



Universidad de La Laguna

*Trabajo de Fin de Grado para obtención del
título de Graduado en*

Ingeniería Radioelectrónica Naval

SISTEMAS DE GOBIERNO DE UN BUQUE

**DISEÑO DE UN AUTOPILOTO PARA UNA
EMBARCACIÓN DE PEQUEÑA ESLORA**

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

Autor: Mauro Rodríguez González

Tutor: G. Nicolás Marichal

Julio 2018

Índice

Resumen:	4
Abstract:	4
1. Introducción.	5
2. Sistemas de gobierno del buque.	6
2.1. Gobierno del buque.	6
2.2. Tipos de gobierno del buque.	9
2.3. Timón.....	14
2.4. Follow up / Non follow up.....	18
3. Central hidráulica.	19
4. Piloto automático / Autopiloto.	22
4.1. Diagrama de bloques: Piloto automático.	27
4.2. Mercado del piloto automático.....	30
5. Interfaces NMEA.	34
5.1. Componentes NMEA.	36
6. Embarcaciones de recreo.	37
6.1. Bavaria 42 cruiser.	37
6.2. Dispositivos para Bavaria 42 cruiser.	39
• 6.2.1. Actuador.	41
• 6.2.2. Procesador.	43
• 6.2.3. Unidad de control.	46
• 6.2.4. Resto de equipación.	49
7. Instalación y configuración de los equipos.	51
8. Marco legal.	53
9. Conclusiones:	57
Conclusions:	58
10. Bibliografía.	60
Imágenes y tablas:	60
Libros de texto y páginas web:	63
❖ Videos de interés:	68

Resumen:

Este Trabajo de Fin de Grado es de carácter teórico/ práctico, en el que he recopilado información por medio de libros, artículos y diferentes páginas web.

Tiene como objetivo exponer la información adquirida sobre la importancia que poseen los sistemas de gobierno del buque, su funcionamiento, los elementos que intervienen en él y la utilidad que tienen cada uno de ellos.

Por otro lado, el contenido se centra en el piloto automático, explicando el funcionamiento y la relevancia que posee este sistema. También se nombran algunas de las diferentes marcas que existen dentro del mercado y se propone la posibilidad de la instalación de uno de estos equipos en un velero, más en concreto en el Bavaria 42 de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, sección de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica naval de la ULL.

Para acabar, se muestra una serie de conclusiones a las que ha sido posible llegar gracias al estudio de este tema.

Abstract:

This Final Degree Project uses a theoretical perspective in which I have gathered extensive information through books, journal articles and several websites.

This project aims to cover the acquired knowledge on the relevance of ships' steering performance, as well as their functioning, the elements that allow it, and the utility that each one of these elements have.

On the other hand, this paper is placed upon some brands that already exist in the market. The focus develops further into the functioning and relevance of autopilot systems, and ultimately, it is suggested to implement one out of these for a sailboat, specifically the Bavaria 42 of the Department of Maritime Transport of University of La Laguna.

To finish, it shows a series of conclusions that have been possible to reach thanks to the study of this topic.

1. Introducción.

Desde los inicios de la navegación, los elementos relacionados con el gobierno del buque han realizado siempre una tarea insustituible a la hora de mantener controlado el rumbo del buque. Son los encargados de proporcionar a los navegantes un control sobre el rumbo de la embarcación de forma constante y dan la posibilidad de mantener o variar el rumbo cuando fuera necesario.

La pala del timón es un plano vertical que se encuentra conectado, por medio de una serie de interconexiones, al timón y se encarga de girar sobre un eje para conseguir que la embarcación gire a estribor o babor los grados que sean necesarios para llevar el rumbo designado.

Con el paso del tiempo, a medida que las embarcaciones han ido evolucionando y volviéndose más complejas, se han exigido sucesivas mejoras y adaptaciones a estos sistemas de gobierno para que puedan estar a la altura y proporcionar un mayor control y seguridad en el rumbo.

La tarea de gobierno del buque recae directamente en el timonel o el piloto automático, que actúan de forma permanente en la dirección de la pala del timón. Con esto se consigue tener un control constante del rumbo para así poder realizar la ruta deseada.

Los elementos principales que intervienen en el gobierno del buque son:

- El timón, es el actuador el cual hace variar o mantener la dirección del buque.
- Telemotor, sistema existente entre la rueda del timón y el servomotor, cuya tarea es recibir órdenes del primero y transmitir las al segundo.
- Servomotor, es el aparato que multiplica la energía disponible con la finalidad de mover el timón en la dirección deseada.

2. Sistemas de gobierno del buque.

2.1. Gobierno del buque.

En lo relacionado con el mecanismo de gobierno del buque existen una serie de características que deben darse para los buques mercantes o de gran eslora:

- Todos los buques deben tener instalados dos aparatos de gobierno independientes entre sí. En el caso de que el buque que tenga una eslora superior a 60 metros, uno de los aparatos de gobierno debe tener la suficiente potencia para accionar la pala timón de una banda a otra en 30 segundos con el buque a máxima velocidad.
- El servomotor debe ser una máquina reversible para poner el timón en cualquier dirección.
- Todos los componentes deben de ser de la resistencia adecuada según el tipo de servomotor. También es obligatorio que estén protegidos contra posibles averías producidas por la carga o la mar, a la vez que se eviten daños al personal que se encuentra en el barco.
- El timonel debe encontrarse en una posición en la que le sea posible observar toda la proa de forma clara.
- La rotación del servomotor debe ser tal que coincida con el mismo sentido de giro que la rueda del timón y, en caso de que ésta permanezca parada, el servomotor también deberá pararse manteniendo el mismo ángulo de giro.
- El servomotor debe tener instalado sistemas de amortiguamiento para evitar posibles averías y también debe pararse cuando el ángulo de giro llegue al máximo.
- Una condición indispensable a tener en cuenta es que todas las piezas del servomotor deben mantenerse en buen estado. De no ser así, tendríamos averías de gran gravedad con el tiempo.
- El servomotor suele encontrarse instalado en un local en popa y estar en coincidencia con la limera por donde pasa la mecha del timón. Este local estará comunicado con el puente. [1][2]

En la siguiente imagen podemos observar un ejemplo de un sistema de gobierno del buque:

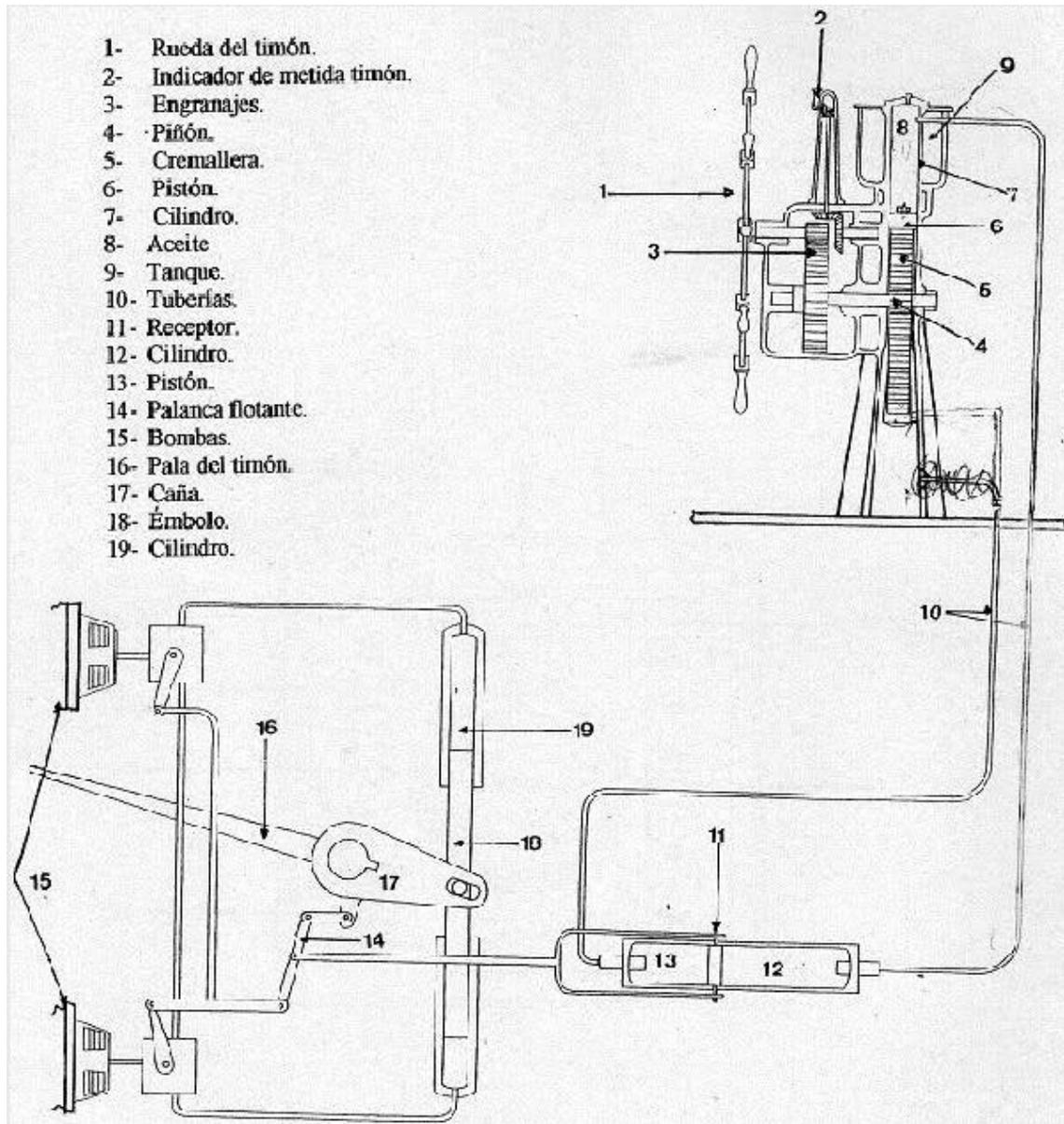


Ilustración [1]. Sistema de gobierno del buque.

En el caso anterior, el sistema de gobierno está destinado para buques con mucho tonelaje donde es necesario generar una gran fuerza capaz de hacer mover el peso del buque. También existe otro tipo de embarcaciones, que son las embarcaciones pequeñas no tan pesadas, que no requieren de un sistema de gobierno tan complejo ni que se genere una excesiva fuerza que sea capaz de moverlos. Pero siguen un patrón parecido de distribución como podemos observar en la siguiente imagen:

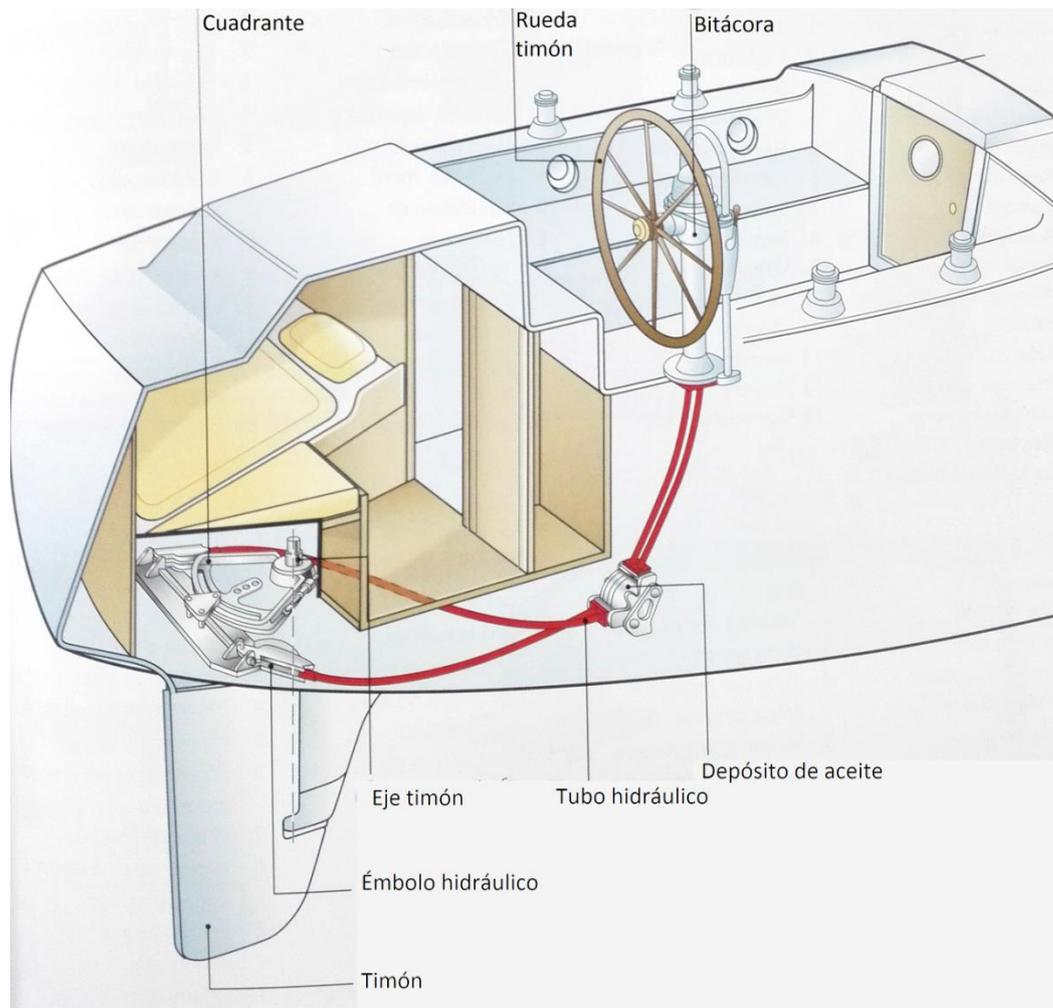


Ilustración [2]. Sistema de gobierno velero.

Como podemos observar se trata de un sistema de gobierno con una composición simple en la que encontramos la rueda del timón conectada a la pala, en este caso, por medio de un sistema hidráulico poco complejo y sin necesidad de utilizar muchos elementos para lograr su objetivo.

2.2. Tipos de gobierno del buque.

Llevar a cabo la operación del gobierno del buque de forma correcta requiere que se esté actuando de forma permanente sobre la pala del timón para realizar las correcciones del rumbo necesarias, y así poder efectuar cualquier tipo de operación tales como: seguir una derrota, evitar obstáculos, arribar, etc.

