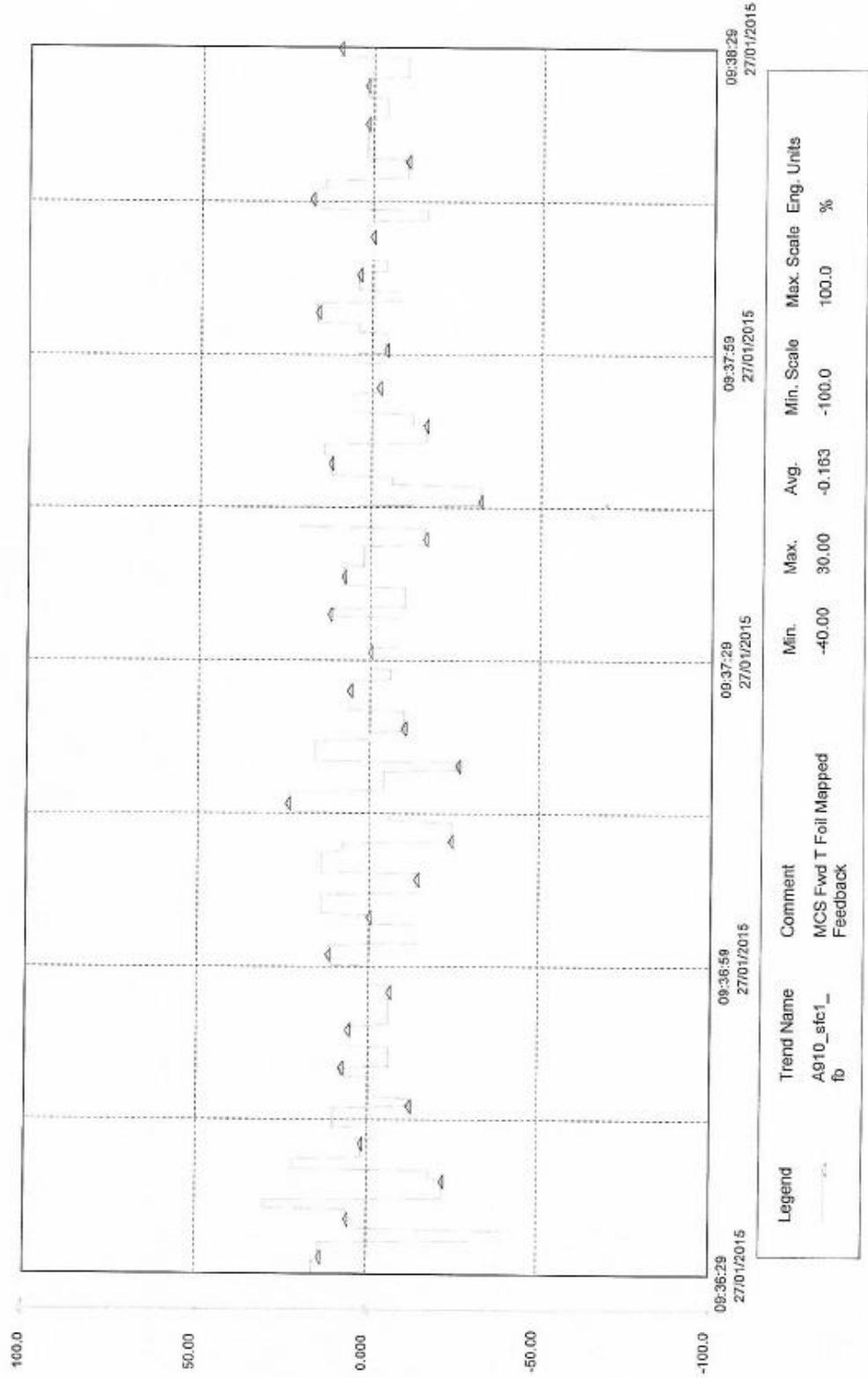
MAREA	Altura	1 metro
	Dirección	350°
VIENTO	Velocidad	15 nudos
	Dirección	350°

Se puede apreciar como el movimiento del alerón, hacia arriba o hacia abajo, es de poca magnitud debido a que las condiciones climatológicas eran favorables.

Δ representa la posición del alerón

V. RESULTADOS

T FOIL



## V. RESULTADOS

### 2.1.4 Simulación fallo

<b>SHIP:</b>	Hull 260 - "Benchijigua Express"	DATE:	08/04/2005
	Motion Control System. Autopilot Steering – Motion Compensation Mode. Combined T-Max & Jet Steering.	TIME:	1127
<b>ITEM:</b>	T-Foil	FUNCTION NO:	F28
<b>FUNCTION:</b>	Loss of Network Control.		
<b>FAILURE CAUSE:</b>	Loss of Communications Network.		
<b>FAILURE SIMULATION:</b>	Remove Network Cable from PLC A910.		

<b>EFFECT ON MAIN ENGINES</b>					
	Engine Shutdown	Engine to Idle	Loss of RPM Indication	Loss of RPM Control	Comments
PME	No	No	No	No	None
CPME	No	No	No	No	None
CSME	No	No	No	No	None
SME	No	No	No	No	None

<b>EFFECT ON KAMEWA EQUIPMENT</b>											
	Unit Disconnect Alarm	Reconnect Available	Loss of Bucket Control	Loss of Bucket Indication	Loss of Steering Control	Loss of Steering Indication	System Warning Alarm	Units Reduced Alarm	Back-up Steering Available	Back-up Bucket Available	Back-up RPM Available
Port Jet	No	N/A	No	No	No	No	No	N/A	Yes	Yes	Yes
Centre Jet	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			N/A	N/A	N/A
Stbd Jet	No	N/A	No	No	No	No			Yes	Yes	Yes

<b>Resulting Operational Mode And Actions for Vessel:</b>
Continue as normal with due caution. Investigate problem.

<b>Resulting Operational Condition for T-Max &amp; MCS Systems</b>	
<b>T-Max</b>	<b>MCS</b>
Motion Compensation Mode	Active, with the exception of the T-Foil.

<b>OTHER COMMENTS:</b>
T-Foil locked in Parked (Neutral) position.
See Marine Link Print-outs in Section 10 for details of alarms.

