

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

TRABAJO DE FIN DE GRADO.

MARZO 2020

# **BUQUES NO TRIPULADOS**

**ALUMNOS:** WILLIAM PEDRO DEUX CORBO/

JOSE ANGEL SEGUIAS CASTRO

**TUTOR:** ALICIA MARIA PALMA RIVERO

**GRADO:** NAUTICA Y TRANSPORTE MARITIMO



## INDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	5
	ABSTRACT.....	7
II.	OBJETIVOS .....	9
III.	HISTORIA DE LA NAVEGACIÓN.....	11
	3.1. NAVEGACIÓN PRIMITIVA .....	11
	3.2. NAVEGACIÓN ANTIGUA.....	11
	3.3. NAVEGACIÓN MODERNA .....	12
	3.4. NAVEGACIÓN CONTEMPORANEA .....	13
IV.	INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA NAVEGACIÓN.....	17
V.	FUNCIONES LLEVADAS A CABO A BORDO POR LOS OFICIALES. ....	20
	5.1. PLAN DE VIAJE.....	20
	5.2. GUARDIAS DE NAVEGACIÓN .....	20
	5.2.1. CONTROL DE COLISIONES .....	21
	5.2.2. DETECCIÓN DE LOS OBSTACULOS.....	24
	5.2.3. CORRECCIONES .....	25
	5.3. GOBIERNO DEL BUQUE.....	26
	5.4. CAMARA DE MAQUINAS .....	29
	5.5. MONITORIZACION DE LA MAQUINA AUTONOMA (MMA).....	29
	5.6. COMUNICACIONES.....	30
	5.7. ADMINISTRACIÓN.....	33
VI.	LEGISLACIÓN .....	34
	6.1. SOLAS .....	34
	6.2. MARPOL.....	35
	6.3. RIPA.....	35



6.4.	STCW.....	36
6.5.	CONVENIO MARÍTIMO DE LOS TRABAJADORES (MLC 2016).....	37
6.6.	RESPONSABILIDADES .....	37
VII.	FACTOR HUMANO A BORDO DE LOS BUQUES.....	40
7.1.	FATIGA .....	41
7.2.	COMUNICACIONES DEFICIENTES .....	42
7.3.	FALTA DE CONOCIMIENTOS.....	43
7.4.	MAL USO DE LA REGLAMENTACIÓN .....	44
7.5.	INFLUENCIA EN LA SEGURIDAD MARÍTIMA .....	45
VIII.	CONCLUSIONES .....	49
9.1	CONCLUSION.....	50
IX.	BIBLIOGRAFIA .....	52



## TABLA DE IMAGENES

1 EMBARCACIONES PRIMITIVAS.....	11
2 EMBARCIONES A VELA .....	12
3 OCTANTE.....	12
4 BUQUE DEMOLOGOS.....	13
5 BUQUE FRITZ.....	13
6 BLUE RIBAND.....	14
7 AAWA TIMELINE .....	15
8 BRUJULA.....	17
9 RADAR.....	17
10 ECDIS .....	18
11 SISTEMAS CENTRADOS EN LA ESFERA TERRESTRE .....	26
12 SISTEMA SOLIDARIO AL BUQUE.....	27
13 REGLA 5 .....	45
14 ERRORES MAS COMUNES .....	45
15 EFECTO DE LA TECNOLOGIA SOBRE LAS PERSONAS .....	46
16 EFECTO DE LA ORGANIZACIÓN EN LAS PERSONAS.....	47



## I. INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico de los últimos años en cuanto a buques ha sido muy alto, ya que durante más de 5000 años se ha navegado a vela y solo 230 años desde que se empezó a experimentar con máquinas de vapor en buques muy pequeños, tras esa invención se empezó a navegar con máquinas de vapor, ya que era más eficiente y no requería del viento para navegar.

Desde la máquina de vapor, hemos pasado a tener motores de combustión interna los que han hecho que los buques mejoren en cuanto a consumos y a emisiones, durante ese tiempo se han ido automatizando ciertos elementos. Esa automatización poco a poco se ha ido implementando y ha conseguido que las tripulaciones que requieren en un buque sean más pequeñas, ya que no se requiere tanta mano de obra para poderlos llevar a puerto, lo que no sabemos es que pasara cuando no sea requerido nadie para tener que pilotar. La digitalización de los buques está siendo rápidamente adoptada, y ya tenemos proyectos en progreso de buque totalmente autónomos y proyectos en los cuales no se necesita llevar a tripulación a bordo, ya que desde un ordenador pueden monitorizar todo el buque.

En este trabajo daremos un pequeño recorrido por la historia, donde explicaremos el cambio que ha sufrido el factor humano a bordo de los buques y que papel jugaran los marinos mercantes de aquí a un futuro próximo en el que la tripulación vaya mermando hasta ser indispensables en el medio marítimo.





## ABSTRACT

The technological advance of recent years in terms of ships it has been very high, since for more than 5000 years it has sailed to sailing and only 230 years since it began to experiment with steam engines on very small ships, after that invention began to sail with steam engines, as it was more efficient and did not require the wind to sail.

Since steam engine, we have gone on to have internal combustion engines that have made ships improve in terms of consumption and emissions, during that time certain elements have been automated. This automation has gradually been implemented and has made the crews they require in a vessel is be smaller, because it doesn't take as much manpower to be able to take them to port, what we don't know is that it will happen when no one is require to have to sail. The digitization of ships is being rapidly adopted, and we already have fully autonomous ship progress projects and projects in which there is no need to increase crew on board, as from a computer they can monitor the entire vessel.

In this work we will take a small tour of history, where we will explain the change that the human factor has undergone on board the ships and what role the merchant seafarers will play from here to a near future in which the crew will shrink in the maritime environment.