Existen tres tipos de sistemas de gobierno de un buque mercante o de gran eslora:

- **Gobierno manual:**

Este tipo de sistema de gobierno está formado por diferentes componentes: piloto, timonel, sistema de gobierno, buque y realimentaciones.

El piloto es el oficial encargado de dar el rumbo a seguir. El timonel es el tripulante encargado de mover la rueda del timón para efectuar la orden dada por el piloto. El sistema de gobierno es todo el aparataje necesario para mover la pala del timón. El buque es el propio barco en sí. Y las realimentaciones son las indicaciones visuales para que el piloto o el timonel puedan comprobar si se está realizando el rumbo apropiado.

Podemos encontrar diferentes tipos de realimentaciones. Por ejemplo: si se indica la magnitud de pala que debe meter a una u otra banda, la realimentación será el indicador de posición del timón; si se indica el rumbo, las realimentaciones serían la giroscópica y el indicador de posición del ángulo del timón.

Este tipo de sistema de gobierno será más o menos preciso dependiendo de la experiencia del timonel.

A continuación se puede observar el diagrama de bloques del sistema de gobierno manual. [3]

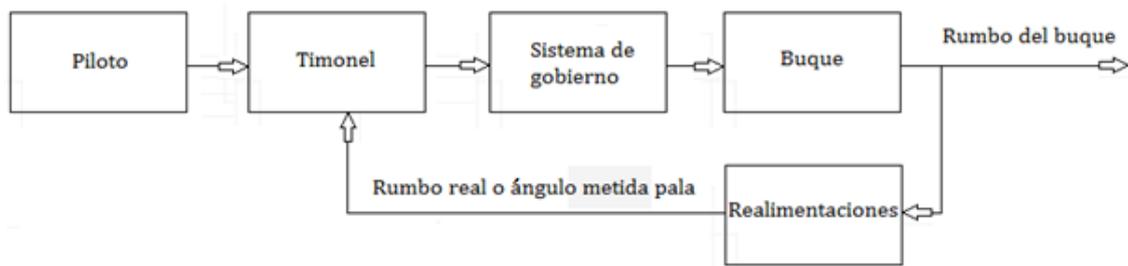


Ilustración [3]. Diagrama de bloques, gobierno manual. Elaboración propia.

- **Gobierno automático:**

Este tipo de sistema de gobierno apareció con la llegada de la electrónica a los buques mercantes y con su gran aportación del piloto automático.

El autopiloto o piloto automático se encarga de detectar los errores del rumbo y de corregirlos de manera continua, de esta manera no será necesaria la presencia constante del timonel.

En cuanto a la realimentación del sistema se realizaba mediante un compás magnético que convertía los campos magnéticos en tensiones eléctricas compatibles con el piloto automático, pero actualmente solo se utiliza como un sistema de respaldo con la llegada del giroscopio y de la central de navegación inercial.

El giroscopio proporciona rumbos verdaderos detectados, mientras que el compás magnético proporciona rumbos que deben ser corregidos para obtener el rumbo verdadero. Hay que destacar que la diferencia de precio del giroscopio es muy superior a la del compás magnético.

La diferencia entre el giroscopio y la central inercial de navegación existe en que la segunda aporta mucha más información que la primera, como: balance, cabezada, guiñada, etc.

El piloto automático actúa sobre el servotimón mediante circuitos eléctricos con el fin de hacer girar la pala del timón para que el buque rote. Esta rotación será detectada por el compás magnético o el giroscopio, que transformarán la magnitud girada en tensiones eléctricas y la devolverán al piloto automático para calcular el error entre el rumbo actual y el deseado, y corregirlo.

Presentamos el diagrama de bloques correspondiente al sistema de gobierno automático. [3]

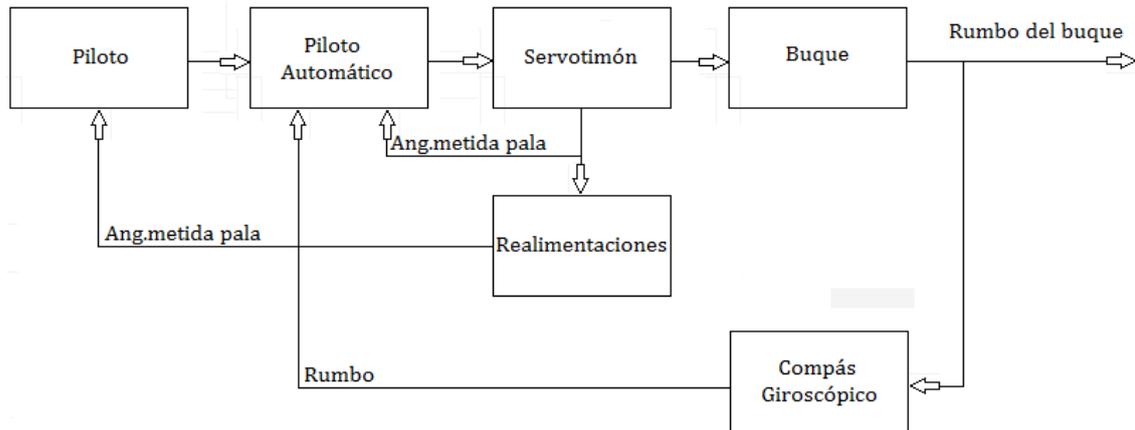


Ilustración [4]. Diagrama de bloques, gobierno automático. Elaboración propia.

En resumen, el piloto automático es una unidad de control que proporciona el ángulo de timón necesario para corregir el rumbo del buque. El servotimón es el encargado de girar la pala del timón siguiendo las órdenes del piloto automático. Las realimentaciones: el compás magnético proporciona el rumbo con el meridiano magnético, que tiene que ser corregido al verdadero, y el giroscopio que proporciona el rumbo con el meridiano verdadero.

- **Gobierno de emergencia:**

Este tipo de sistema de gobierno es de obligada instalación en el buque.

La finalidad de este sistema es la de tener el control manual del servotimón del buque una vez que falle el sistema de telemando desde el puente de gobierno.

Los fallos posibles del sistema de telemando se dividen en tres:

- **Fallos hidráulicos:** suelen tratarse de roturas o deformaciones en los circuitos del aceite.
- **Fallos electrónicos:** los más frecuentes los tenemos cuando se producen en los circuitos electrónicos del piloto automático o en la rueda del timón.
- **Fallos eléctricos:** los principales fallos que suelen darse son cuando los cables se derivan o se cortocircuitan.

En caso de posibles averías en el circuito de transmisión de señales es obligatorio que exista una duplicidad de tendidos de cables o tuberías y que se encuentren separados un tendido en una banda del buque y el otro en la opuesta.

Incluso de esa forma se pueden producir averías graves que rompan el enlace entre el piloto y la pala del timón. Por este motivo es obligatorio un sistema local de accionamiento de servotimón.

Existen varios tipos dependiendo del servotimón:

- **Control manual de la válvula de distribución de cuatro vías:** se actuaría de forma manual sobre los solenoides que activan esta válvula desde el propio local del servotimón.
- **Control mediante volante del telemotor de aceite del servotimón:** para ello debe existir una rueda y un sistema helicoidal que permita actuar directamente sobre el émbolo del telemotor y sobre la bomba de gasto variable.
- **Control manual mediante bombas manuales:** en caso de que la avería afecte al telemotor, se subsanaría ésta mediante un juego de válvulas que permitiesen reconducir el aceite hacia el actuador idóneo para realizar la maniobra.
- **Control manual directo:** se trata de un sistema que permite cerrar los pasos de aceite y actuar directamente sobre la pala mediante palancas o una rueda con cremallera helicoidal. Para esto habría que reducir la velocidad del buque para llevar al mínimo la fuerza de reacción producida por la mar sobre la pala.

En el sistema de gobierno de emergencia la realimentación se realiza a través del timonel que estará situado en el local del servo. Este local debe tener instalado un repetidor del compás giroscópico y un indicador de posición de la pala del timón.

Existen dos tipos de señales de referencia: la de mantener un rumbo prefijado o introducir la pala del timón a una banda del buque. Este tipo de señal de referencia es transmitida por el capitán o el piloto desde el puente de mando hasta el local del servo mediante el sistema de comunicaciones interiores del buque.

Luego el timonel realizará la acción necesaria para poder corregir el rumbo actuando sobre los solenoides o sobre el telemotor del servotimón. En el primer caso se trata de un sistema controlado de “todo o nada”, no existiendo posiciones intermedias, y en el

segundo un sistema controlado por señales continuas para poder situar el telemotor en posiciones diferentes.

En el caso extremo en el que el sistema de comunicaciones interiores estuviera averiado se tendría que recurrir a radioteléfonos portátiles o a una cadena humana de transmisión de órdenes. [3]

El diagrama de bloques del sistema tiene la siguiente configuración:

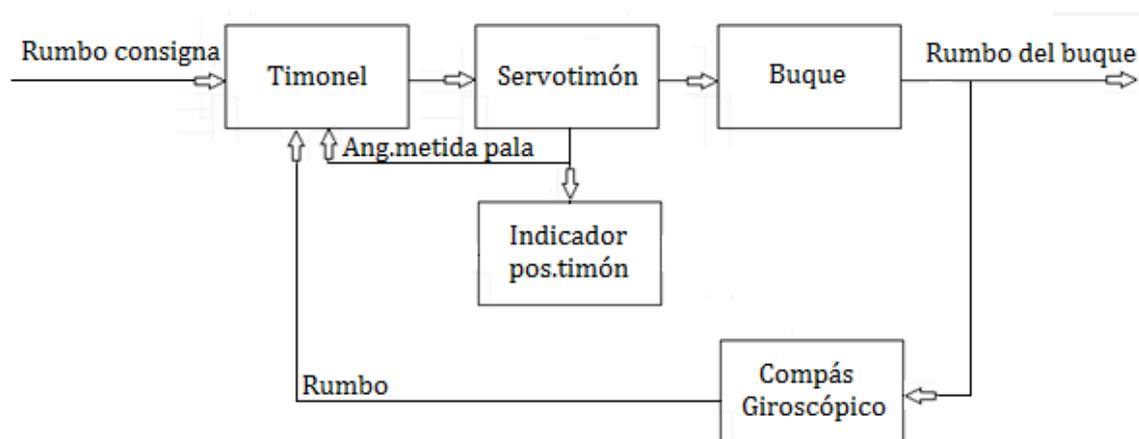


Ilustración [5]. Diagrama de bloques, gobierno de emergencia. Elaboración propia.

Según la “Organización Marítima Internacional. Convenio Internacional para Asegurar la Vida Humana en la Mar. Capítulo IV. IMO. Ginebra 1982” es obligada la instalación de un sistema de gobierno de emergencia en el buque.

2.3. Timón.

En lo referido a la maniobrabilidad dentro de un fluido, la pala del timón es uno de los elementos más importantes del buque. Es el encargado de aprovechar los efectos hidrodinámicos del fluido en el que se encuentra provocando el giro del buque. Trabaja junto con la hélice como medio de propulsión para realizar el movimiento del buque en una dirección u otra.

Las características que debe reunir son: debe dar fuerzas equivalentes en ambas direcciones, estribor y babor, debe suministrar el mayor momento de giro posible con una fuerza dada y debe estar situado en el chorro de la hélice, ya que es el lugar donde existen las mayores velocidades del agua. [4]

Los timones pueden clasificarse por su estructura, montaje, distribución o movimiento:

Estructura: [4]

- Plancha simple: consiste en una plancha gruesa reforzada.
- Plancha doble: formada por dos planchas unidos por una estructura interior.
- Currentiformes: sus chapas tienen formas curvas para mejorar el aprovechamiento de las corrientes hidrodinámicas.

Montaje: [4]

- Soportados: cuando tienen un soporte superior y uno inferior en el codaste.

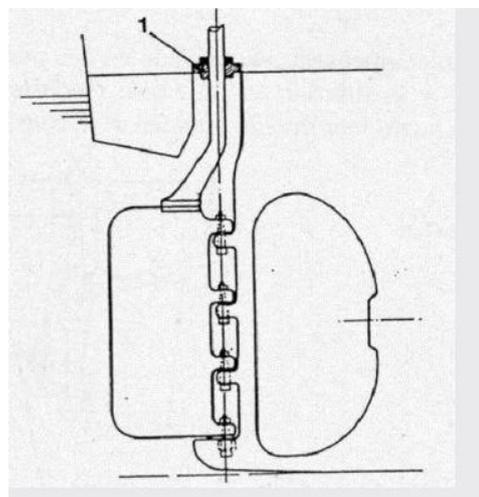


Ilustración [6]. Timón soportado.

- Semisuspendidos: cuando el soporte inferior está en una zona intermedia de la pala.

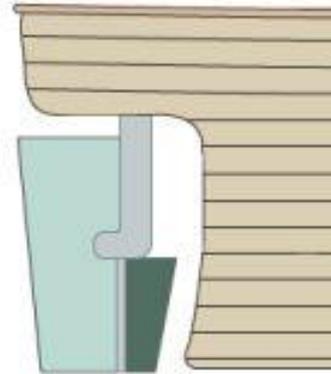


Ilustración [7]. Timón semisuspendido.

- Colgantes: cuando solo tienen soporte superior.

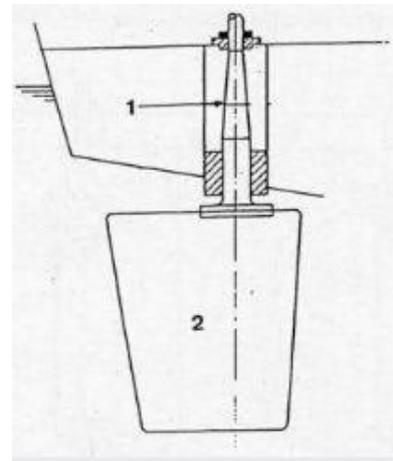


Ilustración [8]. Timón colgante.

Distribución: [4]

- Sin compensar: es cuando la pala se encuentra a popa del eje de giro.