<b>EFFECT ON SHIP'S EQUIPMENT AND COMMENTS</b>					
<b>Instant Effect on Vessel</b>	Slight change in vessel motion characteristics caused by loss of T-Foil.				
<b>Severity of Effect</b>	Minor <input checked="" type="checkbox"/>	Major <input type="checkbox"/>	Hazardous <input type="checkbox"/>	Catastrophic <input type="checkbox"/>	
<b>Probability of Failure</b>	Frequent (more than 10 <sup>-3</sup> ) <input type="checkbox"/>	Reasonably Probable (10 <sup>-3</sup> to 10 <sup>-5</sup> ) <input type="checkbox"/>	Remote (10 <sup>-5</sup> to 10 <sup>-7</sup> ) <input checked="" type="checkbox"/>	Extremely Remote (10 <sup>-7</sup> to 10 <sup>-9</sup> ) <input type="checkbox"/>	Extremely Improbable (Less than 10 <sup>-9</sup> ) <input type="checkbox"/>

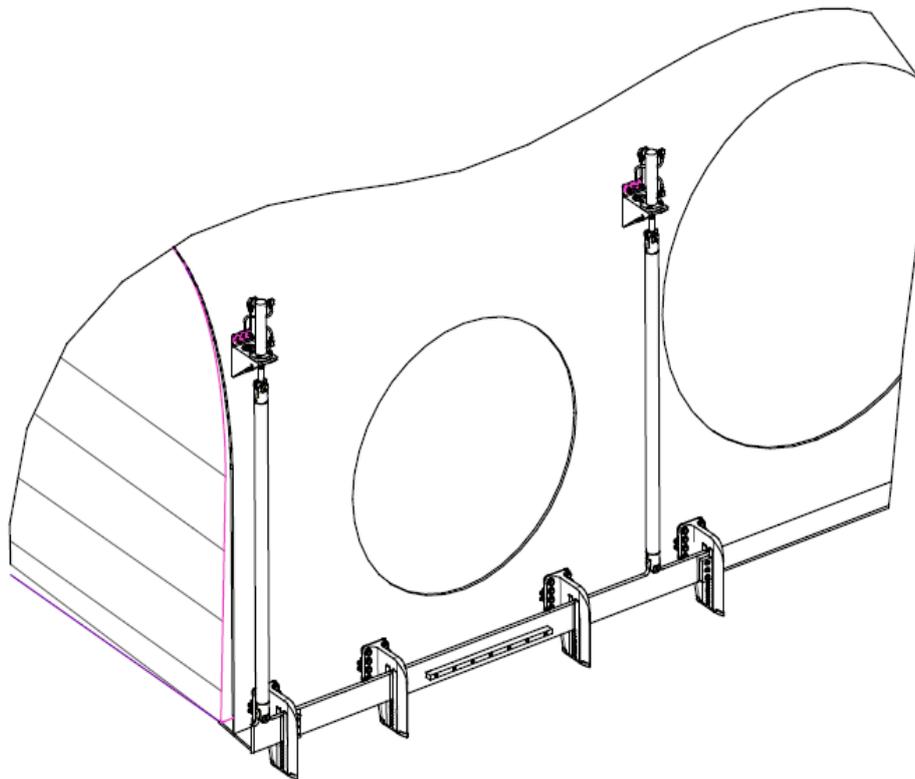
## 2.2 INTERCEPTORS

### 2.2.1 Descripción

Los interceptores SeaState consisten en una hoja de acero fijada a ambas bandas del casco principal del buque inmediatamente a popa del espejo. Cada hoja se mueve por medio de unas guías que tienen dos bielas, montada cada una sobre un cilindro hidráulico.

Los cilindros están montados por fuera del casco, y cada uno dispone de dispositivo electrónico de retroalimentación instalado dentro del cilindro.

Ilustración 25



Fuente: Benchijigua Express [6]

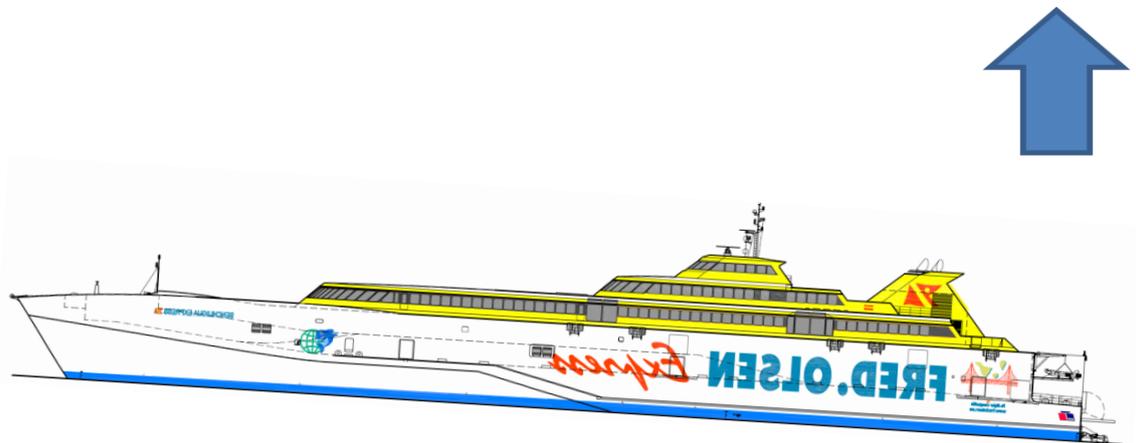
### 2.2.2 Efecto

Los interceptores generan una fuerza de regulación del movimiento al proyectar una plancha plana en el agua, perpendicular al flujo, lo que provoca una gran zona de presión que se desarrolla en el flujo justo a proa del interceptor.

Las fuerzas que actúan sobre el buque son creadas por una gran presión actuando sobre la plancha del casco que queda a proa del interceptor.

Los interceptores solo son capaces de generar presión positiva sobre el casco (hacia arriba). Esto significa que elevan la popa del buque mientras que la proa se hunde. De cualquier manera, el trimado del buque se dispone para contribuir a la acción del interceptor de manera que se consiga un trimado ideal para operar.

Se puede conseguir eliminar la contribución de elevación de los interceptores para crear un movimiento local del casco hacia abajo. Para ello, se deben llevar a su posición de reposo.