## II. OBJETIVOS

Este trabajo pretende exponer desde el punto de vista del factor humano, la forma en que las personas hemos interactuado con el medio marítimo pretendiendo comparar que puede pasar en un futuro con los buques no tripulados, ya que la tripulación dejaría de estar a bordo en cuanto a buques de carga y tendría que especializarse de manera muy diferente, hoy en día ya existen proyectos y algunos de ellos en estado de pruebas que se pueden controlar desde un ordenador sentados desde la comodidad de tu casa o desde una oficina.

En la investigación llevada a cabo expondremos el factor humano en el medio marítimo y como ha ido progresando a lo largo de la historia, por otra parte, llegados al punto del que queremos enfocarnos que sería la comparativa de los buques tripulados y no tripulados, y expondremos en que afectaría en la legislación vigente.

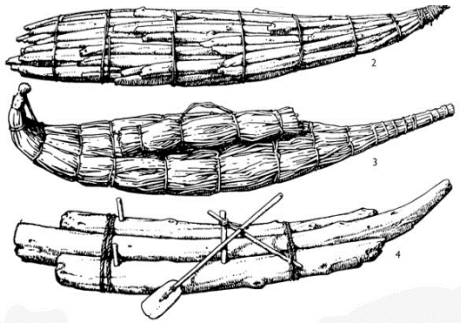


### III. HISTORIA DE LA NAVEGACIÓN

Antes de meternos a fondo en el tema principal del trabajo, de la automatización de los trabajos a bordo hasta el punto de que las personas no son necesarias a bordo de un buque en navegación, parece lógico echar la vista atrás y dar unas breves pinceladas del factor humano a lo largo de la historia de la navegación desde su origen para comprender su evolución. Se verá la inclinación de sustituir los métodos antiguos (fuerza humana o cálculos realizados por personas), por la mecánica y electrónica hasta el presente, donde se impone la automatización. “BREVE HISTORIA DE LA PROPULSIÓN NAVAL” [24]

#### 3.1. NAVEGACIÓN PRIMITIVA

##### 1 EMBARCACIONES PRIMITIVAS



Fuente: <https://xurl.es/xhnjz>

Desde principio de los tiempos el hombre siempre ha intentado buscar nuevos horizontes donde progresar hacia un futuro, eso hizo que se adentrase a cruzar ríos o pequeños lagos en el que el ser humano, empezó a investigar métodos diferentes para cruzar en los que se daba cuenta de que la madera flotaba tras ese descubrimiento empezó a construir embarcaciones en las cuales la eslora estaba limitada a la longitud de los troncos que utilizaba, tras eso se dio cuenta que no solo servían para cruzar, ya que

podía transportar materiales de un punto a otro a mayor velocidad, ya que podía recorrer ríos aprovechando las corrientes y sin demasiado esfuerzo.

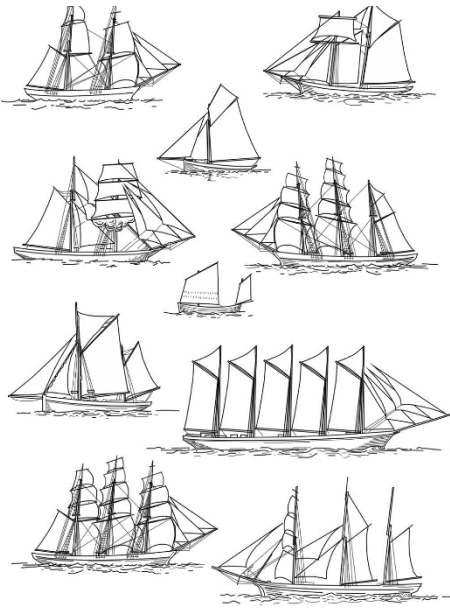
Durante ese tiempo se fueron mejorando las embarcaciones y su forma de construcción hasta llegar a poner pequeñas velas para ayudar a la propulsión, ya que hasta el descubrimiento de la vela se utilizaban remos y corrientes para la navegación, a partir de ese suceso se utilizaron velas para la navegación durante más de 5.000 años. [1]

#### 3.2. NAVEGACIÓN ANTIGUA

En el siglo XVIII se introdujeron mejoras a la construcción naval, en cuanto a sus técnicas, que posibilitaron la incrementación del tamaño y con ello la capacidad de transporte, también mejoraron su maniobrabilidad y velocidad. Algunas de estas mejoras como no puede ser de otra manera, fueron con fines bélicos, ya que leyendo un poco de historia es fácil de deducir



## 2 EMBARCIONES A VELA



que las mejores investigaciones y no podría de ser de otra manera en el mundo marítimo también se incluían en ello.

Un elemento que mejoró la navegación fue la rueda de timón que permitía la transmisión desde la cubierta a la pala del timón el movimiento deseado que era necesario para maniobrar lo que hacía que fuese más cómodo y seguro maniobrar las embarcaciones, otros avances que se realizaron fue la maniobrabilidad, la velocidad, el rendimiento del aparejo y la capacidad del casco, principalmente a finales del siglo XVII y principios del XIX.

Fuente: <https://xurl.es/0ebnm>

En ese mismo siglo se realizan los primeros planos de los buques y diferentes cálculos. Tras el descubrimiento del cronómetro y del octante, que permitieron determinar la posición en longitud y latitud, desarrollando nuevas técnicas para la navegación. Gracias a estos inventos mejora la cartografía por la realización de exploraciones y viajes para la investigación.

## 3 OCTANTE



Fuente: <https://xurl.es/d8qkq>

### 3.3. NAVEGACIÓN MODERNA

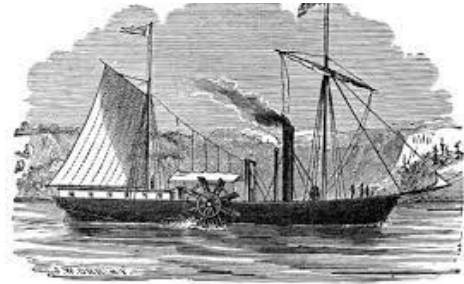
Desde principios del siglo XVII empezaron los primeros prototipos de la máquina de vapor para el uso terrestre, pero la máquina que realmente revolucionó el mundo no apareció hasta finales del siglo XVIII, concretamente en 1769 cuando James Watt, basado en los estudios de Thomas Newcomen y Savery, el cual fue el primer motor a vapor con cámara de condensación externa de uso práctico.