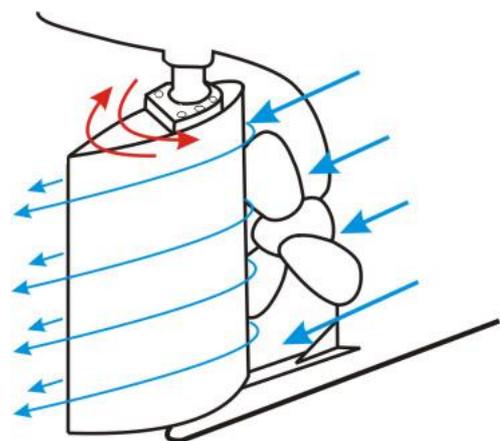


Ilustración [9]. Timón sin compensar.

- Semicompensado: cuando se distribuye parte de la pala a proa del eje de giro.

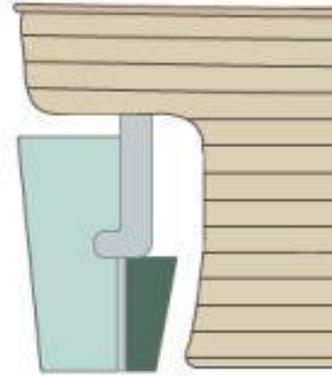


Ilustración [10]. Timón semicompensado.

- Compensado: cuando la parte de la pala situada a proa del eje de giro es superior al 20% de la superficie total

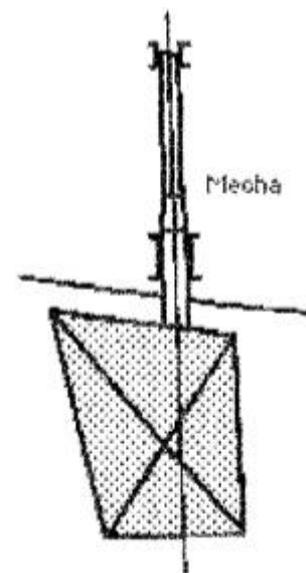


Ilustración [11]. Timón compensado.

Movimiento: [4]

- Pala móvil: se mueve en su totalidad simultáneamente.
- Pala parcialmente móvil: con pala móvil a popa del eje del giro y la parte de proa fija al codaste.
- Activos: parte móvil a proa y popa del eje del giro.
- Flap activo: a popa de la pala del timón. Se trata de una pieza que se añade a la pala del timón para proporcionarle mayor empuje transversal en el giro.

La forma de controlar la dirección de la pala del timón es mediante la rueda del timón. Sobre ella, el piloto podrá actuar directamente y modificar en ángulo de la pala para llevar el rumbo deseado. Existen tres configuraciones:

- Timón de caña: se trata de un palo fijado directamente en la parte superior del timón. En cuanto a la dirección, si la caña va a vía, el timón mantiene el rumbo, si la caña va a babor, el timón va a estribor y si la caña va a estribor, el timón va a babor.
- Timón de rueda: consiste en una rueda que, mediante un sistema de poleas y cables o cadenas, mueve la pala del timón. En los buques que lo requieran la rueda se encontrará conectada a un servosistema para conseguir el mismo efecto y, a diferencia del timón de caña, al girar la rueda hacia estribor, el timón girará a estribor y al girarla a babor, el timón girará a babor.
- Timón de joystick: en los buques más modernos se sustituye la rueda del timón por un joystick que controla el accionamiento de la pala del timón por medio de un accionamiento electromecánico o electrohidráulico, y también se dispone de un indicador de ángulo de la pala del timón para que el piloto tenga esa información.

[5]

2.4. Follow up / Non follow up.

Follow up y Non follow up son un tipo de gobierno que utilizan algunos buques y embarcaciones para facilitar las operaciones de maniobra.

- Follow up (FU):

Es un sistema de control de rumbo en el que el timonel introduce un ángulo de metida de la pala, y ésta actúa hasta alcanzar dicho ángulo manteniendo esta posición. Se trata de un sistema de bucle de lazo cerrado.

- Non follow up (NFU):

Este sistema de control consta de un joystick que vuelve a su posición cero si se deja de ejercer fuerza en él. El timón girará hacia la banda que accionemos el joystick mientras lo mantengamos y mantendrá su posición hasta que no la cambiemos moviendo el joystick hacia la otra banda. Se trata de un sistema de bucle de lazo abierto.

3. Central hidráulica.

La central hidráulica del buque o servotimón, es el sistema encargado de transmitir los movimientos realizados en la rueda del timón haciendo girar la pala del timón, consiguiendo que se pueda realizar el control de la dirección del buque. La configuración general de la central hidráulica de la gran mayoría de los buques, de gran eslora, sigue un diagrama de bloques similar al siguiente:

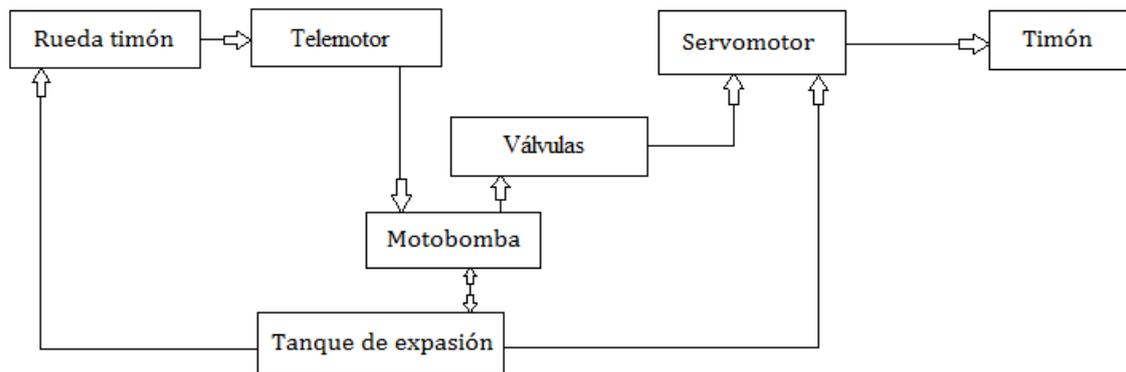


Ilustración [12]. Diagrama de bloques, central hidráulica. Elaboración propia.

- **Rueda del timón:** sobre ella el timonel o el piloto pueden actuar para controlar o modificar la dirección del buque con el propósito de conseguir el rumbo deseado. El piloto automático realiza la misma función en el caso de que se encuentre uno instalado a bordo.
- **Telemotor:** es el mecanismo que transmite el movimiento de la rueda del timón hacia los actuadores del servomotor mediante señales eléctricas amplificadas.
- **Motobomba:** las bombas del servomotor pueden ser accionadas por un motor eléctrico, una maquina auxiliar o la propia maquinaria principal del buque. Las bombas giran continuamente y alimentan de aceite las válvulas. La dirección de rotación de la bomba es única, si la bomba girase en sentido contrario nos encontraríamos ante una avería que hay que solucionar lo antes posible.

- **Válvulas de distribución:** se encuentran después de la motobomba y su misión es la de repartir el aceite enviado por la motobomba a uno u otro cilindro del servomotor con el fin de que éste gire hacia una u otra banda. También se encuentran en el sistema otros tipos de válvulas como son las de antiretorno o las de seguridad.
- **Servomotor:** es el mecanismo encargado de hacer que la pala del timón gire a una banda u otra en un ángulo calculado con anterioridad. Se trata de un cilindro con un pistón que actúa directamente sobre la mecha del timón y lo hace girar.
- **Timón:** es el encargado de aprovechar los efectos hidrodinámicos del fluido en el que se encuentra provocando el giro del buque. Trabaja junto con la hélice para realizar el movimiento del buque en una dirección u otra. El timón es el receptor del servosistema y girará a una banda u otra según el ángulo requerido por la rueda del timón.
- **Tanque de expansión:** su función es la de reponer las pérdidas del circuito, absorber las variaciones de volumen de aceite por efecto de la temperatura y rellenar la cámara de presión del motor hidráulico para su lubricación.

Se considera un servosistema porque, aparte de tener una entrada de potencia que hace que la pala del timón se mueva, existe otra que es una realimentación eléctrica proveniente del sensor de posición de la pala del timón. Esta entrada se compara con la posición que debería tener la pala del timón y en caso de que no sea iguales se producirá un error que será amplificado y mandado al servotimón para que corrija la posición de la pala del timón.

A continuación, para su mejor visualización, se muestra un ejemplo del alzado del servotimón del buque Ciudad de Zaragoza.

Cabe mencionar que, como sistema de emergencia de este servotimón, existe una bomba manual de emergencia que será utilizada en caso de que las bombas eléctricas dejen de funcionar. Se puede encontrar instalada en el pañol del servo o en el puente de mando (en el diagrama de bloques se encuentra en el puente de mando). Al hallarse la rueda del timón acoplada directamente al eje de la bomba, el ángulo de giro de éste

producirá una presión de aceite proporcional al mismo y también será proporcional el ángulo de giro de la mecha del timón. [3]

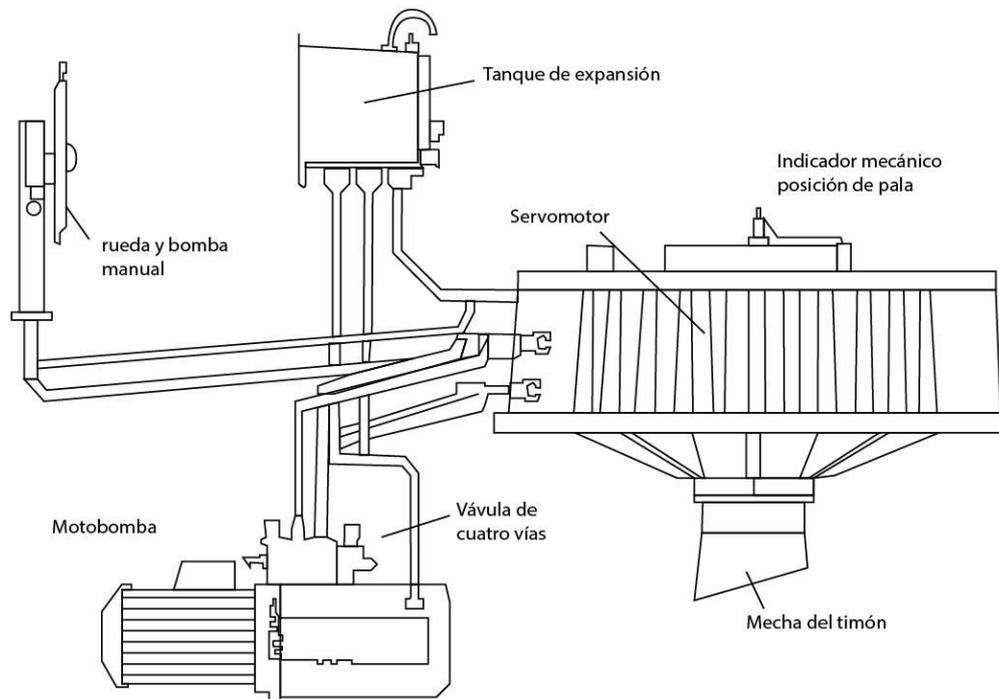


Ilustración [13]. Servotimón buque Ciudad de Zaragoza. Elaboración propia.

4. Piloto automático / Autopiloto.

Con el paso del tiempo, los sistemas de gobierno del buque han ido sufriendo una evolución con el objetivo de conseguir una mejora en la navegación y el control del buque.

Antes, el piloto y parte de la tripulación necesitaban prestar mucha más atención en la dirección del buque, lo que provocaba un mayor cansancio y fatiga. Esto nos llevó a la aparición del piloto automático. Siendo el petrolero de la Standard Oil J.A.Moffet el primer buque en utilizarlo en 1920. Gracias a este sistema se quitó mucha presión a la tripulación, sobre todo en rutas de larga distancia en la que era necesario estar muchas horas actuando sobre el timón.

El piloto automático es un dispositivo eléctrico, mecánico o hidráulico encargado de mantener el rumbo del buque hacia un punto marcado sin la necesidad de un timonel actuando sobre la rueda del timón. Junto a un giroscopio o un compás magnético y un rumbo designado, el autopiloto calcula la diferencia existente entre ambas señales. Si no detecta diferencia entre ambos parámetros, el autopiloto no modificará el rumbo de la embarcación. En caso de que si se produzca dicha diferencia, se generará una señal de error que enviará el autopiloto a los actuadores del sistema de dirección del buque para que modifiquen el ángulo de la pala del timón y así reducir al mínimo el error existente.

Pero en la navegación también existen factores que intervienen en la alteración del rumbo del buque como son la velocidad del barco, velocidad y dirección del viento, las corrientes marinas, el oleaje, etc.

Por esto mismo el autopiloto recoge señales de las realimentaciones u otros equipos, como puede ser un sensor de rumbo, una veleta, un chartploter GPS, etc, que le son proporcionadas para así, también calcular y generar señales de error que modificarán el ángulo del timón y pueda mantener el rumbo del buque en la dirección correcta.

Con todo esto el piloto automático se convierte en un sistema que actúa de forma constante sobre el rumbo de la embarcación para que pueda llegar a su destino de forma rápida y ahorrando combustible, consiguiéndolo gracias a los múltiples datos de navegación que recoge y procesando una respuesta idónea para cada situación. [24][25]

En buques de gran tamaño es necesario que el oficial a cargo del piloto automático conozca bien el funcionamiento y las posibilidades que presenta el sistema y haga un buen uso de él:

- El usuario puede establecer el valor de índice de giro del timón. Al girar, el timón se moverá tanto como sea necesario para alcanzar la velocidad de giro necesaria sin exceder el valor establecido. El oficial debe establecer un valor de giro seguro teniendo en cuenta las características de buque.
- También debe establecer el límite del timón para que al alterarse el rumbo, el timón no sobrepase el ángulo máximo al que puede realizar la maniobra de forma segura.
- Las bombas de engranaje de dirección se utilizan para bombear aceite hidráulico y accionar la unidad de engranaje de dirección que a su vez mueve el timón en la dirección requerida. Por lo que, en situaciones de alteraciones repentinas del rumbo, las bombas estarán funcionando al máximo y en las situaciones opuestas las bombas reducirán su funcionamiento al mínimo. Por eso el oficial debería conocer las bombas y usarlas con prudencia.
- Existe el modo automático y manual en los controles. En caso de que sea necesario se podrá pasar al gobierno manual y realizar la maniobra requerida. El usuario debe estar familiarizado con el procedimiento de cambio de modo automático y manual.
- Algunos pilotos automáticos tienen una opción de control de tiempo donde el sistema ajusta automáticamente su configuración para adaptarse a las condiciones del clima y el mar. También existe otra opción que permite al usuario configurar manualmente el valor específico.
- En caso de emergencia en el que falla el girocompás o hay un apagón eléctrico, el sistema no podrá seguir su rumbo y para ello se deberá pasar a modo manual utilizando una brújula magnética.
- Deben existir una serie de sensores y alarmas que avisen al usuario en caso de que falle alguna parte del autopiloto o no reciba suficiente suministro de energía.
- El autopiloto solo puede ser manipulado por el personal autorizado y nadie del personal a bordo debería alterarlo. [23]

Hoy en día, en las embarcaciones de pequeña eslora, se puede navegar sin electrónica y sin piloto automático, como se hacía antiguamente, pero es difícil prescindir de la seguridad y tranquilidad que aporta un barco totalmente equipado.