## V. RESULTADOS

### 2.2.3 Simulación fallo

<b>SHIP:</b>	Hull 260 - "Benchijigua Express"	<b>DATE:</b>	08/04/2005
	Motion Control System. Autopilot Steering – Motion Compensation Mode. Combined T-Max & Jet Steering.	<b>TIME:</b>	1114
<b>ITEM:</b>	Interceptors	<b>FUNCTION NO:</b>	F28
<b>FUNCTION:</b>	Loss of Hydraulic Control to Port Interceptor Actuator.		
<b>FAILURE CAUSE:</b>	Failed Control Valve.		
<b>FAILURE SIMULATION:</b>	Remove Valve Cable		

<b>EFFECT ON MAIN ENGINES</b>					
	Engine Shutdown	Engine to Idle	Loss of RPM Indication	Loss of RPM Control	Comments
PME	No	No	No	No	None
CPME	No	No	No	No	None
CSME	No	No	No	No	None
SME	No	No	No	No	None

<b>EFFECT ON KAMEWA EQUIPMENT</b>											
	Unit Disconnect Alarm	Reconnect Available	Loss of Bucket Control	Loss of Bucket Indication	Loss of Steering Control	Loss of Steering Indication	System Warning Alarm	Units Reduced Alarm	Back-up Steering Available	Back-up Bucket Available	Back-up RPM Available
Port Jet	No	N/A	No	No	No	No	No	N/A	Yes	Yes	Yes
Centre Jet	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			N/A	N/A	N/A
Stbd Jet	No	N/A	No	No	No	No			Yes	Yes	Yes

<b>Resulting Operational Mode And Actions for Vessel:</b>
Continue as normal with due caution. Investigate problem.

<b>Resulting Operational Condition for T-Max &amp; MCS Systems</b>	
<b>T-Max</b>	<b>MCS</b>
Steering	Active, with the exception of the Port Interceptor.

<b>OTHER COMMENTS:</b>
Port Interceptor fully retracted and locked in Parked position.
See Marine Link Print-outs in Section 10 for details of alarms.

<b>EFFECT ON SHIP'S EQUIPMENT AND COMMENTS</b>					
<b>Instant Effect on Vessel</b>	Nil.				
<b>Severity of Effect</b>	Minor <input checked="" type="checkbox"/>	Major <input type="checkbox"/>	Hazardous <input type="checkbox"/>	Catastrophic <input type="checkbox"/>	
<b>Probability of Failure</b>	Frequent (more than 10 <sup>-3</sup> ) <input type="checkbox"/>	Reasonably Probable (10 <sup>-3</sup> to 10 <sup>-5</sup> ) <input type="checkbox"/>	Remote (10 <sup>-6</sup> to 10 <sup>-7</sup> ) <input checked="" type="checkbox"/>	Extremely Remote (10 <sup>-7</sup> to 10 <sup>-9</sup> ) <input type="checkbox"/>	Extremely Improbable (Less than 10 <sup>-9</sup> ) <input type="checkbox"/>

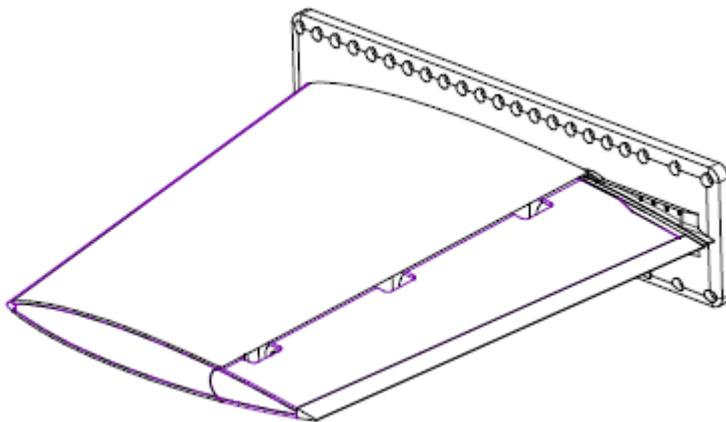
### 2.3 ROLLFIN

#### 2.3.1 Descripción

El buque dispone de dos Roll Fins (Aletas de balanceo) SeaState, una a cada banda del casco principal, sobre las cuadernas 78-82. Cada Roll Fin comprende varios componentes:

El control principal de superficie dispone de una aleta con dos componentes, la aleta principal y el alerón. La aleta principal va fijada al casco mediante pernos, mientras que el alerón está abisagrado a la parte de salida de la aleta y es movido por un eje montado en un alojamiento con cojinetes (con sellos estancos).

Ilustración 26



Fuente: Benchijigua Express [6]

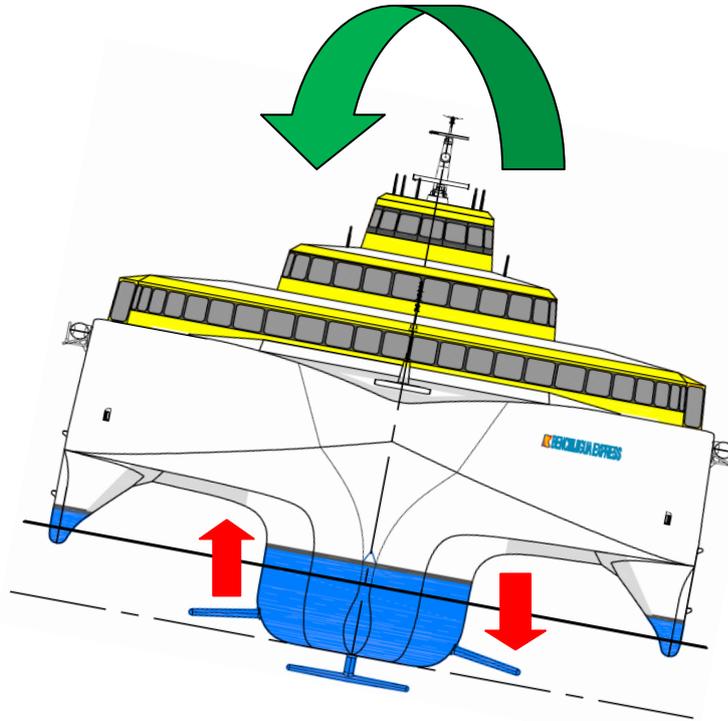
El alojamiento con cojinetes se encuentra montado sobre la cara interna de la brida del Roll Fin, y se puede ver desde el interior del buque. El extremo saliente del eje a través de este alojamiento dispone de una caña, y su giro a su vez es generador por un par de cilindros hidráulicos.