Pero no fue hasta 1803 donde Robert Fulton le escribió a James Watts, solicitándole la construcción de una máquina a vapor a partir de sus planos, aunque no fue hasta 1806 donde se fabricó el primer barco de vapor a paletas comercialmente fiable. Y Fulton lo patentó en



1809, y diseñó el primer barco de guerra impulsado a vapor, al que llamo Demologos, aunque no llegó a ver su obra finalizada, y la terminaron bautizando Fulton the first. [3] [4]

4 BUQUE DEMOLOGOS



Fuente: <https://xurl.es/ui6d3>

### 3.4. NAVEGACIÓN CONTEMPORANEA

En 1853 con la invención del motor a combustión interna, una revolución para todas las industrias el inicio de estos motores fue la aplicación en motores fuera de borda, ya que los motores en aquel momento no podían comenzar desde parado y en el medio marino no sufren ese problema, ya que las hélices quedan libres de un momento de inercia significativo. Pero, no fue hasta comienzos del siglo XX que los motores de combustión se perfeccionaron para poder ser viables.

5 BUQUE FRITZ



Fuente: <https://xurl.es/qz6av>

En 1903 el buque petrolero fluvial Vandal fue el que dio pie a la utilización de los motores Diesel en el mundo marítimo, en 1915 el buque alemán Fritz fue el primer buque mercante en utilizar este tipo de motores. En ese momento, también progresaba la turbina a gas que conseguía unas velocidades mayores y autonomía, aunque no fueron muy adoptadas en aquel momento. Por su parte en los buques de guerra fue muy bien aceptada la utilización

de las turbinas por la mayor velocidad. [5] [6]

En esta época, con el avance de los motores, además avanzó la construcción de los buques, puesto que así lo requerían para una mayor capacidad de transporte y por aquel entonces prosperaban los buques transatlánticos por tener una mayor velocidad y autonomía gracias a los motores Diesel, en lo que antes tardaban en cruzar semanas el atlántico, apenas tardaban días. En ese momento, puesto que transcurría la Primera Guerra Mundial fueron muy importantes los buques transatlánticos por la inmigración de Europa hacia América.



Desde ese momento hasta ahora el diseño ha avanzado muchísimo y se ha innovado hacia buques de alta velocidad los cuales aún siguen utilizando motores diésel en su mayoría, lo innovador de estos buques es su sistema de propulsión, ya que no utilizan hélices convencionales si no que emplean una tobera en la que en su interior se encuentra una hélice que impulsa el agua que es canalizada hacia la popa del buque, y mediante una cuchara controlando el movimiento longitudinal y la tobera el movimiento transversal, consiguen maniobrar el buque. Este sistema de propulsión se utiliza en buques multicasco, los mas implementados hoy en día son los trimaranes y catamaranes, que consiguen unas velocidades altas en comparación a los buques convencionales.[7] [8]

#### 6 BLUE RIBAND



Fuente: <https://xurl.es/6oq7y>

Hoy en día también se utilizan motores Diesel-eléctrico, puesto que en el MARPOL<sup>1</sup>, cada día son más exigentes en este convenio para reducir los gases expulsados por los buques, también se comienzan a utilizar placas solares para aprovechar la energía del sol. Por otra parte, empiezan a imponerse las turbinas de gas por su menor expulsión de gases contaminantes.

Desde el 2016, cuando Rolls Royce lanzo AAWA<sup>2</sup> en el Simposio Tecnológico de buques autónomos en que leyendo entre líneas da entender una visión de proyecto sobre buques autónomos, que es realidad desde finales del año 2017.[9]

---

<sup>1</sup> El Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los Buque

<sup>2</sup> Autonomous Waterborne Applications Initiative



7 AAWA TIMELINE



Fuente: <https://xurl.es/x5def>





## IV. INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA NAVEGACIÓN

A lo largo de la historia han sido muchos los instrumentos utilizados para la navegación pasando desde los Fenicios donde solo utilizaban el Sol y la Estrella Polar para navegar por alta mar hasta nuestros días donde los avances tecnológicos facilitan muchísimo el trabajo.

### 8 BRUJULA



Fuente: <https://xurl.es/b0ni3>

La brújula fue uno de los primeros instrumentos utilizados, cuya función era marcar el norte magnético, con la cual determinaban la dirección que seguían. Por otra parte, en la misma época se avanzaban con las técnicas astronómicas tales como el astrolabio, la ballestilla o el sextante, y se progresa en la cartografía con los portulanos. El descubrimiento del taxímetro, el cual ayudo a poder determinar la posición de los buques

que navegaban en navegaciones costeras, junto a este invento llego la corredera que era utilizada para medir la velocidad del buque con relación al agua y la sonda para medir profundidades. Uno de los instrumentos más importantes durante esa fase, era el cronómetro que era utilizado para determinar con gran precisión la hora.

A finales del siglo XX, tras la Segunda Guerra Mundial, empezaron a aparecer herramientas electrónicas que implicaron un cambio radical para las técnicas de navegación conocidas hasta entonces. Además de los ya citados anteriormente corredera y sonda que pasaron a ser controladas electrónicamente.

Entre estos nuevos avances se encontraba el radar que funciona mediante la emisión de pulsos que son reflejados por los objetos, y esta recepción de impulsos mediante una antena son reflejados en una pantalla en la cual se determinan la demora y la distancia de los objetos a su alrededor. Otra ayuda, para la navegación fue el Decca y el Loran que mediante estaciones costeras y un receptor abordo se determinaba la posición, con la llegada del GPS<sup>3</sup> y el GLONASS, el Decca y el Loran cayeron en desuso porque

### 9 RADAR



Fuente: <https://xurl.es/ge9i4>

<sup>3</sup> Global Positioning System



no eran tan precisos como estos, ya que, para determinar la posición utilizan señales digitales emitidas desde varios satélites situados en órbita baja.