Existen dos grupos de pilotos automáticos para embarcaciones pequeñas:

- Pilotos automáticos que se instalan en la caña del timón o en la rueda de gobierno.
- Pilotos automáticos que se instalan bajo cubierta y actúan sobre la mecha del timón.

Dentro de los primeros encontramos dos tipos: “los pilotos automáticos de cockpit” están pensados para barco de máximo 5 ó 6 toneladas, capaces de ejercer una fuerza de hasta 80 kilos sobre la caña del timón. Son muy fáciles de instalar en la cabina, aunque es necesario seguir al pie de la letra las indicaciones de instalación del fabricante para evitar dañar el sistema. Su gran defecto es la lentitud que tiene de respuesta por lo que con algo de mal tiempo sería imposible utilizarlo. “los pilotos automáticos de timón de rueda” son similares al anterior con la diferencia de que son más eficientes y fiables, y el actuador que consiste en una corona que actúa directamente sobre la rueda del timón modificando el rumbo.

Dentro del segundo grupo se encuentran “los pilotos automáticos intraborda”, parecidos a los anteriores pero con mecanismos capaces de ejercer una fuerza de 200 a 800 kilos de fuerza. Consiste en unos actuadores que mueven directamente la mecha del timón y pueden ser un sistema hidráulico mediante un pistón, un sistema eléctrico mediante un pistón extensible por un tornillo sin fin o motores eléctricos con reductoras de piñones.
[16]

Los componentes que poseen en común los pilotos automáticos se tratan de los siguientes:

- **Procesador del piloto automático:** es el ordenador del sistema, se encarga de recibir, calcular y enviar la información para que el sistema trabaje correctamente.
- **Compás digital:** este dispositivo nos informa de donde se encuentra el norte magnético y con el que podremos saber el rumbo que lleva el buque.

- **Sensor de rumbo:** informa del ángulo que hace el timón del buque con respecto al eje de crujía.
- **Bomba hidráulica, pistón o corona:** son el actuador que se encarga de cambiar la dirección del timón para modificar el rumbo del buque.
- **Unidad de control:** se trata de una pantalla electrónica desde la cual el usuario se encarga de controlar todo el sistema. [18]

Todos estos componentes se encuentran conectados entre ellos e intercambiando información gracias a las interfaces NMEA o mediante otro protocolo de comunicaciones propio de cada marca, como por ejemplo SimNet de la marca Simrad.

Existe otro tipo de piloto parecido al piloto automático, más antiguo que éste, denominado “piloto de viento”. Es característico de los veleros.

Consiste en obtener su impulso de gobierno a partir del ángulo de viento aparente. Cuando se ajusta las velas y una aleta instalada a bordo en el ángulo relacionado con la dirección del viento, la dirección de la embarcación continuará manteniendo ese ángulo y las velas seguirán correctamente orientadas.

Es importante la dirección del viento. Si sopla de popa será posible realizar un viaje siguiendo la ruta más corta. Pero si sopla de proa el cambio de rumbo será obligatorio debido a que las velas estarán con el viento en contra y la ruta más corta no será la indicada. [21]

Hoy en día, este tipo de navegación es una de las posibilidades a elegir dentro de las opciones que ofrece un piloto automático, necesitando únicamente llevar instalado una veleta.

A continuación podemos observar dos configuraciones del piloto de viento, en ellas están representados la caña que dirige al timón, luego una aleta denominada H y una aleta V con su timón auxiliar.

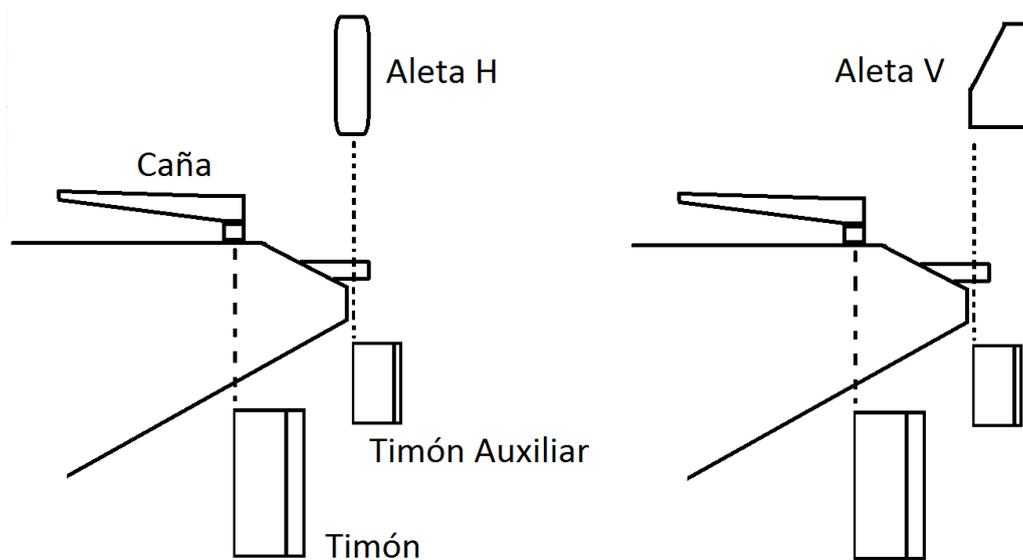


Ilustración [14]. Gobierno de viento, aleta H y V. Elaboración propia.

4.1. Diagrama de bloques: Piloto automático.

Para un mayor entendimiento, se presenta el siguiente diagrama de bloques donde se explican los diferentes bloques que forman parte del piloto automático:

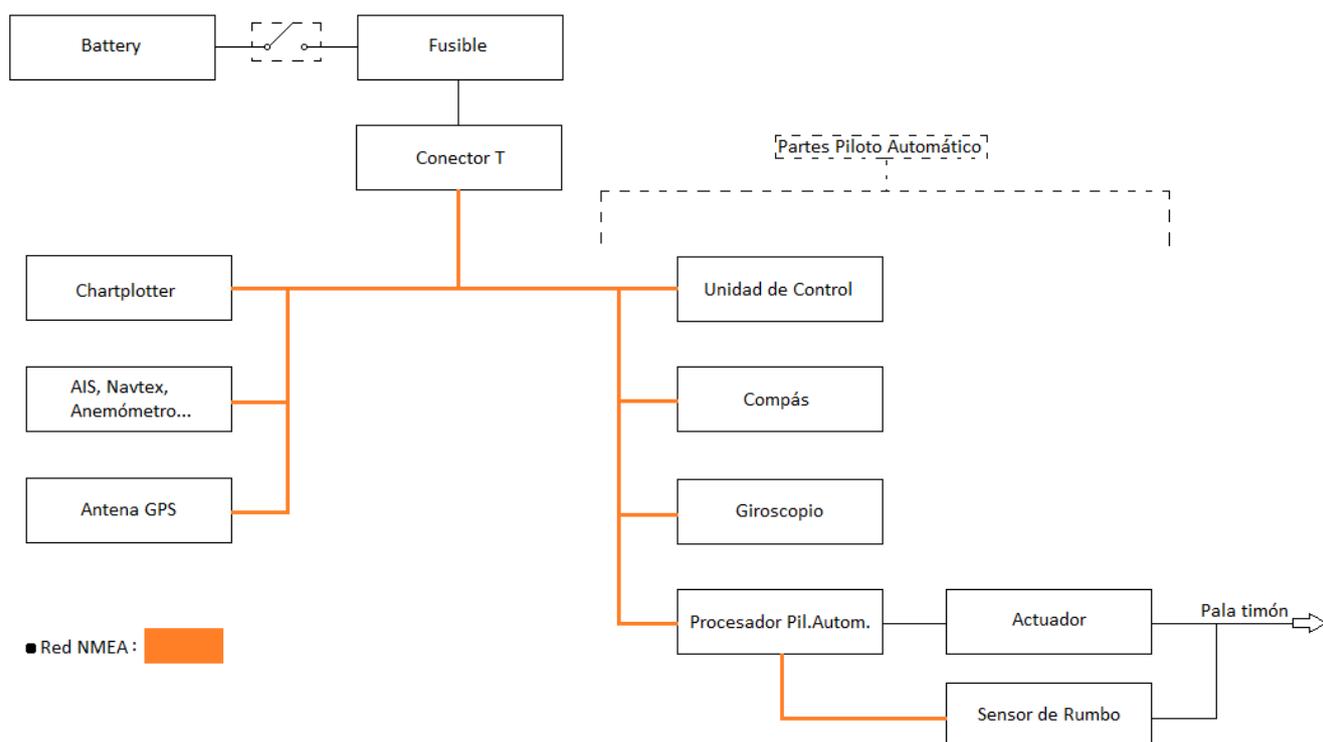


Ilustración [15]. Diagrama de bloques autopiloto 1ª.

- **Unidad de control:** es el dispositivo encargado de manipular el usuario para controlar todos los aparatos conectados a él, ejecutar cualquier orden y consultar cualquier tipo de información que es capaz de captar cada uno de los diferentes dispositivos del sistema instalado en el buque.
- **Compás electrónico:** también llamado “fluxgate”, informa donde se encuentra el norte magnético y con ello podremos saber el rumbo que lleva el buque. Esto es posible gracias al campo magnético generado por este dispositivo, que es perturbado y modificado por la influencia del campo magnético de La Tierra. Calculando la magnitud de perturbación se podrá calcular el norte magnético.

Este dispositivo debe ir instalado en el buque lo más cerca del centro de gravedad y lo más bajo que se pueda, viéndose lo menos afectado posible por otros elementos magnéticos que se encuentren en el buque.

- **Giroscopio:** este dispositivo mejora la capacidad del piloto automático mediante un sistema de inercia de giro. Le aporta al procesador información sobre las variaciones que sufre el buque por influencia de las olas para que así pueda ir realizando las correcciones necesarias. Cuanto más a popa del centro de gravedad se encuentre el giroscopio mejor será la medición. Es un equipo que no siempre llevan instalado aunque resulte muy útil. Un modelo de Simrad sería el “AR78”.
- **Procesador:** es el cerebro del piloto automático. Se encarga de recibir información de los distintos dispositivos instalados en el sistema, calcular y emitir la orden indicada hacia el actuador para que el piloto automático trabaje correctamente.
- **Sensor de rumbo:** también llamado “rudder feedback”, se encarga de medir el ángulo que realiza el timón con respecto al eje de crujía y envía esa información al procesador para que pueda compararlo y realizar modificaciones de rumbo en caso de que sea necesario.
- **Actuador:** este dispositivo realiza la función de mover la pala del timón hacia una dirección u otro según la orden que reciba desde el procesador. El actuador puede tratarse de una corona instalada en la rueda del timón, un pistón o una bomba hidráulica que ejercen su trabajo sobre la mecha del timón.
- **Realimentaciones:** son un conjunto de sistemas que aportan información extra que le ayudan, al piloto automático, a realizar un control del rumbo mucho más eficiente y seguro. Ejemplos de realimentaciones: veleta, GPS, etc.

A continuación podemos observar la conexión de los dispositivos a través de una red NMEA de una manera más clara y visual para un mayor entendimiento:

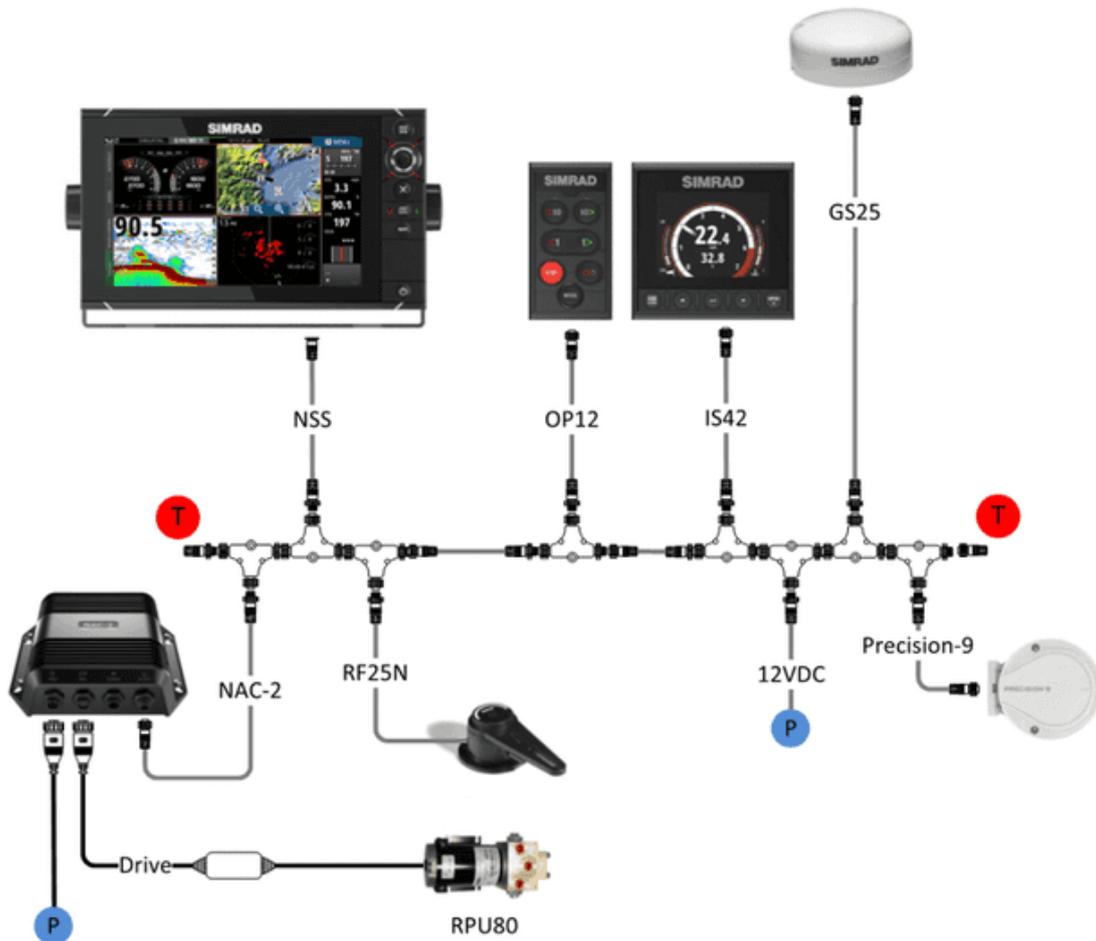


Ilustración [16]. Diagrama de bloques autopiloto 2º.