### 2.3.2 Efecto

El desvío producido por este alerón genera las fuerzas necesarias positivas o negativas de elevación para contrarrestar el movimiento del buque, especialmente los balances. Gracias a esto, el sistema corrige inmediatamente la escora del buque durante la navegación.

#### a) Balace a babor

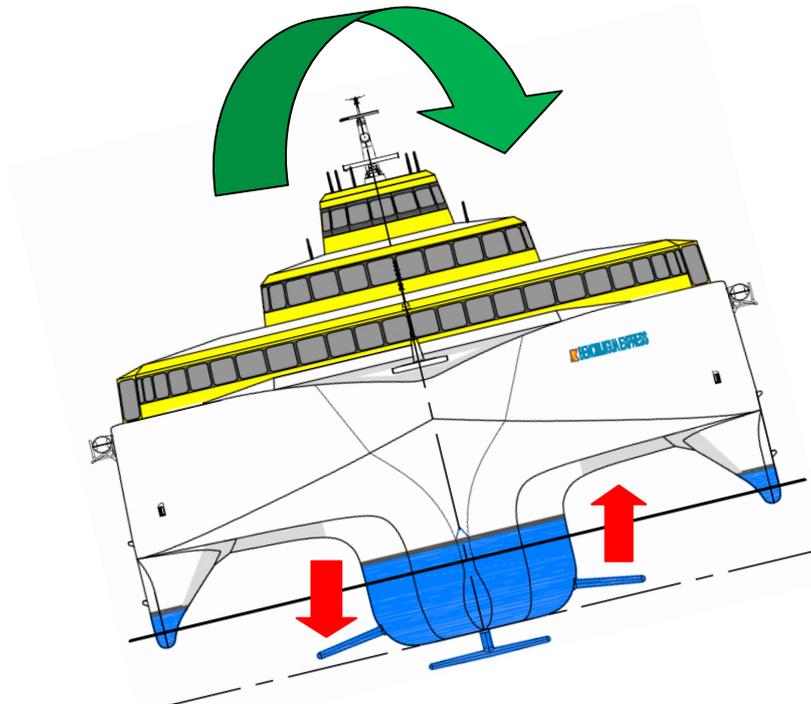
En este caso, la aleta de babor baja mientras que la de estribor sube. Esto genera una fuerza hacia estribor que permite corregir la escora.



### b) Balance a estribor

En este caso, la aleta de estribor baja mientras que la de babor sube. Esto genera una fuerza hacia babor que permite corregir la escora.

Ilustración 27



Fuente: Benchijigua Express [6]

### 2.3.3 Representación

Para comparar el movimiento de los Rollfins, se han tomado los datos reales del Marine Link. En este caso, las gráficas representan 2 días en los que el tiempo varía considerablemente, tomando como referencia 2 minutos de la travesía.

## V. RESULTADOS

---

Se puede observar, como en la primera gráfica, los movimientos de los Rollfin son de poca magnitud debido al buen estado de la mar mientras que en la segunda gráfica los movimientos son de mucha mayor magnitud a causa de los grandes balances del buque producidos por el mal tiempo.

$\Delta$  representa el Rollfin de babor y  $\square$  el Rollfin de estribor. Tal y como muestra la gráfica los movimientos son simétricos.

- 27 de Enero de 2015 durante el trayecto La Gomera- Los Cristianos

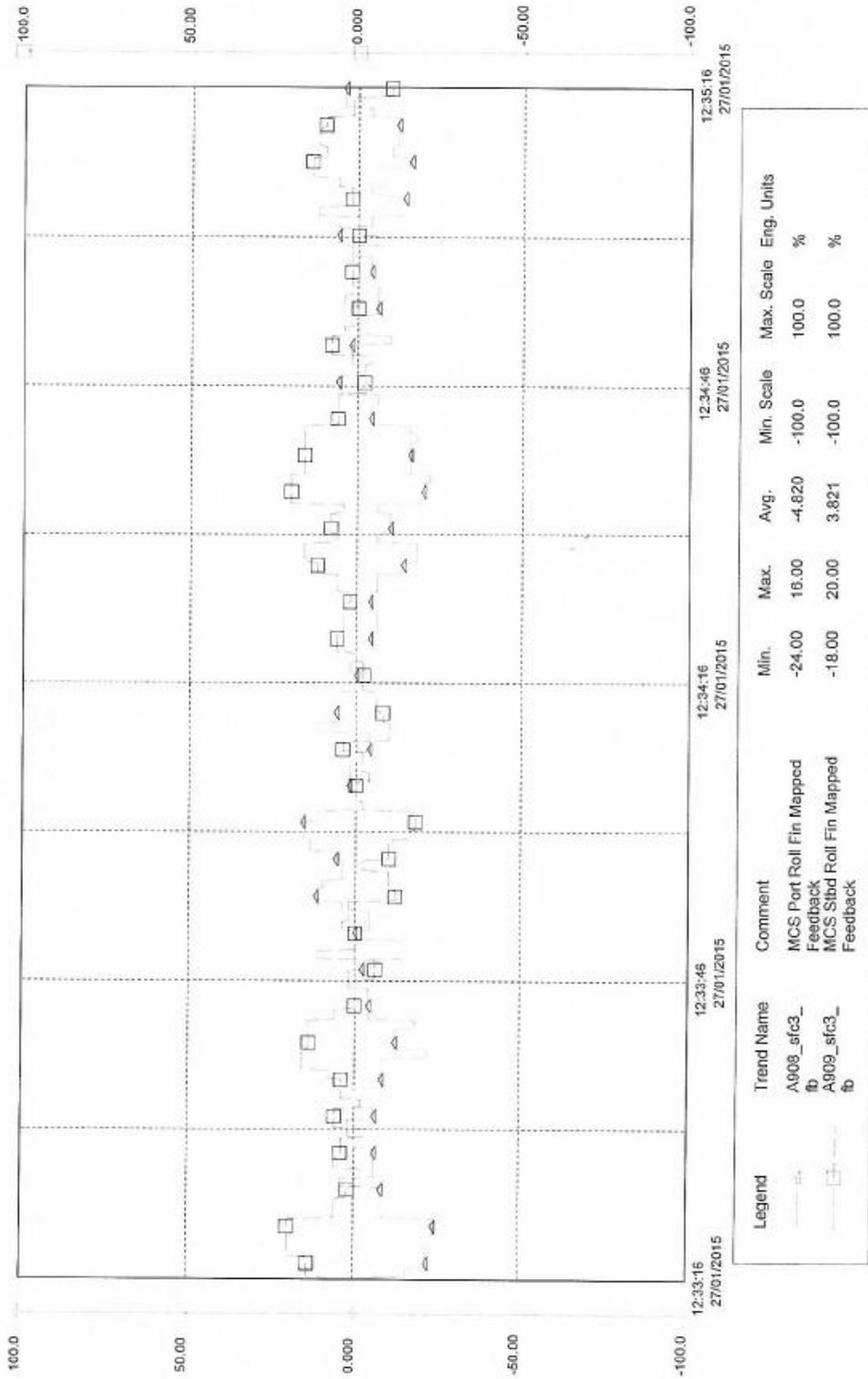
MAREA	Altura	1 metro
	Dirección	350°
VIENTO	Velocidad	15 nudos
	Dirección	350°