10 ECDIS



Actualmente, muchos barcos están dando el salto a las cartas electrónicas (ECDIS<sup>4</sup>), que junto al GPS y el radar es una herramienta muy útil, ya que en cuestión de segundos sabes dónde está posicionado el buque. [10]

Fuente: <https://xurl.es/aspvq>

---

<sup>4</sup> Electronic Chart Display and Information System





## V. FUNCIONES LLEVADAS A CABO A BORDO POR LOS OFICIALES.

En este apartado veremos cómo son llevadas a cabo las funciones hoy en día, y las compararemos de como serian en los buques no tripulados.

### 5.1. PLAN DE VIAJE

Antes de iniciar cualquier tipo de navegación se debe confeccionar un plan de viaje y normalmente los oficiales son los responsables de elaborarlo supervisado por el capitán.

En cuanto a la preparación del viaje de un buque autónomo el plan debe de realizarse de atraque a atraque y también debe cubrir el tránsito oceánico, la navegación costera y la navegación con tripulación en las entradas y salidas de puerto. El plan de viaje es elaborado en estaciones costeras por oficiales con experiencia en la mar y posteriormente se cargan en el software del buque.

Entre los datos que deben figurar tanto en navegaciones con tripulación como sin ella son:

Las características del buque (La estabilidad, el calado, equipamiento, maniobrabilidad y restricciones), la naturaleza de la carga, la distribución del peso y datos sobre su estiba. También incluye una serie de documentos actualizados, certificados y publicaciones náuticas. Y se deben incluir los avisos náuticos por radio y partes meteorológicos. Por otra parte, se deben también tener en cuenta requisitos para entrar y salir de puerto considerando la ruta que se va a seguir. “Sara Portela Folgar, (2018) “BUQUES AUTÓNOMOS. EVOLUCIÓN TÉCNICA Y RETOS A SUPERAR PARA ALCANZAR LA NAVEGACIÓN AUTÓNOMA” [21]

### 5.2. GUARDIAS DE NAVEGACIÓN

Una buena vigilancia es obligatoria, ya que es la principal fuente de información durante la guardia para los marinos. Por tanto, deberá permanecer siempre atento a su entorno con ayuda de medios que le sean necesarios y adecuados para la situación como elementos visuales y técnicos; estando siempre a la escucha de los distintos canales de radio, estar atentos deñ estado del tráfico y llevando un seguimiento de las posiciones del buque por medios de navegación costera o celeste si fuera posible, a parte del uso del GPS y ECDIS. Además de las labores de vigía, los oficiales están obligados a supervisar el funcionamiento de los aparatos de



navegación, estar atentos a las alarmas del buque y deberá seguir siempre las normativas de los convenios internacionales de la OMI (SOLAS, COLREG, STCW, MARPOL...).

Las funciones anteriormente citadas en cuanto a un buque autónomo pasan a manos del módulo de sensores que lleva a bordo el buque, de manera que las tareas se subdividen en varios procesos de control de parámetros enviados por los sensores del buque, y por tanto el sistema decida sobre esos datos la realización de las medidas necesarias para llevar el buque a buen puerto. Aunque también habría excepciones en la que la toma de decisiones sea tomada por la estación o estaciones que controle el buque y las comunicaciones de voz por radio que siempre serán directamente entre el puesto de control y otra estación (reportes de llegada y salida, partes meteorológicos, etc).

Por ejemplo, el control de la situación meteorológica presente. Se divide en distintos sistemas de recolección de datos tales como cámaras, pluviómetro, termómetro, barómetro, medidores de fuerza y dirección del viento y del mar, altura de ola, humedad, batimetría, visibilidad y otros. Al final cada aparato de medida centraliza los datos en el sistema de control que los superpone y envía los datos tanto al sistema de navegación como a la estación costera para poder verificar y tomar decisiones sobre los datos recogidos. “Sara Portela Folgar, (2018) “BUQUES AUTÓNOMOS. EVOLUCIÓN TÉCNICA Y RETOS A SUPERAR PARA ALCANZAR LA NAVEGACIÓN AUTÓNOMA” [21]

### 5.2.1. CONTROL DE COLISIONES

Para navegar de acuerdo con el RIPA (COLREG) y evitar situaciones comprometidas de posibles colisiones, es necesario mantener una vigilancia continua del tráfico que rodea al buque. Tanto un buque con tripulación a bordo como el buque autónomo deberán recopilar la información sobre el entorno, y sobre esos datos tomar las decisiones oportunas para evitar las colisiones. Además del RIPA se debe actuar conforme a los convenios STCW, SOLAS, BPG y Código IS.

Es primordial saber con exactitud la posición, movimiento y comportamiento del buque en una carta electrónica o papel, como también es necesario agrupar toda la información relativa a la labor de vigilancia.

En cuanto a buques autónomos, todos los objetos que los rodean son monitorizados, buques, boyas y otras ayudas a la navegación; de ellos se predice su movimiento y se evalúa para predecir una posible situación en la que se dé alcance. Es la estación costera la encargada de



fijar unos parámetros de acuerdo con los diferentes convenios y una vez sobrepasados, el software del buque actuará en consecuencia de una manera adecuada teniendo en cuenta la situación de visibilidad y la capacidad de maniobra del buque, y siempre con la vigilancia de las diferentes acciones en la estación en tierra. Normalmente se le plantearán a la estación costera varias soluciones posibles teniendo en cuenta las posibles maniobras del buque con el que se está evitando colisionar y el entorno que los rodea. Y mostrara la simulación de la situación para cada posible maniobra y la estación costera dará el visto bueno a la más adecuada, según la situación, aunque el sistema de software que lleva integrado tambien es posible que tenga la posibilidad de decidir de manera autónoma por si se un operador no lo pudiera supervisar, o éste considerase que no hace falta cambiar nada ya que la elección de la maniobra hecha por el buque sea la más apropiada. En este caso si se diera el operario simplemente supervisaría que la maniobra se llevase a cabo sin necesidad de hacer ninguna intervención. “Sara Portela Folgar, (2018) “BUQUES AUTÓNOMOS. EVOLUCIÓN TÉCNICA Y RETOS A SUPERAR PARA ALCANZAR LA NAVEGACIÓN AUTÓNOMA” [21]