Empezando por la izquierda se encuentra el procesador “NAC-2” conectado por una red NMEA utilizando conectores T. Luego su correspondiente unidad de control se trata de una pantalla multifunción Simrad “NSS Evo”, un sensor de rumbo “RF25N” y un compás “Precision-9”. Por último, a través del “drive” que sale del procesador, se encuentra el actuador “RPU80”. También se puede ver conectado en esta distribución un control remoto “OP12”, otra pantalla multifunción “IS42” y un GPS “GS25”.

- Unidad de control: NSS Evo y IS42.
- Procesador: NAC-2.
- Actuador: RPU80.
- Sensor de rumbo: RF25N.
- Compás: Precision-9.

4.2. Mercado del piloto automático.

Dentro del mercado de pilotos automáticos existen una gran cantidad de marcas que compiten por destacar sobre las demás, produciendo mejoras en estos aparatos y haciéndolas cada vez más útiles.

Excluyendo los buques mercantes u otros de gran eslora y centrándonos en embarcaciones de menor eslora como los yates o los veleros, presentamos algunos de los últimos modelos de piloto automático que marcas como Humminbird, Lowrance, Raymarine, Furuno, B&G, Garmin, etc han sacado al mercado:

- Furuno serie 700: destinado para vela y motor. Posee un procesador que registra multitud de datos como la meteorología y velocidad del barco para adaptarse a la situación y mantener el rumbo más óptimo. Dispone de varios modos de funcionamiento: automático, mantenimiento de un rumbo programado o mantenimiento de la derrota. Y para los aficionados a la pesca proporciona el “FishHunter” que permite maniobrar en cuadrado, en zigzag, en círculo, en espiral o en ocho, alrededor de un objetivo concreto.
- Garmin: presenta tres modelos para distintos tipos de barcos. “GHP-10”, destinado para los barcos a motor con dirección hidráulica, posee la tecnología “ShadowDrive” que permite al timonel mantener el control de la embarcación, si fuera necesario, incluso con el autopiloto activado. “GHP-12”, destinado a veleros de 20 a 70 pies de eslora y barcos a motor con un sistema de gobierno por solenoide, de cable o hidráulico. En los veleros se puede conectar a una veleta-anemómetro compatible, a un GPS o a un sistema de navegación cartográfica y en los barcos a motor solo necesita que sea capaz de proporcionar la posición del timón al procesador del autopiloto. “GHP-20” trae una bomba “SmartPump” a motor sin escobillas que es compatible con la mayoría de embarcaciones con dirección hidráulica, posee la tecnología IRRT que reduce los movimientos del timón cuando se encuentra a altas velocidades y aumentándolos a baja velocidad.

- NKE Gyropilot: enfocado para veleros de regata, es la primera marca que crea un autopiloto con un giroscopio integrado. El pack básico trae “Multifuntion Multigraphic” o un “Gyropilot Graphic”, un procesador del giroscopio integrado, un sensor de ángulo de timón y un brazo hidráulico. Otra novedad es que NKE combina su procesador con un sensor 3D para conseguir llevar un gobierno mucho más preciso y con menos bandazos.
- Raymarine: presenta la gama “Evolution” que trae una electrónica que capta las condiciones del mar y del viento a tiempo real y envía las correcciones instantáneamente a los controles de la rueda. Consiguiendo un rumbo muy preciso independientemente de las condiciones de velocidad y de navegación. También eliminan el proceso de calibración del compás, ya que se realiza automáticamente. Presenta la gama “EV-1” para veleros y “EV-2” para los barcos a motor con sistema de dirección electrónico, y también dos unidades de control la “p70” y “p70R”.

Aparte, otras muchas marcas han presentado sus productos como: “B&G” con “H5000”, “ComNav Marine” con su autopiloto “1440”, “Humminbird” con “SC-110” o “TechMarine” con “T80.01” y “T80.03”. [26][27]

En este caso nos centraremos en la marca “Simrad” a la hora de elegir el modelo de piloto automático, ya que posee un amplio abanico de productos enfocado a la pesca profesional y la pesca de investigación, siendo una de las marcas más fiables y con mejor reputación a nivel mundial. Puede consultarse en la página web: “www.simrad.com”. [13]

También proporciona todo el equipamiento necesario para embarcaciones tipo yate desde sondas de pesca, a radares, GPS, sensores o formas de interconectar los sistemas a pantallas multifunción. También puede consultarse en la página web: “<http://ww2.simrad-yachting.com/es-ES/>”.

Cabe prestar especial atención a la gama de kits de pilotos automáticos que ofrece para que los usuarios puedan consultar las ofertas que poseen de una manera sencilla y puedan elegir la que más les interesaría para su embarcación. Aparte es necesario elegir

un controlador de piloto automático dentro de un abanico de posibilidades según las necesidades y gustos del usuario. Podemos encontrarnos con estos kits, dentro las opciones disponibles: [14]

- Pack de piloto automático hidráulico Simrad NAC – 1: contiene un sistema completo de piloto automático para embarcaciones con motor intra o fueraborda con gobierno hidráulico de menos de 10 metros de eslora. El pack contiene:
 - Piloto automático NAC-1.
 - Bomba hidráulica PUMP-1 de 0,8 l.
 - Sensor rumbo RC42N.
 - Botón automático/En espera.
 - Kit NMEA2000 y kit de instalación de bomba.



Ilustración [17]. Kit Simrad 1ª.

- DrivePilot Hydraulic – Steer Pack: recomendado para embarcaciones con un solo motor fueraborda y eslora inferior a 10 metros. El pack tiene el mismo contenido que el anterior.



Ilustración [18]. Kit Simrad 2ª.

- Procesador de piloto automático NAC-3: se trata del cerebro del sistema de un piloto automático Simrad. Está diseñado para embarcaciones con una eslora igual o superior a los 10 metros y tiene capacidad nominal para accionar bomba de corriente elevada, unidades de accionamiento mecánico o electroválvulas. El pack contiene un Kit de NMEA 2000, otro de instalación de bomba, la bomba correspondiente y un compas precisión 9.



Ilustración [19]. Kit Simrad 3ª.

5. Interfaces NMEA.

La comunicación entre todos los componentes que dispone un piloto automático y los demás dispositivos conectados entre sí es posible gracias al sistema de interfaces NMEA.

El NMEA (National Marine Electronics Association) se trata de un intercambio de información entre equipos y esto es posible gracias al empleo de interfaces. Estas interfaces son de uso prácticamente universal.

Con el tiempo ha ido cambiando y adaptándose por lo que podemos encontrar varios tipos de estas interfaces. Las diferencias que existen entre ellos son la información transmitida y la forma de hacerlo.

La información se transmite por señales binarias, por medio de series de impulsos y espacios, a la tensión fija de 5V y en el caso del NMEA 2000 a 12V, pero trabajan a distintas velocidades. Estas velocidades se miden en baudios, donde 1 baudio es un elemento transmitido por segundo.

Tipos:

- **NMEA 0180:** trabaja a una velocidad de 1.200 baudios. Sólo proporciona datos sobre rumbos y distancias, por lo que está destinado a los pilotos automáticos.
- **NMEA 0182:** también trabaja a 1.200 baudios. Sirve para pilotos automáticos y para plotters (máquina que se utiliza junto con un ordenador e imprime en forma lineal).
- **NMEA 0183:** trabaja a una velocidad de 4.800 baudios. Aporta más de 100 informaciones diferentes, cada una de las cuales empieza con el símbolo "\$" seguido de dos letras, indicativo del aparato que proporciona la información. Por ejemplo, "DE" corresponden al navegador Decca, "LC" a un Loran y "II" a un equipo instrumental. Siguen luego otras tres letras: "HDT" = rumbo sobre el fondo; "GLL" = latitud y longitud geográfica; "DBS" = profundidad bajo superficie y demás. De esta manera cada instrumento puede leer la información que le interesa. De esta manera resulta posible el almacenamiento de datos, su procesamiento y el

intercambio entre aparatos como navegadores, radares, plotters, sondas y pilotos automáticos. Se debe mencionar que existe la versión “GP” en la que la longitud y latitud se proporcionan con una precisión de milésimas de minuto, y la versión “LC” cuya situación se indica con una precisión de centésimas de minuto.

- **NMEA 2000:** también trabaja a 4.800 baudios y admite todos los formatos anteriores que utilizan un bus de datos (líneas que transportan señales de funciones analógicas). Este NMEA tiene 20 veces más capacidades que su antecesor el “NMEA 0183” y puede intercambiar información con otros equipos compatibles a través de un solo canal, es decir, consiste en una red bidireccional de datos en serie, capaz de llevar a cabo múltiples transmisiones y recepciones. El sistema se autoconfigura solo, sin necesidad de un controlador central. No obstante no está capacitado para aplicaciones de banda ancha como radares o vídeos.

En la siguiente imagen se expone un ejemplo de un sistema NMEA 2000 con todos los dispositivos que dispone el buque conectados a la red.

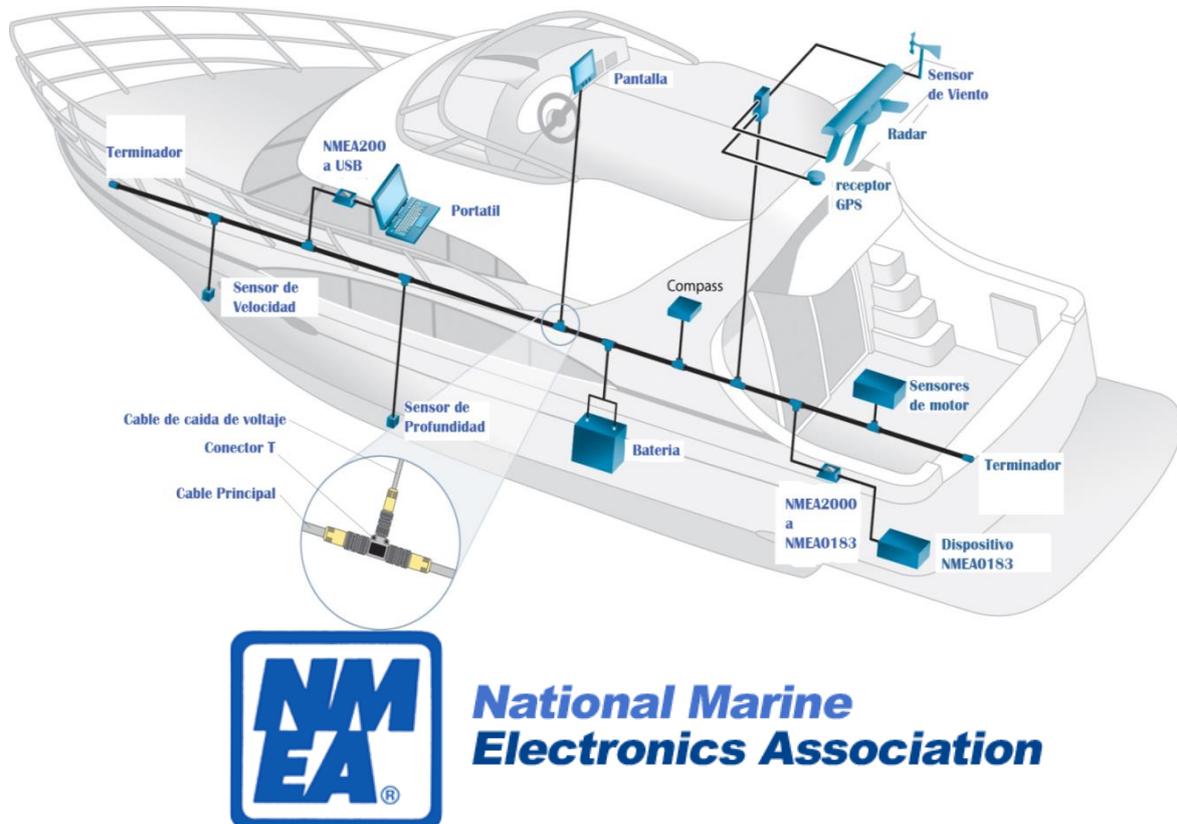


Ilustración [20]. Sistema NMEA.

5.1. Componentes NMEA.

Los componentes principales de una red NMEA son los conectores T, los terminadores, el cable principal, el cable de caída de voltaje y el cable de alimentación.

A continuación se puede apreciar un ejemplo de configuración NMEA en la que intervienen todos los elementos citados.