- 22 de Enero de 2015 durante el trayecto La Gomera- Los Cristianos

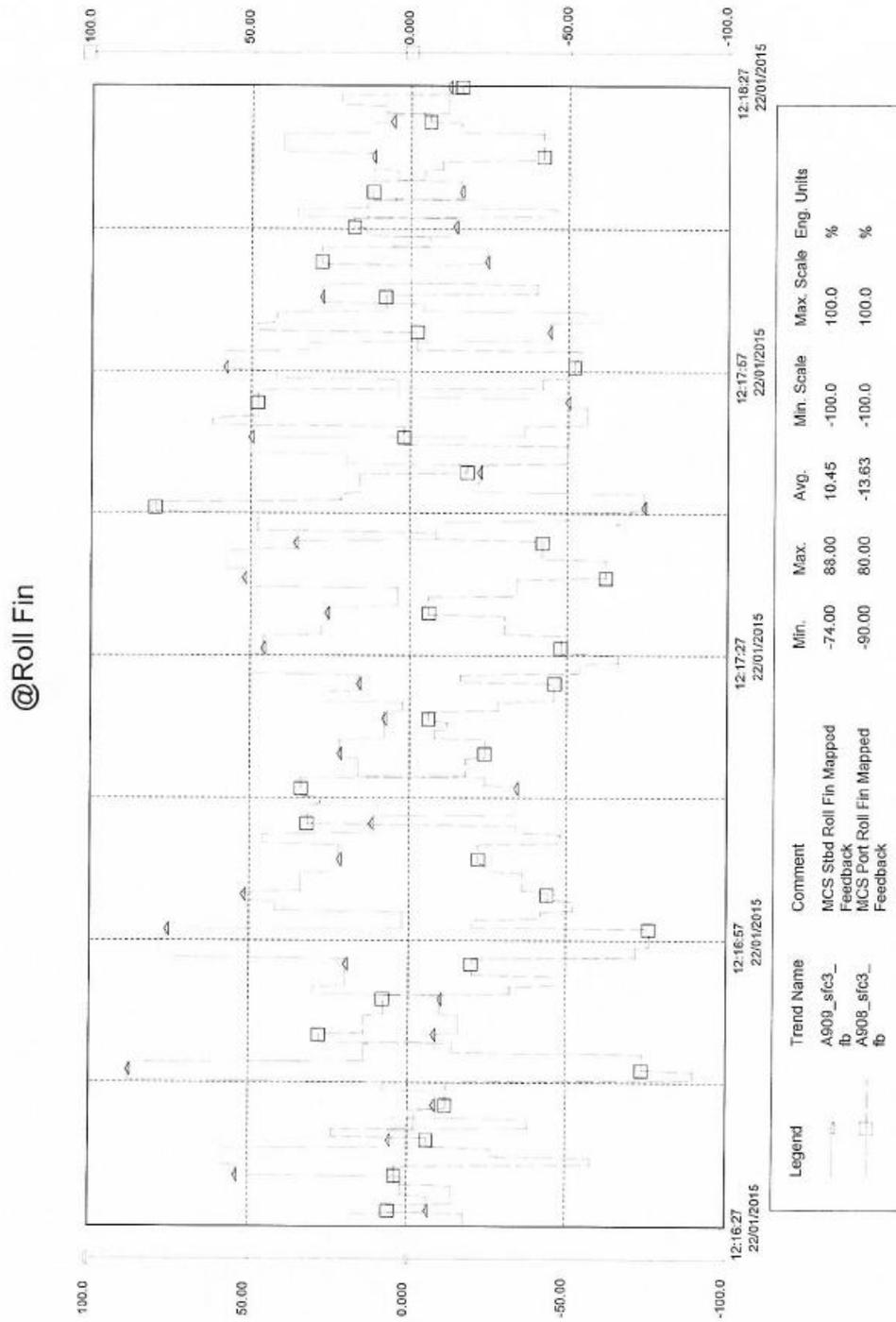
MAREA	Altura	2,5 metros
	Dirección	310°
VIENTO	Velocidad	25 nudos
	Dirección	310°

# V. RESULTADOS

## ROLL FIN



# V. RESULTADOS



## V. RESULTADOS

### 2.3.4 Simulación fallo

<b>SHIP:</b>	Hull 260 - "Benchijigua Express"	DATE:	08/04/2005
	Motion Control System. Autopilot Steering – Motion Compensation Mode. Combined T-Max & Jet Steering.	TIME:	1121
<b>ITEM:</b>	Roll Fins.	FUNCTION NO:	F28
<b>FUNCTION:</b>	Loss of Command Signal.		
<b>FAILURE CAUSE:</b>	Broken Wiring between PLC and Control Valve.		
<b>FAILURE SIMULATION:</b>	Remove Valve Cable at Starboard Fin.		