En caso de que el otro buque que este en esta situación no cumpla con la normativa expuesta en el RIPA el buque autónomo notificara a la estación de control en tierra ya que, según los casos anteriormente cargados en el sistema, no podría interpretar la situación para dar una respuesta adecuada a la situación, y por tanto los parámetros sobre los que trabaja el sistema se verían alterados, aunque en un futuro podría aprender de estas diferentes situaciones mediante la IA. Podría ser este el caso en que otro buque se encuentre averiado o en el caso de un buque, por otra parte, el buque autónomo podría tratar estos casos como si fuese un obstáculo, prediciendo el movimiento de este mismo y dejándolo atrás en su paso.

Para que el buque sea capaz de reconocer este tipo de situaciones y sepa de qué manera actuar, en eso entra en juego el módulo avanzado de sensores. Estos sensores lo que hacen es enviarle los datos al ordenador de a bordo que mediante la fusión de esos datos crea una imagen virtual a tiempo real de los alrededores del buque. Los datos de estos sensores pueden ser la posición, rumbo, velocidad y demás datos relevantes para la navegación.

Entre los sensores encargados de recoger información del entorno, podemos encontrar el ARPA que muestra la posición y movimiento relativos de los objetos, el AIS que es un sistema por radio frecuencia en la que los distintos buques aportan datos importantes de sus características, rumbo, velocidad y distinta información valiosa para la seguridad, el NAVTEX en el cual se



reciben avisos meteorológicos, avisos SAR y otros tantos avisos. “Sara Portela Folgar, (2018) “BUQUES AUTÓNOMOS. EVOLUCIÓN TÉCNICA Y RETOS A SUPERAR PARA ALCANZAR LA NAVEGACIÓN AUTÓNOMA” [21]

#### *5.2.1.1. EL RADAR (ARPA)*

Actualmente utilizado, trabaja en las bandas X y S las cuales, están quedando algo anticuadas y que según en qué situación de tráfico o cerca de las costas tienden a dar falsos ecos y dar malas interpretaciones de las circunstancias. En este momento se están desarrollando nuevas bandas de frecuencias para poder cubrir estas carencias, como son las bandas KA y W que en zonas portuarias o de gran volumen de tráfico, disminuyen el ruido y los falsos ecos. Todo esto se consigue gracias a mejorar la resolución de las distancias lineales y angulares mejorando la imagen en las situaciones de proximidad con otros buques y a tierra.

#### *5.2.1.2. AIS*

El uso del AIS, lleva a cabo la monitorización, identificación y localización que es recibida de otro buque que cuente con el sistema AIS. Tomando en cuenta el modelo con que se cuente, emitirá cada 2-10 segundos, 3 minutos o 6 minutos. Los mensajes que emite este sistema están compuestos por en el número IMO Y MMSI, nombre del buque, tipo de buque, sus dimensiones, puerto de recalada, ETA, posición, rumbo y velocidad, calado, número de tripulantes, etc. Este sistema está capacitado para almacenar hasta 500 entradas transmitiendo de manera simultánea la información de varios buques, hay que tener en cuenta que el sistema está capacitado para discriminar la información que le llega de emisores AIS que se encuentran más alejados de la posición del buque en cuestión. “Sara Portela Folgar, (2018) “BUQUES AUTÓNOMOS. EVOLUCIÓN TÉCNICA Y RETOS A SUPERAR PARA ALCANZAR LA NAVEGACIÓN AUTÓNOMA” [21]

#### *5.2.1.3. NAVTEX*

En cuanto al sistema de navegación NAVTEX transmite información no estandarizada, razón por la cual es la estación costera la que debe recibir, revisar y enviar la información que considere relevante al sistema del buque cuando realice la labor de navegación. Una de las ventajas de utilizar este sistema es que una vez que se haya revisado la información en la estación costera puede emitir mensajes no solo a un buque sino a todos los buques que estén bajo su control.

Los datos recibidos de los diferentes sistemas de navegación van a ser muy útiles a la hora de hacer una carta de navegación electrónica donde figuran las mareas, sonda y visibilidad.



Cuando se hace un compendio de todos los datos nace la carta electrónica avanzada donde se plasman los diferentes peligros y avisos que se producen en la zona, posibilitando además la realización de un modelo tridimensional que hace que se tenga una mejor perspectiva del espacio en el que se está trabajando.

El fin primordial de los diferentes sistemas de gestión de datos es recopilar, analizar y mostrar de manera fácil y rápida un enfoque del momento en tiempo real y visualizar el futuro inmediato para poder tomar las decisiones más convenientes y acertadas. Todos los datos recogidos por los diferentes sensores son mezclados, comparados y complementados unos con otros dando como resultado un único sistema de gran calidad donde se han descartado los datos no relevantes y minimizado al máximo el número de errores.

### 5.2.2. DETECCIÓN DE LOS OBSTACULOS

Hay un grupo de sensores cuya función es captar información del entorno dentro del propio buque, que no depende de información del exterior, es llamado módulo de conocimiento situacional que no solo conecta a la multitud de sensores, sino que también ajusta la cantidad de información que necesita cada uno de los sensores y contribuye a conseguir una transmisión de calidad utilizando solo la memoria mínima imprescindible.

La tarea de segregación de datos permite diferenciar los significativos de los que no lo son. Primeramente se clasifican las diversas imágenes, se diferencia lo que es ruido de fondo aplicando algoritmos que ayudan a resaltar aquellos bits que sean más repetitivos o que se vean de manera más clara, un ejemplo de ello lo tenemos en una imagen captada por una cámara, el software deberá estar capacitado para diferenciar en un mismo escenario tres partes uno compuesto por el mar en la parte baja, otro el objeto enfocado en la parte media y otro en la parte superior el cielo. Dándole al sistema elementos que puedan ayudar a segregarse los diferentes datos es como se logra dar la autonomía para conseguir realizar la filtración de datos.