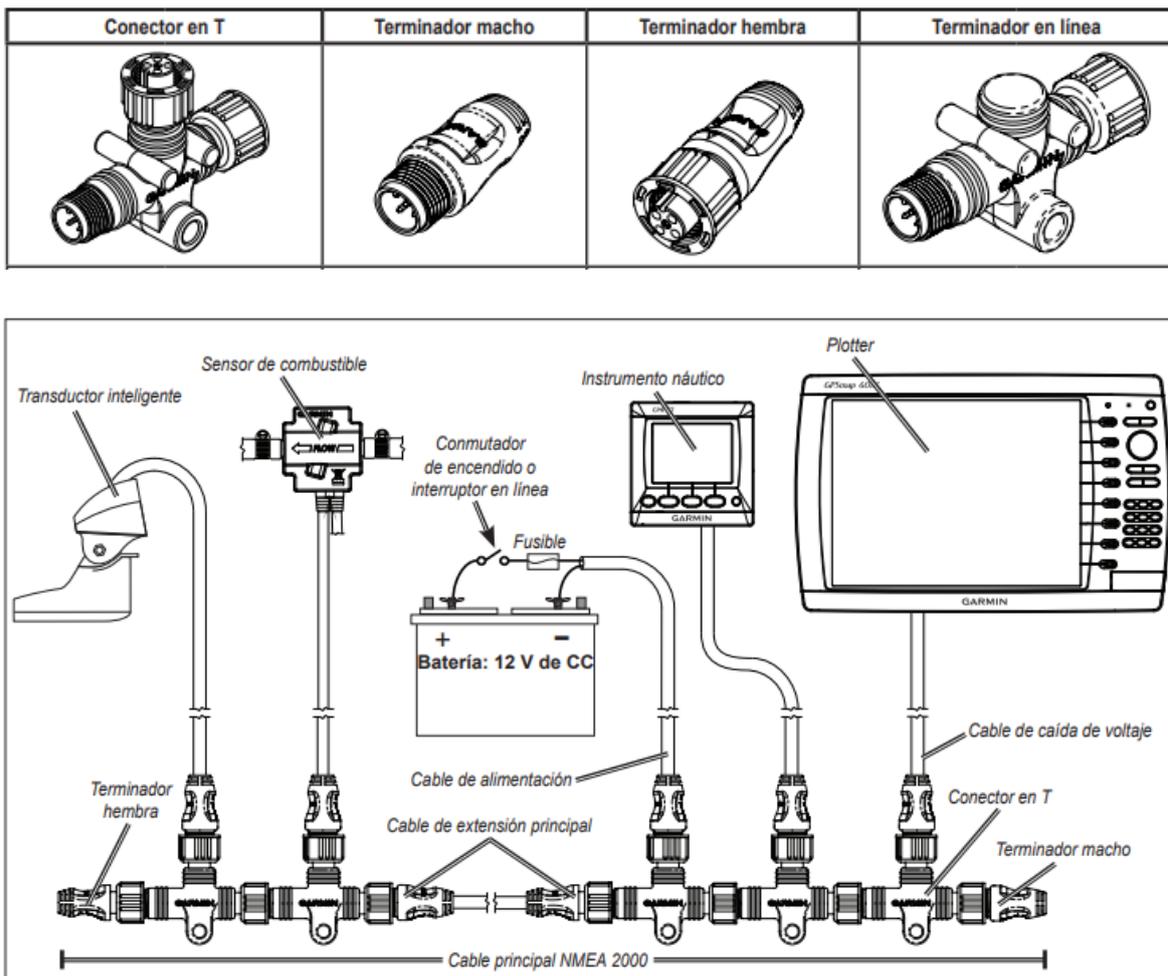


Ilustración [21]. Componentes y conexiones sistema NMEA.

6. Embarcaciones de recreo.

Según el Ministerio de Fomento del Gobierno de España, se define como embarcación de recreo:

- “Según el artículo 2.1 del RD 1434/1999 de 10 de septiembre, se consideran embarcaciones de recreo aquéllas de todo tipo, con independencia del medio de propulsión, que tengan eslora de casco comprendida entre 2.5 y 24 metros, proyectadas y destinadas para fines recreativos y deportivos, y que no transporten más de 12 pasajeros.

Dicha definición será corroborada posteriormente por el Real Decreto 2127/2004 de 29 de octubre, en su artículo 3.a), si bien ampliando su ámbito a su utilización con ánimo de lucro (arrendamientos) o con fines de entrenamiento para la navegación de recreo.

Por otra parte, el Real Decreto 1435/2010 de 5 de noviembre, regula el abanderamiento y matriculación de las embarcaciones de recreo en las listas sexta y séptima del registro de matrícula de buques.” [11]

6.1. Bavaria 42 cruiser.

Dentro de los diferentes tipos de embarcaciones de recreo haremos mención al velero: embarcación cuya propulsión principal es la acción del viento sobre su aparejo.

Más en concreto el velero de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, sección de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica naval de la ULL, cuya imagen podemos observar a continuación. Y también trataremos la posibilidad de la instalación de un piloto automático en esta embarcación.



Ilustración [22]. Velero Universidad de La Laguna.

El buque de la Escuela Náutica es un velero modelo Bavaria 42 cruiser, con una eslora=12,99 metros y una manga=3,99 metros. Posee un sistema de gobierno con una rueda de timón y un sistema de cadenas y poleas que hacen girar la pala del timón en una dirección u otra.



Ilustración [23]. Gobierno por cadenas, velero ULL. Elaboración propia.

También tiene un sistema de gobierno de emergencia que consta de una caña de hierro que se conecta en el eje de la pala del timón donde el piloto actuaría directamente sobre ella modificando la dirección.



Ilustración [24]. Caña del sistema gobierno emergencia. Elaboración propia.

6.2. Dispositivos para Bavaria 42 cruiser.

A continuación realizaremos un asesoramiento de los dispositivos necesarios para la instalación de un piloto automático en el velero de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, sección de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica naval de la ULL, Bavaria 42 cruiser, en el caso de que en el futuro se quiera instalar uno y se pueda utilizar este trabajo como ayuda para realizar dicha tarea.

Nos centraremos en la marca Simrad teniendo como motivo principal que en la embarcación ya se encuentra instalada una pantalla multifunción “NSS9 Evo2” que se puede aprovechar. Además, dentro de su página web podemos encontrar la siguiente tabla que nos puede servir como guía para diferentes tipos de embarcación a la hora de seleccionar los componentes indicados: [14]

Sistema de gobierno	Tamaño/capacidad/ compatibilidad	Piloto autom. recomendado	Procesador requerido
Fueraborda/propulsión en popa con gobierno hidráulico	cilindro hidráulico < 250 cc ó 15 in ³	RPU80	NAC – 2
	Cilindros hidráulicos de 160-550 cc ó 10-33 in ³	RPU 160	NAC – 3
	Cilindros hidráulicos de 290-960 cc ó 17-58 in ³	RPU 300	NAC – 3
Fueraborda/propulsión en popa con gobierno mecánico	Compatible con cables Morse 290, 304411 y TeleflexSSC52	Helm – 1	NAC – 2
Intraborda con gobierno hidráulico	Cilindro hidráulico < 250 cc o 15 in ³	RPU 80	NAC – 2
	Cilindros hidráulicos de 160-550 cc ó 10-33 in ³	RPU 160	NAC – 3
	Cilindros hidráulicos de 290-960 cc ó 17-58 in ³	RPU 300	NAC – 3
Intraborda con gobierno mecánico	Embarcaciones de hasta 9000 kg	T0	NAC – 2
	Embarcaciones de hasta 12000 kg	T1	NAC – 3
	Embarcaciones de hasta 20000 kg	T2	NAC – 3
	Embarcaciones de hasta 36000 kg	T3	NAC – 3
	Embarcaciones de hasta 55000 kg	T4	NAC – 3
Velero con cuadrante o caña	De 7,7 m a 10,4 m (de 25 pies a 37 pies)	SD10	NAC – 2
	Hasta 14 m (45 pies)	DD15	NAC – 3
	Embarcaciones de hasta 9000 kg	T0	NAC – 2
	Embarcaciones de hasta 12000 kg	T1	NAC – 3
	Embarcaciones de hasta 20000 kg	T2	NAC – 3
	Embarcaciones de hasta 36000 kg	T3	NAC – 3
	Embarcaciones de hasta 55000 kg	T4	NAC – 3

Ilustración [25]. Tabla orientativa Simrad.

Seguidamente pasaremos a nombrar los diferentes dispositivos que harían falta para instalar el piloto automático utilizando la tabla anterior como guía.

6.2.1. Actuador.

Como podemos ver en la tabla nos recomiendan la unidad de piloto automático “DD15” para nuestro velero cuya eslora: 12,99 metros:

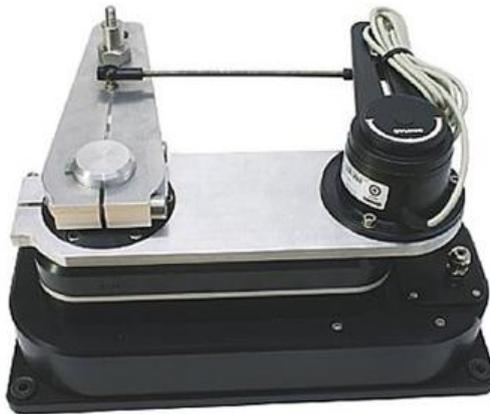


Ilustración [26]. Unidad de control DD15.

Es una unidad muy recomendada de gran eficiencia y rendimiento, a la vez que puede ser utilizada durante periodos de más de 24 horas. Pero en nuestro caso se debe optar por otra unidad de piloto automático menos invasiva y más fácil de instalar, ya que el sistema de gobierno del Bavaria 42 funciona con cadenas y poleas, y el “DD15” es utilizado para los gobiernos hidráulicos y electromagnéticos. Para ello elegiremos por conveniencia el “**piloto de rueda WP32**”.

“**Piloto de rueda WP32**” es el piloto automático recomendado por la propia marca para una gran variedad de veleros con gobierno de rueda y una eslora de hasta 12 metros. Posee una potente maquinaria que es capaz de mover el timón y proporcionar un gobierno exacto. Puede conectarse a través del bus SimNet o de interfaces NMEA0183 y lleva un teclado de 5 teclas que permiten el manejo de todas sus funciones, que son: navegar al viento o modo de navegación haciendo un seguimiento GPS gracias a los equipos externos que llevaría conectados. [30]



Ilustración [27]. Rueda del timón, velero ULL. Elaboración propia.

Aparte del teclado que lleva integrado, cabe la posibilidad de utilizar otra unidad de control con más prestaciones, como sería el caso de un Simrad EVO, conectado a través de NMEA.



Ilustración [28]. Autopiloto de rueda.

6.2.2. Procesador.

En cuanto al procesador, se opta por la instalación de un “NAC-3”, un procesador capaz de controlar una bomba de gobierno hidráulica o una unidad de transmisión mecánica a la vez que interactúa con otros componentes, como sensores de rumbo y unidades de respuesta del timón. Este procesador tiene capacidad para accionar bombas de corriente elevada, unidades de accionamiento mecánico o electroválvulas.

Lo que lo diferencia de su compañero el “NAC-2” es que éste trabaja con embarcaciones de eslora inferior a 10 metros y puede accionar bombas de corriente baja. “NAC-2” no sería una opción para instalar en el velero de la Escuela, ya que la eslora es de 12,99 metros.



Ilustración [29]. Procesador NAC-2 y NAC-3, Simrad.

Una ventaja del “WP32” es que solo requeriría ir conectado a otros dispositivos que le aporten la información necesaria para navegar, sin la necesidad de utilizar un procesador. Mediante el sistema conectar y funcionar (“plug-and-play”) no necesitaría configuración, simplemente con conectar el “WP32” en un puerto SimNet ya detectaría los datos de red que pueda utilizar.

En caso de utilizar una red NMEA en vez de un bus SimNet, tampoco haría falta instalar un procesador porque ya posee un procesador NMEA interno.

Por ejemplo los dispositivos que llevaría en una configuración por medio del bus SimNet sería: una veleta para navegar al viento, un chartplotter para navegar a GPS, una corredera para medir la velocidad del barco, un compás para determinar el rumbo de la embarcación.

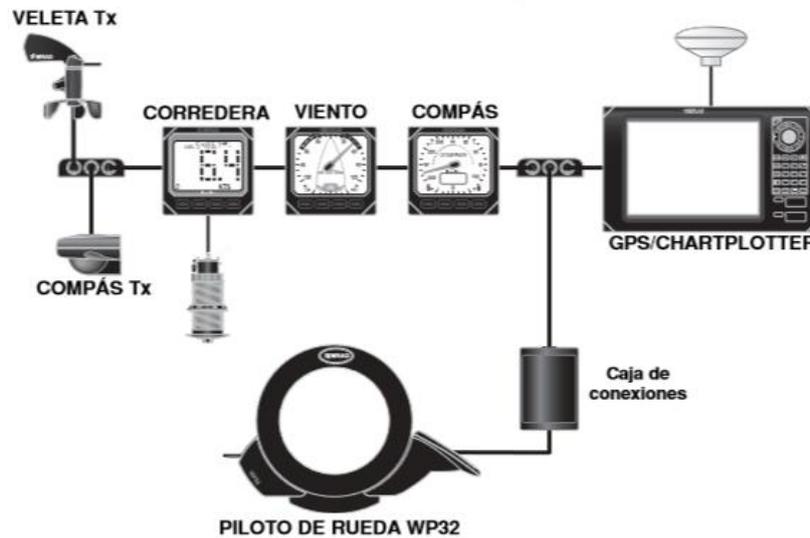


Ilustración [30]. Diagrama de bloques piloto de rueda 1ª.

Aunque en el caso más concreto del velero de la Escuela, existe una red NMEA0183 ya instalada a bordo.

Para llevar otra unidad de control aparte y no depender únicamente del teclado que trae integrado el “WP32” se podría utilizar la siguiente configuración como ejemplo:

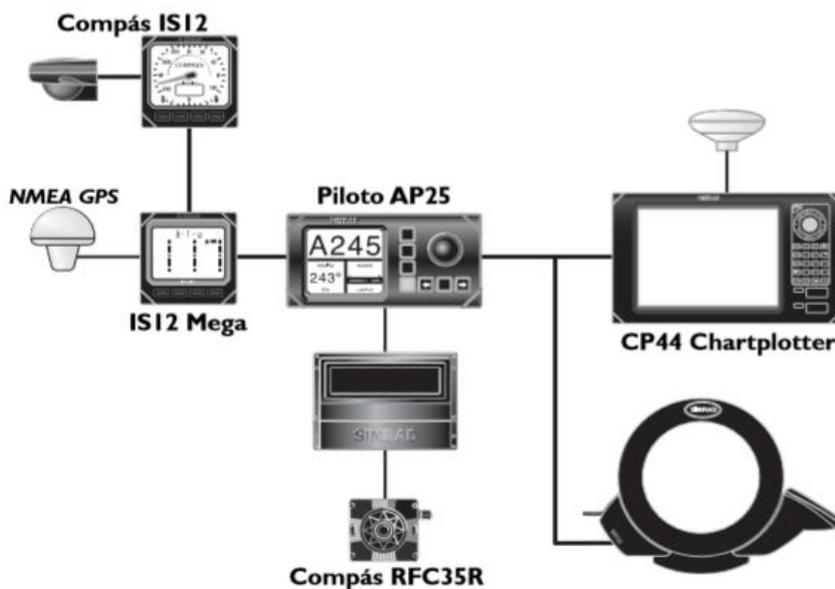


Ilustración [31]. Diagrama de bloques piloto de rueda 2ª.