<b>EFFECT ON MAIN ENGINES</b>					
	Engine Shutdown	Engine to Idle	Loss of RPM Indication	Loss of RPM Control	Comments
PME	No	No	No	No	None
CPME	No	No	No	No	None
CSME	No	No	No	No	None
SME	No	No	No	No	None

<b>EFFECT ON KAMEWA EQUIPMENT</b>											
	Unit Disconnect Alarm	Reconnect Available	Loss of Bucket Control	Loss of Bucket Indication	Loss of Steering Control	Loss of Steering Indication	System Warning Alarm	Units Reduced Alarm	Back-up Steering Available	Back-up Bucket Available	Back-up RPM Available
Port Jet	No	N/A	No	No	No	No	No	N/A	Yes	Yes	Yes
Centre Jet	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			N/A	N/A	N/A
Stbd Jet	No	N/A	No	No	No	No			Yes	Yes	Yes

<b>Resulting Operational Mode And Actions for Vessel:</b>
Continue as normal with due caution. Investigate problem.

<b>Resulting Operational Condition for T-Max &amp; MCS Systems</b>	
<b>T-Max</b>	<b>MCS</b>
Steering	Active, with the exception of the Starboard Roll Fin.

<b>OTHER COMMENTS:</b>
Starboard Roll Fin locked in fully up position, but Port Fin remained active. See Marine Link Print-outs in Section 10 for details of alarms.

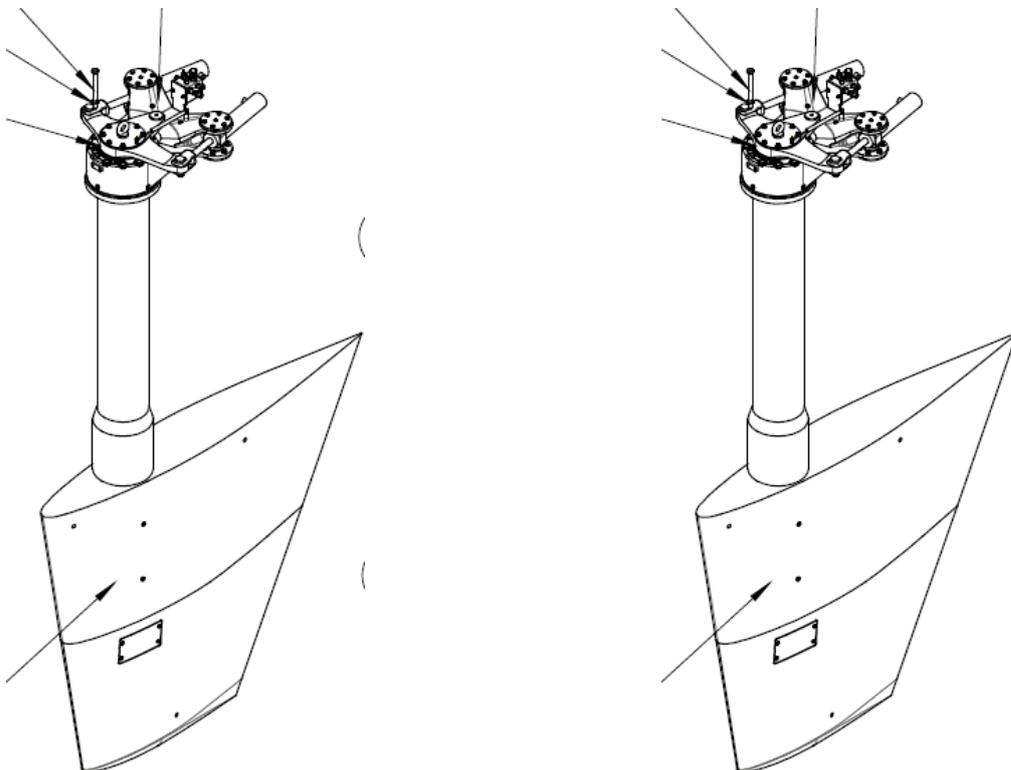
<b>EFFECT ON SHIP'S EQUIPMENT AND COMMENTS</b>					
<b>Instant Effect on Vessel</b>	Slight change in vessel motion characteristics due to Roll Fin deflection.				
<b>Severity of Effect</b>	Minor <input checked="" type="checkbox"/>	Major <input type="checkbox"/>	Hazardous <input type="checkbox"/>	Catastrophic <input type="checkbox"/>	
<b>Probability of Failure</b>	Frequent (more than 10 <sup>-3</sup> ) <input type="checkbox"/>	Reasonably Probable (10 <sup>-3</sup> to 10 <sup>-5</sup> ) <input type="checkbox"/>	Remote (10 <sup>-5</sup> to 10 <sup>-7</sup> ) <input checked="" type="checkbox"/>	Extremely Remote (10 <sup>-7</sup> to 10 <sup>-9</sup> ) <input type="checkbox"/>	Extremely Improbable (Less than 10 <sup>-9</sup> ) <input type="checkbox"/>

## 2.4 T-MAX

### 2.4.1 Descripción

Es el sistema de gobierno principal del buque, después de los waterjets. Consiste en dos hidro-alas simétricas de una aleación de níquel-aluminio-bronce.

Ilustración 28



Fuente: Benchijigua Express [6]

Cada una se encuentra montada sobre un eje de acero inoxidable que gira sobre un cojinete inferior montado sobre la estructura interior del buque.

## V. RESULTADOS

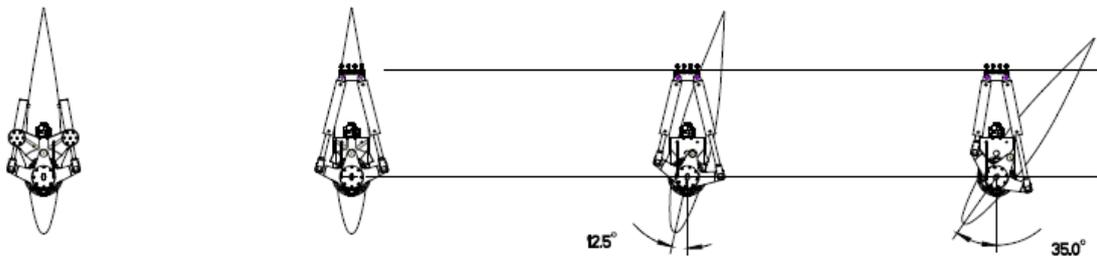
---

El extremo superior del eje está sujeto por un cojinete de aleación de aluminio dentro de un alojamiento girado por medio de cilindros hidráulicos.