En conclusión, podemos decir que el sistema de sensores trabaja en combinación con el RADAR, GPS, AIS y ECDIS con la finalidad de hacer más fácil la labor de discriminación a partir de datos concretados previamente por estos sistemas y con objetos fijados con anterioridad. [13]

Los diversos sensores del módulo del conocimiento situacional incluyen instrumentos de medición meteorológica, sensores auditivos y de imagen, entre los que podemos destacar las cámaras y el LIDAR.





### 5.2.2.1. LIDAR

EL LIDAR es un instrumento de escáner láser que aporta detalles muy precisos de distancias. Esta tecnología es la utilizada por la compañía Google en sus coches autónomos y utiliza un mapa 3D de los alrededores.

Los modelos de representación por cuadrículas son los más utilizados y con mejores resultados cuando se quieren representar blancos procesados por el sistema, existen dos posibilidades de cuadrículas de ocupación que se generan a medida que el blanco avanza y cuadrículas de altura que representan los datos en varias capas. No podemos olvidar la ya nombrada y explicada con anterioridad la carta electrónica avanzada que cuenta con datos representados en 3D y avisos resaltados.

### 5.2.3. CORRECCIONES

Los diferentes sensores y el mismo procesador del software de navegación autónoma es posible que se puedan cometer erratas o imprecisiones por errores adquiridos, como consecuencia de problemas de fábrica, desviaciones de alineación de sus partes (óptica o sonido), negligencias externas o ya sea por sus ineludibles limitaciones. Con la finalidad de proporcionar más exactitud en los datos son combinados el software de navegación autónoma con un sónar doppler inercial, complementado con un grupo de giróscopos y acelerómetros.

El software de corrección usa un modelo matricial donde se incorporan los errores de velocidad, posición y de ejecución y son combinados con se otra representación matricial de los giróscopos y acelerómetros para realizar las diferentes correcciones de errores.

El filtro de Kalman, es el usado para descartar los errores que se calculan en la matriz, el cual es capaz de predecir errores a partir de la unión de ecuaciones gaussianas utilizadas para tejer un compendio de ecuaciones que hacen posible pronosticar los errores.

En la culminación de una simulación fueron obtenidos los siguientes datos: El giróscopo tiene la capacidad de localizar ruido de fondo con valor de 40 grados a la hora y variaciones de 360 grados a la hora. El acelerómetro recoge un desvío de 2 megas y un ruido de fondo de igual magnitud. Por otro lado, se obtienen los datos de las inercias producidas por los balances y otros movimientos del buque.

Al finalizar las diferentes experimentaciones con los filtros informáticos se notó una mejora en la calidad de las imágenes y datos de los sensores, con lo que se logra una inmejorable contribución al software de navegación autónoma. “Sara Portela Folgar, (2018) “BUQUES



AUTÓNOMOS. EVOLUCIÓN TÉCNICA Y RETOS A SUPERAR PARA ALCANZAR LA NAVEGACIÓN AUTÓNOMA” [21]

### 5.3. GOBIERNO DEL BUQUE

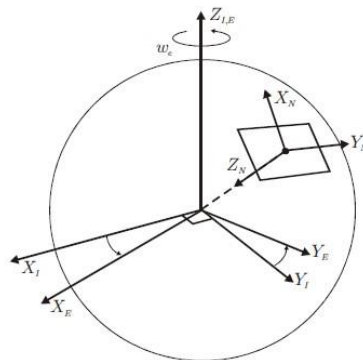
El oficial de guardia debe estar preparado para que en cualquier circunstancia pueda prever la respuesta que va a proporcionar el buque ante un imprevisto. Los conocimientos y la capacidad con que cuente el oficial a la hora de maniobrar el barco y a utilización de los datos de las condiciones externas, van a ser determinantes en el momento de realizar la maniobra y en el éxito o no de la misma.

Sin lugar a dudas para realizar una maniobra con éxito utilizando el sistema de navegación autónoma hay que tomar en cuenta que se va a enmarcar dentro de los parámetros marcados por el plan inicial de viaje, además de tener en cuenta la situación del buque y la organización de los datos que serán necesarios, el sistema los subdivide en dos tipos: en primer lugar la recolección de datos relacionados con la situación interna del buque, esfuerzos y régimen de la máquina; y en segundo lugar los parámetros de flotabilidad y estabilidad. Para llevar a cabo esta faena son utilizadas dos equipos computarizados para que resuelvan y puedan decidir la manera más efectiva de maniobrar el barco.

Para establecer la relación de los datos se va a realizar un esquema de subdivisión en forma de árbol con ramas que van a ir nutriendo al sistema principal que es el encargado de establecer las relaciones entre ellos, y que tiene la capacidad de decisión.

Después de conocer los diversos condicionantes internos y externos del barco, el trabajo del software de navegación autónoma va a consistir en la navegación del mismo, por lo que se ha creado un modelo matemático que va a ayudar a que un buque sea guiado de manera autónoma. Para llevar a cabo la navegación autónoma es necesario establecer sistemas de referencia para situar el buque en el espacio terrestre, para este fin se utilizan dos sistemas de referencia con

#### 11 SISTEMAS CENTRADOS EN LA ESFERA TERRESTRE



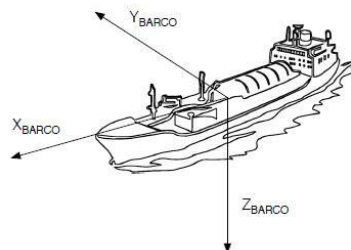
Fuente: <https://xurl.es/piky3>



origen en el centro de la tierra y otros dos con referencia el centro del buque: “Fernando J. Pereda Garcimartín, (2011), Guiado navegación y control de una flota de barcos autónomos” [13]

- Earth-Centered Inercial (ECI) Realmente este es el único sistema de referencia inercial. En la figura el sistema de referencia ECI tiene subíndice I.
  - $O_{ECI}$  es el centro de la Tierra.
  - $X_{ECI}$  está contenido en el plano ecuatorial y apunta al equinoccio de verano. El punto de corte entre el plano eclíptico y el ecuatorial.
  - $Z_{ECI}$  tiene la misma velocidad angular terrestre y apunta al Norte.
  - $Y_{ECI}$  definido de tal forma que complete la triada.
  