Esta disposición si requiere de un procesador instalado para que el sistema realice las órdenes que el usuario pueda ejecutar en la unidad de control nueva, en el caso de la imagen es el **“AP25”**. Aquí se puede observar dos fuentes de datos de navegación (**“CP44”** y el **NMEA GPS**) y dos fuentes de rumbo (**“Compás IS12”** y **“RFC35R”**). Es posible utilizar el piloto de rueda **“WP32”** como piloto de reserva usando en su lugar el **“RFC35R”**. En cambio como piloto principal, el piloto de rueda puede seleccionar automáticamente el **“Compás IS12”** como fuente de rumbo y **“NMEA GPS”** a través de **“IS12 Mega”** como fuente de datos de navegación en vez del **“CP44”**. [30]

6.2.3. Unidad de control.

En el caso de que el usuario quisiera llevar equipada una unidad de control, aparte del teclado integrado que trae consigo el piloto de rueda, existe un abanico de posibilidades donde elegir y la opción más interesante sería un controlador de piloto automático “AP24”.



Ilustración [32]. Autopiloto AP24.

Se trata de una unidad de control especialmente recomendada para embarcaciones de recreo. Es compacta e idóneo para embarcaciones con espacio limitado y posee un menú intuitivo que hace que aprender cómo utilizar este equipo sea fácil para el usuario.

En el caso del Bavaria 42 de la ULL se puede observar en el panel que se encuentra en frente de la rueda del timón la existencia de varios equipos y un espacio libre destinado para instalación de un equipo como el “AP24” si se deseara. Podemos obsérvalo en la siguiente imagen:



Ilustración [33]. Panel de equipos 1ª. Elaboración propia.

Cabe mencionar que dentro del camarote de este velero se encuentra instalado un Simrad “NSS9 Evo2”. Este equipo es una de las últimas aportaciones de la propia marca que consiste en una pantalla multifunción que permiten al usuario visualizar y controlar una gran variedad de posibilidades relacionadas con los equipos que la embarcación lleva equipada. Combina un chartplotter con posicionamiento GPS integrado, StructureScan*, sonda broadband, control del piloto automático y del AIS dentro de sus muchas otras posibilidades. [14]



Ilustración [34]. Panel de equipos 2ª. Elaboración propia.



Ilustración [35]. Simrad NSS9 Evo2.

*StructureScan 3D: es una función que permite visualizar el terreno que se encuentra debajo en imágenes tridimensionales. Ideales para pescadores y buceadores que quieran reconocer el fondo marino.



Ilustración [36]. Imagen en pantalla StructureScan 3D.

Simrad “NSS Evo2” se puede utilizar vía Wifi excepto la extensión del piloto automático. Motivo, por seguridad, para que no puedan manipularlo por usuarios externos. Con el Simrad “NSS Evo2” instalado a bordo como unidad de control no sería necesaria la instalación extra de un “AP24”. Aunque, una opción altamente recomendable, es llevar como extra, una unidad de control “AP24” para comodidad del usuario que se encuentre a manos del timón y quiera pasar a navegación de viento o con el piloto automático hacia los diferentes waypoints que le marquen sin la necesidad de tener que bajar hasta el camarote.

6.2.4. Resto de equipación.

En cuanto al resto de la equipación relacionada con el gobierno del buque que necesitaría el Bavaria 42 cruiser de la Universidad de la ULL, ya se encontraría instalada a bordo. Todos los sistemas están conectados en la misma red de interfaces NMEA0183 del velero, incluidos los de la marca Raymarine. Esto es posible a que existe un conversor NMEA para los dispositivos de esta marca.

- **Furuno 1724C Radar Chartplotter Navnet X2.** Combina un receptor GPS integrado, un transductor y una función cartográfica electrónica. Esto proporciona al usuario información de las cartas de navegación, posicionamiento radar y visión del fondo marino.



Ilustración [37]. Furuno 1724C.

- **Raymarine ST60 Speed.** Dispositivo que muestra la velocidad actual de la embarcación. Un transductor mide la velocidad del buque y se ve representada en la pantalla.



Ilustración [38]. Raymarine ST60 Speed.

- **Raymarine ST60 Wind.** Dispositivo que indica la dirección y velocidad del viento. Una veleta instalada en el barco en la encargada de proporcionar estos datos.



Ilustración [39]. Raymarine ST60 Wind.

- **Raymarine ST60 Depth.** Dispositivo que indica la profundidad de la embarcación con respecto al fondo marino. Al igual que el chartplotter, un transductor es el encargado de medir la distancia que existe entre la embarcación y el fondo marino.



Ilustración [40]. Raymarine ST60 Depth.

- **Raymarine ST60 Rudder.** Dispositivo que indica el ángulo en el que se encuentra la pala del timón. Esto es posible gracias a un sensor de rumbo o “rudder feedback unit” (realimentación del timón) que se instala cerca del timón y mide la posición actual del timón.



Ilustración [41]. Raymarine ST60 Rudder.

7. Instalación y configuración de los equipos.

A la hora de presentar un equipo, siempre trae consigo un manual de instrucciones que ayuda a la comprensión del propio aparato, como utilizarlo, como instalarlo e incluso como arreglarlo en determinadas averías.

Existen diferentes tipos de manuales que la propia marca del equipo elabora y suministra. Primero está el manual de usuario que va destinado a los compradores, en él se enseña cómo funciona el equipo para aprender a usarlo e incluye, en ocasiones, un apartado de la instalación del propio equipo. En caso de que no lo incluya, quiere decir que existe otro manual, llamado manual de instalación, que nos indicará los pasos a seguir para su correcta instalación. Por último, el manual de operador, este manual va destinado a los profesionales del oficio, donde se dan las especificaciones del propio aparato o como es su funcionamiento interno. Con esto, el operador podría informarse sobre el equipo y repararlo en caso de avería.

Los propios usuarios pueden adquirir e instalar los propios equipos ellos mismos. Pero siempre es recomendable dejarlo en manos de un profesional de este campo que, aparte de realizar el trabajo de instalación adecuado para los equipos, podrá proporcionar asesoramiento al cliente y facilitarle mucho el entendimiento de los aparatos.

En el caso de la pantalla multifunción Evo2 ya instalada en el velero, se quería realizar una simulación de cómo programar el piloto automático para realizar una ruta. Esto no ha sido posible debido a que necesita tener un piloto automático conectado, pero el procedimiento para hacerlo es sencillo. En el menú principal de la pantalla de la multifunción pulsamos en la opción de piloto automático y nos aparecerá esta imagen:



Ilustración [42]. Pantalla autopiloto Simrad Evo2. Elaboración propia.

Posteriormente solo será necesario pulsar en la circunferencia blanca donde pone “Rumbo” para elegir los waypoints de la ruta a seguir y ejecutar la orden. Finalmente el buque comenzaría su navegación bajo el mando del piloto automático hasta los waypoints marcados.

8. Marco legal.

Según la legislación vigente para la náutica de recreo, normas de seguridad y recomendaciones en equipos de seguridad, el ministerio de fomento del gobierno de España cita: [28]

La “Orden FOM/1144/2003 de 28 de abril”, con las modificaciones introducidas por la “Orden FOM/1076/2006, de 29 de marzo”, regula los equipos de seguridad, salvamento, contra incendios, navegación y prevención de vertidos por aguas sucias, que deben llevar a bordo las embarcaciones de recreo.

El ámbito de aplicación comprende todas las embarcaciones de recreo definidas en el artículo 2 del RD 1434/1999, de 10 de septiembre, matriculadas o que se pretendan matricular en España, así como a las embarcaciones de matrícula de otros países que, de conformidad con la legislación vigente, deseen desarrollar una actividad con fines comerciales en aguas marítimas en las que España ejerce soberanía, derechos soberanos o jurisdicción (salvo las exclusiones contempladas en la Orden).

A partir de 12 de agosto de 2003, fecha en la que entró en vigor esta orden:

- *Todas las embarcaciones de recreo que sean matriculadas, están obligadas a llevar a bordo los elementos de seguridad, salvamento, contra incendios, navegación y de prevención de vertidos que les corresponda en función de su Zona de navegación.*
- *Las embarcaciones de recreo ya matriculadas a la entrada en vigor de esta Orden, deberán completar los elementos de seguridad que les falten para cumplir con todos los requisitos que se establecen en la misma.*

Queda excluido de la Orden el equipo de radio-comunicaciones, que deberá seguir cumpliendo con las disposiciones en vigor.

Más en concreto, en la “Orden FOM/1144/2003 de 28 de abril. Capítulo III, Equipo de navegación. Artículo 12. Material náutico” especifica que: [29]

Artículo 12. Material náutico.

1. Las embarcaciones de recreo, deberán disponer del material náutico que se señala en la tabla siguiente, y reunir los requisitos que se indican en el apartado 2, siempre de acuerdo con la Zona de navegación que le 18148 Lunes 12 mayo 2003 BOE núm. 113 haya sido asignada. La relación de la tabla no es limitativa, pudiendo disponerse de elementos que correspondan a Zona de navegación superiores a la suya propia.

<i>Material</i>	<i>Zona de Navegación</i>				<i>Requisitos</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3, 4</i>	<i>5, 6, 7</i>	
---	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3, 4</i>	<i>5, 6, 7</i>	---
<i>Compás</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>		<i>a)</i>
<i>Corredera</i>	<i>1</i>	<i>1</i>			<i>b)</i>
<i>Sextante</i>	<i>1</i>				<i>c)</i>
<i>Cronómetro</i>	<i>1</i>				
<i>Compás de puntas</i>	<i>1</i>	<i>1</i>			
<i>Transportador</i>	<i>1</i>	<i>1</i>			
<i>Regla de 40cm</i>	<i>1</i>	<i>1</i>			
<i>Prismáticos</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>		
<i>Cartas y libros náuticos</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>		<i>d)</i>
<i>Bocina de niebla</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>e)</i>
<i>Barómetro</i>	<i>1</i>	<i>1</i>			
<i>Campana o similar</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>		<i>f)</i>
<i>Pabellón nacional</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	
<i>Código de banderas</i>	<i>1</i>	<i>1</i>			<i>g)</i>
<i>Linterna estanca</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>1</i>		<i>h)</i>
<i>Diario de navegación</i>	<i>1</i>				
<i>Espejo de señales</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	
<i>Reflector de radar</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>		<i>i)</i>
<i>Código de señales</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>j)</i>

Ilustración [43]. Tabla de material náutico. Elaboración propia.

2. Requisitos:

a) Compás.

i. Las embarcaciones que naveguen en las Zonas 1 y 2, deberán llevar un compás de gobierno con iluminación y un compás de marcaciones. Además deberá existir a bordo una tablilla de desvíos que se comprobará cada cinco años.

ii. Las embarcaciones que naveguen en las Zonas 3 y 4 deberán llevar un compás de gobierno.

iii. En todos los casos, se evitarán las acciones perturbadoras sobre el compás, tales como las derivadas de instalaciones radioeléctricas o circuitos eléctricos.

iv. El compás podrá ser el compás magnético o el compás para botes salvavidas regulado en el Anexo A.1 del Real Decreto 809/1999, de 14 de mayo.

b) Corredera. Será de hélice, eléctrica o de presión, con totalizador. Alternativamente se permitirá un Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

c) Sextante. Irá acompañado por las tablas necesarias para una navegación astronómica.

d) Cartas y libros náuticos.

i. Llevarán las cartas que cubran los mares por los que navegue según las respectivas Categorías y los portulanos de los puertos que utilicen.

ii. Son obligatorios el Cuaderno de Faros y un Derrotero de la zona en que naveguen, el Anuario de Mareas (excepto en el Mediterráneo), el Manual de Primeros Auxilios, el Reglamento de Radiocomunicaciones si montan radio y el Código Internacional de Señales, para las navegaciones en la Zona 1.

e) Bocina de niebla. Puede ser a presión manual o sustituible por bocina accionada por gas en recipiente a presión. En este caso, se dispondrá de una membrana y un recipiente de gas como respetos.

f) Campana. En embarcaciones de eslora igual o superior a 15 metros, el peso de la campana será de 5 kilogramos como mínimo. En esloras inferiores a 15 metros, la

campana no es obligatoria pero se deberá disponer de medios para producir algún sonido de manera eficaz.

g) Código de banderas. Deberán poseer como mínimo las banderas C y N. Para la Zona 1, sus dimensiones mínimas serán de 60 x 50 centímetros.

h) Linterna estanca. Se dispondrá de una bombilla y un juego de pilas de respeto.

i) Reflector de Radar. Se colocará en embarcaciones de casco no metálico.

j) Código de señales. Si monta aparatos de radiocomunicaciones.

3. El material a que se refiere el apartado 2, que venga contemplado en el Real Decreto 809/1999, de 14 de mayo, deberá cumplir con los requisitos allí establecidos.

9. Conclusiones:

A la hora de comenzar este Trabajo de Fin de Grado nos encontrábamos ante un tema interesante digno de estudio, pero el conocimiento que poseía sobre éste era limitado y fue necesario buscar mucha información para conseguir adquirir el aprendizaje y contenido necesario para poder elaborarlo.

No cabe duda que el sistema de gobierno de un buque juega un papel de vital importancia a la hora de la navegación. Por ello es necesario que la tripulación encargada de la dirección de la embarcación tenga conocimientos del funcionamiento de todo el sistema y que en caso de emergencia sepan actuar para mantener la situación bajo control.

Otro punto importante son los equipos que debería llevar instalados el buque siguiendo la normativa vigente, puesto que sabiendo cómo trabaja cada uno de ellos, su finalidad y pudiendo operar con ellos, se consigue una navegación mucho más segura, cómoda y eficaz.

Por otro lado, incluso con la seguridad y control que aporta llevar instalado un piloto automático a bordo, esto no evita que sigan produciéndose accidentes marítimos. Esto se debe a que el piloto automático es un sistema de corrección de errores, no de predicción de los mismos pudiendo anticiparse a ellos antes de que se produzcan. Lo que se pretende conseguir en el futuro es que la embarcación sea totalmente autónoma, con la instalación de una serie de sensores y cámaras que permitan al barco actuar ante diferentes situaciones, como detectar otro barco que se encuentre en su rumbo y esquivarlo para evitar una colisión.