Todas las tareas normales de mantenimiento se realizan en el interior del casco. El sello situado en la parte inferior del alojamiento del cojinete superior lo mantiene estanco al agua. El sello también soporta la carga de empuje sobre el timón así como el peso del eje. Este montaje permite desmontar el alojamiento del cojinete para realizar trabajos de mantenimiento mientras el buque permanece en el agua.

El movimiento máximo que pueden llevar a cabo los T-Max es  $35^\circ$  a una banda o a otra.

Ilustración 29



Fuente: Benchijigua Express [6]

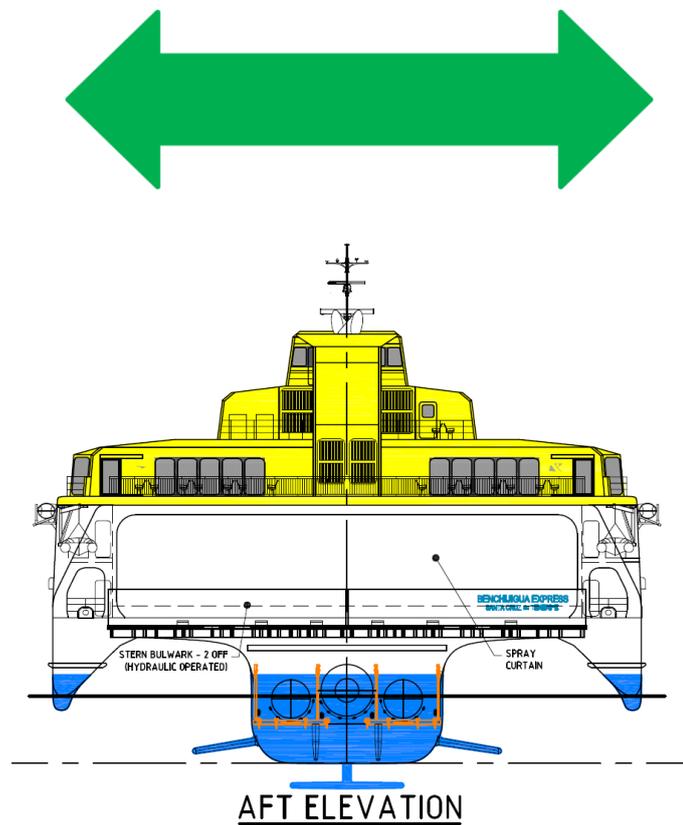
## V. RESULTADOS

---

### 2.4.2 Efecto

Los T-Max se utilizan fundamentalmente para contrarrestar la acción de los Rollfin cuando está activado el Motion Control System. Los Rollfin provocan la guiñada del buque a una banda o a otra debido a que eliminan las escoras. Esto provoca que el buque se desvíe de su rumbo por lo que los T-Max corrigen automáticamente ese desvío mediante pequeños o grandes ángulos de timón.

También se utilizan fundamentalmente para cambios de rumbo, de manera independiente o acoplados a los waterjets.



## V. RESULTADOS

### 2.4.3 Simulación fallo

<b>SHIP:</b>	Hull 260 - "Benchijigua Express"	<b>DATE:</b>	08/04/2005
	Auxiliary Steering System. Autopilot Steering – Motion Compensation Mode. Combined T-Max & Jet Steering.	<b>TIME:</b>	1105
<b>ITEM:</b>	Steering Control.	<b>FUNCTION NO:</b>	F28
<b>FUNCTION:</b>	Loss of Hydraulic Control to Port Rudder Actuator.		
<b>FAILURE CAUSE:</b>	Failed Control Valve.		
<b>FAILURE SIMULATION:</b>	Remove Valve Cable		

<b>EFFECT ON MAIN ENGINES</b>					
	Engine Shutdown	Engine to Idle	Loss of RPM Indication	Loss of RPM Control	Comments
PME	No	No	No	No	None
CPME	No	No	No	No	None
CSME	No	No	No	No	None
SME	No	No	No	No	None

<b>EFFECT ON KAMEWA EQUIPMENT</b>											
	Unit Disconnect Alarm	Reconnect Available	Loss of Bucket Control	Loss of Bucket Indication	Loss of Steering Control	Loss of Steering Indication	System Warning Alarm	Units Reduced Alarm	Back-up Steering Available	Back-up Bucket Available	Back-up RPM Available
Port Jet	No	N/A	No	No	No	No	No	N/A	Yes	Yes	Yes
Centre Jet	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			N/A	N/A	N/A
Stbd Jet	No	N/A	No	No	No	No			Yes	Yes	Yes

<b>Resulting Operational Mode And Actions for Vessel:</b>
Continue as normal with due caution. Investigate problem.

<b>Resulting Operational Condition for T-Max &amp; MCS Systems</b>	
<b>T-Max</b>	<b>MCS</b>
Centred (Off).	Active
<b>Note:</b> Stbd rudder only. Port rudder will continue to creep until accumulator pressure is exhausted. Then it will lock in position.	