- Earth-Centered Earth-Fixed (ECEF) Es un sistema de referencia con el mismo origen que el sistema ECI, pero que rota con la Tierra. En la figura este sistema de referencia se indica con subíndice E. Este sistema de referencia, en la práctica, puede considerarse inercial para la navegación de barcos.
  - $O_{ECEF}$  es el centro de la Tierra.
  - $X_{ECEF}$  interseca la esfera terrestre en el punto de latitud  $0^\circ$  y longitud  $0^\circ$ .
  - $Z_{ECEF}$  apunta al Norte.
  - $Y_{ECEF}$  definido de tal forma que complete la triada.
  
- North-East-Down (NED) El sistema de referencia representa a un plano tangente a la superficie de la Tierra. Al igual que con el sistema ECEF, el sistema puede considerarse inercial para la navegación marítima. En la figura este sistema de referencia aparece con subíndice N.
  - $O_{NED}$  es algún punto en la superficie de la Tierra.
  - $X_{NED}$  apunta al Norte.
  - $Y_{NED}$  apunta al Este.
  - $Z_{NED}$  apunta hacia el centro de la Tierra.

#### 12 SISTEMA SOLIDARIO AL BUQUE



Fuente: <https://xurl.es/piky3>

- Sistema solidario al barco, con origen en su centro de masas. Representado en la figura.



- $O_{\text{BARCO}}$  es el centro de masas del barco.
- $X_{\text{BARCO}}$  es longitudinal al barco. Tiene la misma dirección que el eje popa-proa y sentido hacia proa. La rotación sobre este eje se denomina escora ( $\varphi$ , en inglés roll).
- $Y_{\text{BARCO}}$  es transversal al barco. Tiene la misma dirección que el eje babor-estribor y sentido hacia estribor. La rotación sobre este eje se denomina cabeceo ( $\theta$ , en inglés pitch).
- $Z_{\text{BARCO}}$  apunta hacia abajo, de forma que completa la triada. La rotación sobre este eje se denomina guiñada.

Una vez establecidos los sistemas de referencia podemos pasar a modelar, los modelos que vamos a utilizar. El sistema a modelar consta del agua que rodea al barco y al propio barco. El modelo completo de un barco consta del movimiento en sus 6 grados de libertad; sin embargo, para estudiar maniobras horizontales se puede utilizar un modelo reducido en 3 grados de libertad. Los cuales se dividen en dos tipos

- **Modelo cinemático:** El modelo de maniobra solo considera 3 grados de libertad: la posición del barco en el sistema de referencia NED y su orientación (ángulo con respecto al Norte). La relación entre los sistemas de referencia barco y NED se puede expresar de la siguiente forma,

$$\dot{\eta} = \mathbf{R}(\psi)\mathbf{v}$$

Donde se identifican los siguientes elementos:

- $\eta$ , es la posición y orientación del barco en el sistema de referencia de navegación NED.
  - $\mathbf{v}$ , son las velocidades en ejes BARCO y la velocidad angular del sistema de referencia BARCO frente a NED. Es decir,  $u$  es la dirección de avance,  $v$  la velocidad de deriva y  $r$  la velocidad angular del barco.
  - $\mathbf{R}$ , es la matriz de rotación del sistema de referencia BARCO al sistema de referencia NED. Esta matriz representa una rotación alrededor del eje D del sistema.
- **Modelo dinámico:** La siguiente ecuación describe el movimiento de 3 grados de libertad del barco:

$$\mathbf{M}\dot{\mathbf{v}} + \mathbf{C}(\mathbf{v})\mathbf{v} + \mathbf{D}(\mathbf{v})\mathbf{v} = \boldsymbol{\tau}_{\text{prop}} + \mathbf{R}(\psi)^T \boldsymbol{\tau}_{\text{pert}}$$

Donde los diferentes términos son:

- $\mathbf{M}$  es la matriz de masas e inercia del barco así como las masas y momentos añadidos debido al agua que desplaza el barco a medida que se mueve en ella. A bajas velocidades esta matriz es simétrica y, además,  $\mathbf{M} = \mathbf{M}^T > 0$ . A altas velocidades, es posible hacer que esta matriz lo sea utilizando realimentación de la aceleración.
- $\mathbf{C}(\mathbf{v})$  representa las fuerzas centrífugas y de Coriolis que actúan en el barco. Es importante hacer notar que estas fuerzas no hacen trabajo sobre el sistema. No obstante, el término aparece porque el modelo dinámico está



desarrollado en el sistema de referencia BARCO, que no es inercial y rota con respecto a NED.

- $D(v)$  es la matriz de fuerzas y momentos hidrodinámicos. De forma general, se tiene que  $D(v) > 0 \forall v \neq 0$  por ser una matriz de amortiguamiento.
- $\tau_{prop}$  es el vector de fuerzas y momentos ejercidos por el sistema de propulsión del barco. Según sea el tipo de sistema de propulsión, este vector se modelará de distinta forma.
- $\tau_{pert}$  es el vector de fuerzas y momentos ejercidos sobre el sistema debidas a elementos ambientales como viento y corriente. Se asume que las fuerzas están representadas en el sistema de referencia NED, es por esto que en el modelo, va multiplicado por  $R(\psi)T$ . [13]

#### 5.4. CAMARA DE MAQUINAS

En cuanto a la cámara de máquinas, los oficiales encargados de la maquina deberán de estar de guardia, llevando a cabo la lectura de datos sobre los sistemas de propulsión, los sistemas hidráulicos de gobierno e irán informando al puente ante cualquier fallo o ajuste que vayan a hacer para dar conocimiento sobre la maniobrabilidad del buque, y demás decisiones sobre entradas a puertos o salidas de puerto ya que sin el sistema en funcionamiento el buque no puede funcionar.