Existe un prototipo desarrollado por la Universidad de Buffalo, en Estados Unidos. Se encuentra instalado en un catamarán de 16 pies de eslora que está dando muy buenos resultados, haciendo que sea una realidad cercana la navegación autónoma. [17]

Finalmente, debo nombrar la existencia de una gran variedad de pilotos automáticos que se ajustan a las necesidades de cada buque y son una herramienta, no indispensable en algunas embarcaciones, pero sí relevantes a la hora de navegar en rutas de larga distancia. No cabe duda que sería interesante la instalación de uno de estos autopilotos

en el velero de nuestra Escuela para que los alumnos comiencen sus primeros contactos con la navegación pilotando la embarcación con y sin piloto automático, además de aprender a utilizar todos los dispositivos instalados.

Conclusions:

In the beginning of this Final Degree Project, we were facing an interesting topic worthy of study, but with limited knowledge, hence the necessity to look for broad information to acquire the it and necessary content to be able to elaborate it.

There is no doubt that the system of steering performance plays a central role when sailing. For this reason, it is necessary that the crew responsible for the direction of each boat knows the functioning of the whole system, and how to keep the situation under control in case there is an emergency.

Another relevant point is the equipment that should be installed in the ship, according to current regulations, since through knowing how each of them works, their purpose and how they operate, a much safer, more comfortable and efficient navigation system is achieved.

On the other hand, it must be noted that even with the safety and control provided by having a steering performance installed on board, this does not prevent accidents at sea. The reason is that the steering performance is a system for correcting errors, not for predicting them, this is, it is not able to anticipate accidents before they occur. What is intended to be achieved in the future is that the ship is completely autonomous, with the installation of a series of sensors and cameras that would allow the boat to operate in different situations, such as detecting another ship that is on its course and avoiding it to prevent collision.

There is a prototype developed by the University of Buffalo, in the United States. It has been installed on a 16-foot long catamaran that is giving very good results, making autonomous navigation close to reality.

Finally, we must mention the existence of a wide variety of automatic pilots that adjust to the needs of each vessel and constitute a tool, maybe not essential for some vessels, but definitely relevant when navigating long distance routes. There is no doubt that it would be interesting to install one of these autopilots on our school's sailboat so that students can begin their first contact with navigation by piloting the boat with and without steering performance, as well as learning to use all the installed devices.

10. Bibliografía.

- **Imágenes y tablas:**

Ilustración [1]. Sistemas de gobierno del buque.

<http://foro.todoavante.es/viewtopic.php?f=234&t=4238&start=25>

Ilustración [2]. Sistema de gobierno velero.

[The illustrated boat dictionary in 9 languages : an invaluable visual reference for boating excursions abroad / Vanessa Bird. \(2014\) Editorial: Londres \[etc.\] : Adlard Coles Nautical, 2014.](#)

Ilustración [3]. Diagrama de bloques, gobierno manual.

Elaboración propia.

Ilustración [4]. Diagrama de bloques, gobierno automático.

Elaboración propia.

Ilustración [5]. Diagrama de bloques, gobierno emergencia.

Elaboración propia.

Ilustración [6]. Timón soportado.

<http://ingenieromarino.com/el-timon/>

Ilustración [7]. Timón semisuspendido.

<http://ingenieromarino.com/el-timon/>

Ilustración [8]. Timón colgante.

<http://ingenieromarino.com/el-timon/>

Ilustración [9]. Timón sin compensar.

<http://www.ricepropulsion.com/esp/cartas/TNL60/TNL60SP.htm>

Ilustración [10]. Timón semicompensado.

<http://ingenieromarino.com/el-timon/>

Ilustración [11]. Timón compensado.

<http://ingenieromarino.com/el-timon/>

Ilustración [12]. Diagrama bloques, central hidráulica.

Elaboración propia.

Ilustración [13]. Servotimón buque Ciudad de Zaragoza.

Elaboración propia.

Ilustración [14]. Gobierno de viento, aleta H y V.

Elaboración propia.

Ilustración [15]. Diagrama bloque, autopiloto 1ª.

Elaboración propia.

Ilustración [16]. Diagrama bloque, autopiloto 2ª.

<https://www.nauticaavinyo.com/simrad-op12-controlador-piloto-automatico-6394.html>

Ilustración [17]. Kit Simrad 1ª.

<http://ww2.simrad-yachting.com/es-ES/Productos/Pilotos-Integrados/>

Ilustración [18]. Kit Simrad 2ª.

<http://ww2.simrad-yachting.com/es-ES/Productos/Pilotos-Integrados/>

Ilustración [19]. Kit Simrad 3ª.

<https://www.nauticaavinyo.com/piloto-simrad-nac-3-con-compas-precision-9-y-nmea-2000-6390.html>

Ilustración [20]. Sistema NMEA.

<http://www.navegar.com/wp-content/uploads/2013/10/Red-NMEA-2000.png>

Ilustración [21]. Componentes y conexión NMEA.

<https://www.unioviedo.es/ate/manuel/ESMC-EyA-Bolonia/Conceptos%20basicos%20NMEA%202000-Garmin.pdf>

Ilustración [22]. Velero Universidad de La Laguna.

<https://fg.ull.es/hemeroteca/2016/12/nuevas-rutas-cientificas-a-la-escuela-de-nautica-y-a-la-seccion-de-bellas-artes-de-la-ull/>

Ilustración [23]. Gobierno por cadenas, velero ULL.

Elaboración propia.

Ilustración [24]. Caña del sistema gobierno de emergencia.

Elaboración propia.

Ilustración [25]. Tabla orientativa Simrad.

<http://ww2.simrad-yachting.com/es-ES/Productos/Pilotos-Integrados/Unidad-de-Gobierno/>

Ilustración [26]. Unidad de control “DD15”.

<https://www.waveinn.com/nautica-pesca/simrad-dd15-drive/560301/p>

Ilustración [27]. Rueda del timón, velero ULL.

Elaboración propia.

Ilustración [28]. Autopiloto de rueda.

http://www.chicagomarineelectronics.com/Simrad_Discontinued_Products.htm

Ilustración [29]. Procesador NAC-2 y NAC-3, Simrad.

<http://ww2.simrad-yachting.com/es-ES/Productos/Pilotos-Integrados/Procesador-de-Piloto-Automatico/>

Ilustración [30]. Diagrama de bloques, piloto de rueda 1ª.

<file:///C:/Users/Mou/Downloads/wpes.pdf>

Ilustración [31]. Diagrama de bloques, piloto de rueda 2ª.

<file:///C:/Users/Mou/Downloads/wpes.pdf>

Ilustración [32]. Autopiloto “AP24”.

<http://ww2.simrad-yachting.com/es-ES/Productos/Productos-Descatalogados/AP24-Autopilot-es-es.aspx>

Ilustración [33]. Panel de equipos 1ª.

Elaboración propia.

Ilustración [34]. Panel de equipos 2ª.

Elaboración propia.

Ilustración [35]. Simrad “NSS9 Evo2”.

<http://ww2.simrad-yachting.com/es-ES/Products/NSS-Touchscreen-Navigation/NSS9-evo2-es-es.aspx>

Ilustración [36]. Imagen en pantalla Structure Scan 3D.

<https://www.simrad-yachting.com/simrad/series/structurescan/>

Ilustración [37]. Furuno 1724C.

<http://www.psicompany.com/furuno-1724c-navnet-radar/>

Ilustración [38]. Raymarine ST60 Speed.

<http://www.raymarine.com/view/?id=595>

Ilustración [39]. Raymarine ST60 Wind.

<http://www.raymarine.com/view/?id=595>

Ilustración [40]. Raymarine ST60 Depth.

<http://www.raymarine.com/view/?id=595>

Ilustración [41]. Raymarine ST60 Rudder.

<http://www.raymarine.com/view/?id=595>

Ilustración [42]. Pantalla autopiloto, Simrad Evo2.

Elaboración propia.

Ilustración [43]. Tabla de material náutico.

<https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/2041D85E-8606-402C-8978-40DD6D03F576/17475/ORDENFOM11442003.pdf>

- **Libros de texto y páginas web:**

[1]Libro:

George Newnes, LTD.(1965). Marine Auxiliary Machinery. Londres, UTEHA.

[2] Sistema de Gobierno: Servomotor – Ingeniería Marítima Venezuela:

<http://ingmaritima.blogspot.com/2015/09/sistema-de-gobierno-servomotor.html>

[3] PDF sobre Sistemas de Gobierno del Buque:

centros.uca.es/museo-astronomia-nautica/apuntes/servotimones.pdf

[4] El Timón de un Barco – Ingeniero Marino:

<http://ingenieromarinero.com/el-timon/>

[5] Rueda de timón – Wikipedia, la enciclopedia libre :

https://es.wikipedia.org/wiki/Rueda_de_timón

[6] Puente de Navegación:

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:->

[lxm0ZilQugJ:www.oocities.org/zetaks.geo/puente.htm+&cd=13&hl=es&ct=clnk&gl=es&client=firefox-b-ab](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:-lxm0ZilQugJ:www.oocities.org/zetaks.geo/puente.htm+&cd=13&hl=es&ct=clnk&gl=es&client=firefox-b-ab)

[7] Servosistemas Lineales – Google Libros:

https://books.google.es/books?id=eDAO3m1eV98C&pg=PA37&lpg=PA37&dq=sincro+receptor&source=bl&ots=U8l8tjP5v7&sig=0DQYiA871wkmySfz91mBhv_WqMw&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjPlrXut47WAhWPKFAKHR9lARgQ6AEIODAG#v=onepage&q=sincro%20receptor&f=false

[8]Aplicaciones de la ingeniería: Maquinaria hidráulica en embarcac... - Google Libros:

https://books.google.es/books?id=Dxs7kl5_okYC&pg=PA86&lpg=PA86&dq=central+hidraulica+barco&source=bl&ots=LVojmSPD-n&sig=-JWtoRuloH2gR0iQqOszj9eKJJ4&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjvxM7g1pbaAhVJWBQKHycUDagQ6AEIYZAL#v=onepage&q=central%20hidraulica%20barco&f=false

[9]Caracterización funcional del sistema gobernador, Central hidroeléctrica Francisc...:

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/caracterizacion-funcional-sistema-gobernador-unidade/caracterizacion-funcional-sistema-gobernador-unidade2.shtml>

[10]Náutica de recreo - Marina Mercante - Áreas de actividad - Ministerio de Fomento:

https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/MARINA_MERCANTE/NAUTICA_DE_RECREO/

[11]Concepto de embarcación de recreo – Adquisición de la embarcación – Náutica...:

https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/MARINA_MERCANTE/NAUTICA_DE_RECREO/Titularidad/Concepto_de_embarcacion_de_recreo/

[12]Embarcación de recreo - Wikipedia, la enciclopedia libre:

https://es.wikipedia.org/wiki/Embarcación_de_recreo

[13]Sistemas de pesca profesional e investigación pesquera – Simrad:

<https://www.simrad.com/www/01/NOKBG0237.nsf/AllWeb/CADBCC3F70A5EB2EC125730800300169?OpenDocument>

[14]Simrad Marine Electronics:

<http://ww2.simrad-yachting.com/es-ES/>

[15]Sistemas de piloto automático de Raymarine:

<http://www.raymarine.es/piloto-automatico/>

[16]Piloto automático:

http://www.fondear.org/infonautic/Equipo_y_Usos/Electronica_Instrumentacion/Piloto_Automatico/Piloto_Automatico.htm

[17]Piloto automático inteligente, pilotaje automático:

http://www.fondear.org/infonautic/Equipo_y_Usos/Electronica_Instrumentacion/Piloto_Automatico/Piloto-Automatico-Inteligente.asp

[18]Piloto automático inboard electrónica e instrumentación:

http://www.fondear.org/infonautic/Equipo_y_Usos/Electronica_Instrumentacion/Piloto_Automatico_Inboard/PilotoAutomatico_Inboard.htm

[19]Instrumentación básica Electrónica e Instrumentación:

http://www.fondear.org/infonautic/Equipo_y_Usos/Electronica_Instrumentacion/InstrumentacionBasica/Instrumentacion.htm

[20]Electrónica. Interfaces NMEA:

<http://www.navegar.com/electronica-interfaces-nmea/>

[21]hole_book_sp.PDF:

<http://windpilot.com/n/pdf/bookspa.pdf>

[22]Chartplotter – EcuRed:

<https://www.ecured.cu/Chartplotter>

[23]10 Things to Consider While Using Auto-Pilot System on Ships:

<https://www.marineinsight.com/marine-navigation/10-things-to-consider-while-using-auto-pilot-system-on-ships/>

[24]What is Autopilot, its principle and details?

<http://marinegyaan.com/what-is-autopilot-its-principle-and-details/>

[25]How does autopilot work for ships? – Quora:

<https://www.quora.com/How-does-autopilot-work-for-ships>

[26]Pilotos automáticos, siempre de guardia:

<http://www.nauticayyates.com/equipo/pilotos-automaticos-novedades-siempre-de-guardia/>

[27]Página 76 – N & Y Magazine – Número 9:

<http://www.nauticayyates.com/revistas/nyy9/files/assets/basic-html/index.html#page76>

[28]Equipo obligatorio - Equipos de seguridad - Normas de seguridad y recomendacione...:

https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/MARINA_MERCANTE/NAUTICA_DE_RECREO/Responsabilidades/Equipos_de_seguridad/

[29]BOE 113 de 12/05/2003 Sec 1 Pag 18144 a.18152:

<https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/2041D85E-8606-402C-8978-40DD6D03F576/17475/ORDENFOM11442003.pdf>

[30]WP32:

<http://www.chicagomarineelectronics.com/Simrad%20Documents/Autopilot%20Manuals/WP32%20Issue%201.0.pdf>

❖ Videos de interés:

BOMBAS HIDRÁULICAS (DOCUMENTAL COMPLETO EN CASTELLANO)

<https://www.youtube.com/watch?v=RD4M1M-smwo>

Curso de Hidráulica básica

https://www.youtube.com/watch?v=dd_fbzN4f-4

Funcionamiento del piloto automático de un velero 1ª parte

<https://www.youtube.com/watch?v=B0TT9FeNr7M>

Furuno NavNet 3D - Radar

<https://www.youtube.com/watch?v=B5qHNmLrwXA>