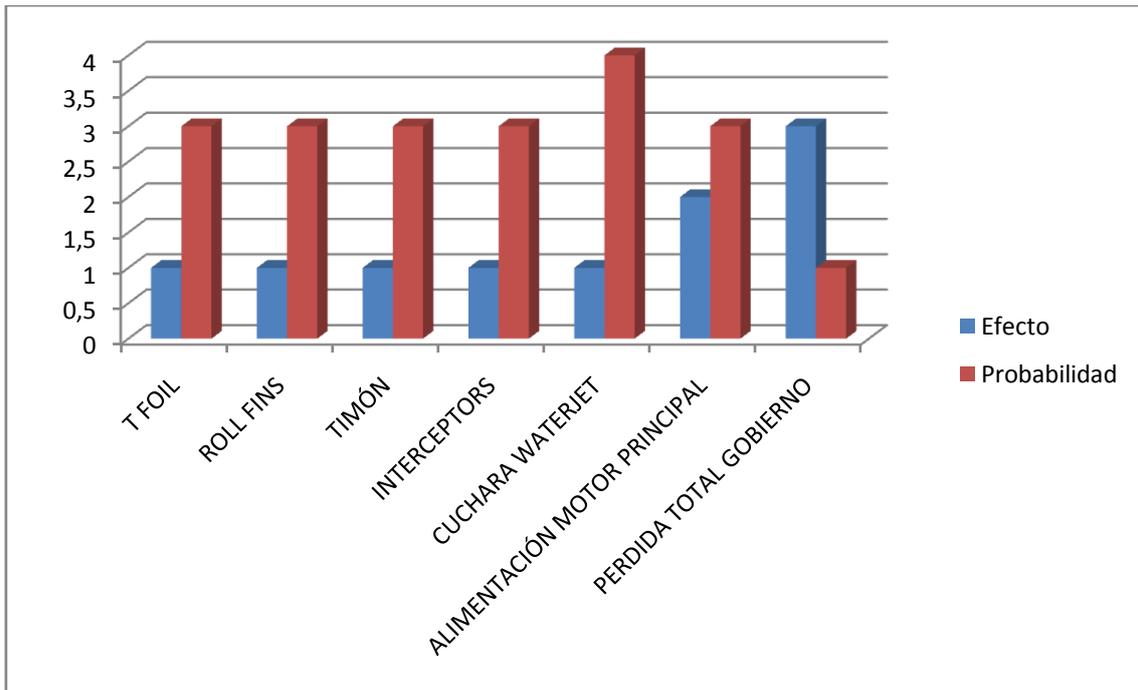
<b>OTHER COMMENTS:</b>
Port T-Max Rudder tracking error alarm given after approx. 5 seconds.
On resumption of hydraulic power, T-Max rudder to be centred manually using local control panel.
See Marine Link Print-outs in Section 10 for details of alarms.

<b>EFFECT ON SHIP'S EQUIPMENT AND COMMENTS</b>						
<b>Instant Effect on Vessel</b>	Change in manoeuvring characteristics due to changeover to waterjet steering, due to loss of T-Max steering.					
<b>Severity of Effect</b>	Minor <input checked="" type="checkbox"/>	Major <input type="checkbox"/>	Hazardous <input type="checkbox"/>	Catastrophic <input type="checkbox"/>		
<b>Probability of Failure</b>	Frequent (more than 10 <sup>-3</sup> ) <input type="checkbox"/>	Reasonably Probable (10 <sup>-3</sup> to 10 <sup>-5</sup> ) <input type="checkbox"/>	Remote (10 <sup>-5</sup> to 10 <sup>-7</sup> ) <input checked="" type="checkbox"/>	Extremely Remote (10 <sup>-7</sup> to 10 <sup>-9</sup> ) <input type="checkbox"/>	Extremely Improbable (Less than 10 <sup>-9</sup> ) <input type="checkbox"/>	

### 2.5 Comparación posibles fallos

Una vez analizados los diferentes tipos de fallos que pueden tener los estabilizadores, podemos compararlos con otros fallos posibles en el buque.

Gracias a esto, llegamos a la conclusión de que los estabilizadores tienen más probabilidades de fallar que, por ejemplo, un motor principal. Sin embargo, su gravedad será menor ya que no compromete la seguridad de la navegación.



## **VI. CONCLUSIONES**

## VI. CONCLUSIONES

---

Un estabilizador basa su funcionamiento en el principio de Bernoulli, sin embargo existen otros tipos como el estabilizador giróscopo que basa su funcionamiento en la rigidez y precesión.

Los diferentes tipos de estabilizadores permiten a los ingenieros navales elegir cuales son más idóneos según el tipo de buque. Cabe destacar que los más caros son más eficaces pero conllevan un mayor mantenimiento mientras que los más económicos llevan un menor mantenimiento pero tienen menor capacidad de estabilización.

Mediante programas informáticos los estabilizadores se controlan de manera más cómoda y efectiva. Además, las diversas posibilidades de configuración permiten al capitán o a los oficiales elegir la más idónea según las condiciones climatológicas que hay en ese momento. Todo esto permite un mayor aprovechamiento de los mismos ya que el sistema trabajará con mayor o menor incidencia permitiendo así que no sufra tanto desgaste con el paso del tiempo y, por lo tanto, tenga menor probabilidad de fallo.

Hemos visto como los posibles fallos que puede tener el sistema no afectan a la seguridad de la navegación. Por ejemplo, en caso de fallo de un T-Max tenemos la posibilidad de gobernar con los waterjets, por lo que nuestra maniobrabilidad no se vería afectada. O en caso de fallo de un estabilizador el sistema seguirá trabajando con los otros estabilizadores aunque, como contrapartida, no tendrán la misma eficacia.

Cabe destacar que si perdemos potencia hidráulica, las superficies móviles de los estabilizadores no se moverán a la misma velocidad que si tuviesen potencia hidráulica normal. Esto provocaría que su capacidad de respuesta sea más lenta por lo que el sistema no trabajaría correctamente ya que la demanda de velocidad que pide el sistema no sería la misma que da el estabilizador por lo que no podrían estabilizar el buque. En este caso lo mejor es desconectar los estabilizadores hasta que se recupere la potencia hidráulica.

## **VII. BIBLIOGRAFÍA**

1. Michelangelo-Raffaello

<http://www.michelangelo-raffaello.com/>

2. Ingeniero marino

<https://ingenieromarino.wordpress.com/2014/05/05/23o-estabilizadores-del-buque/>

3. Flume stabilization

<http://pdf.nauticexpo.es/pdf-en/hoppe-bordmesstechnik/flume-stabilization-system/31122-73241.html>

4. Manual operaciones Benchijigua Express

5. Manual formación Benchijigua Express

6. Manual MTU

7. Manual KAMEWA

8. Manual SeaState estabilizadores

9. Planos Benchijigua Express

10. Ship Dynamics for mariners

I. C. Clark BSc, MSc, MNI

11. The ships motions at sea

<http://danielprasanna.hubpages.com/hub/theshipmotionsatsea>

12. Movements at sea

[http://www.rmrco.com/docs/m1207\\_ship\\_movements\\_at\\_sea.pdf](http://www.rmrco.com/docs/m1207_ship_movements_at_sea.pdf)

13. Curso de estabilidad y Flotabilidad

<http://www.patrondeyate.net/curso-de-estabilidad-y-flotabilidad.html>

14. Gizmodo

<http://es.gizmodo.com/crean-un-revolucionario-barco-que-no-se-mueve-con-las-o-1268626568>

15. Teoría del buque- Flotabilidad y Estabilidad

Joan Olivella Puig