Cuando hablamos del buque autónomo deberemos hablar de los datos sobre la máquina del buque y por supuesto del sistema de gestión de datos del software de navegación autónoma podemos decir que los subdividimos en dos categorías con la finalidad de poder organizar el origen de los datos. Los datos que surgen de órdenes dadas de puente a la maquina (datos para arrancar los equipos; motor principal, los auxiliares, bomba de achique, de lastre o de agua, así como también datos u ordenes empleadas para determinar el ángulo de metida del timón o la velocidad) son las que forman parte de la primera categoría y los datos registrados por la máquina que recibe el puente (datos de temperatura, presiones o niveles que el motor compensa o monitoriza y los utilizados por el sistema de navegación para escoger la manera más eficiente de actuar ) va a configurar la segunda categoría.

#### 5.5. MONITORIZACION DE LA MAQUINA AUTONOMA (MMA)

El sistema MMA es un sistema de control autónomo para maquinaria marina que funciona en todos sus componentes y actúa como traductor y mensajero para estaciones terrestres en tierra. Sus tareas principales son la supervisión automática de la máquina y la gestión de emergencias. Estas funciones requerirán acceso al ordenador desde el que el sistema de navegación autónomo y sus sensores son controlados.



En una situación de emergencia, se incluirán fallas en el control del sistema computarizado, y este estará preparada para que si se pierde el control de cualquier componente, se desactivarán los componentes necesario para reducir el daño que ese componente puede causar a otros.

El modelo diseñado para el proyecto MUNIN propone garantizar un equilibrio energético sostenible, teniendo en cuenta las necesidades del barco en sí, el consumo de generadores diésel y la eficiencia del grupo electrógeno diésel, y los parámetros operativos óptimos de los productores de energía de la cabina de la computadora. Recuperación de calor. El prototipo pretende funcionar durante 500 horas sin intervención humana. [12] “Sara Portela Folgar, (2018) “BUQUES AUTÓNOMOS. EVOLUCIÓN TÉCNICA Y RETOS A SUPERAR PARA ALCANZAR LA NAVEGACIÓN AUTÓNOMA” [21]

## 5.6. COMUNICACIONES

En cuanto, a las comunicaciones el oficial de guardia será el encargado de que los equipos de comunicación estén bien sintonizados para recibir los diferentes avisos, y mantener una buena comunicación con las estaciones costeras y buques que se encuentren a su alrededor, y se mantendrá a la escucha a los canales de emergencia etc.

Las comunicaciones de un buque se podrían clasificar en dos categorías, tomando en cuentas los diferentes canales de comunicación que se usan, que nos ayudan a determinar cuál es el grado de automatización que poseen, o cuales son los sistemas apropiados a utilizar que sean compatibles entre sí y poder implantar con éxito el sistema de navegación autónomo. Por un lado, tenemos la comunicación interna dentro del buque, que puede ser producida simplemente por algún tipo de hardware que cuente con dispositivos de luz o sonido, entre los que podemos contar tales como una alarma, un teléfono de línea interna o el propio telégrafo. Por otro lado, no podemos dejar de mencionar las comunicaciones entre diversos buques o comunicaciones con las estaciones costeras, que se deben atender utilizando sistemas de radio o satélite. Omitiendo las señales visuales o auditivas tales como: banderas, humo, campana, gong, etc.

La comunicación en los buques autónomos tiene mucha relación con el sistema actual de comunicación utilizado en los buques convencionales, se puede decir que dicha la idea de hacer que sean autónomos nace de la implementación que se ha venido realizando en los buques convencionales, solo necesita unas pequeñas mejoras o simplemente que sea usada de manera distinta. Los buques autónomos utilizaran la comunicación satelital para todas sus actividades



exceptuando las entradas y salidas de puerto, en estos escenarios será requerida la comunicación por radio con una cobertura de dos millas.

En las situaciones de llegada y salida de puerto donde ahora mismo son de uso obligatorio el AIS, DSC, VHF son servicios que deberán estar activos, ya que su uso está muy bien implementado para el uso portuario. Aunque, podemos decir que hay otros servicios de VHF digitales, en este momento es un servicio que caerá en desuso por su facilidad de intersección y susceptibles a hackeos. En esos momentos hay nuevas opciones que son muy seguras para la comunicación como son el WiFi o ZigBee, su único inconveniente es su limitación de rango.

Normalmente para comunicarse en las proximidades a puerto el buque deberá tener disponible un ancho de banda de 4 Megabytes por segundo, aunque para la navegación en alta mar no es preciso tener permanentemente este ancho de banda, aunque a veces necesaria para las comunicaciones con otros buques.

Para las comunicaciones no satelitarias, estos son los códigos de banda más comunes: VHF (30 a 300 MHz), UHF (0.3 a 3 GHz), Banda L (1 a 2 GHz), Banda S (2 a 4 GHz), Banda C (4 a 8 GHz), Banda X (8 a 12 GHz), Banda Ku (12 a 18 GHz), Banda K (18 a 27 GHz) y Banda Ka (27 a 40 GHz). Siendo las bandas más usadas para las comunicaciones satelitarias las L (Inmarsat e Iridium), Banda C, Ku y Ka. La banda Ka se está popularizando a medida que aumenta la demanda de mayor ancho de banda. “Sara Portela Folgar, (2018) “BUQUES AUTÓNOMOS. EVOLUCIÓN TÉCNICA Y RETOS A SUPERAR PARA ALCANZAR LA NAVEGACIÓN AUTÓNOMA” [21]

Las comunicaciones entre varios buques y con las estaciones costeras contarán con un sistema especialmente diseñado para realizar las comunicaciones entre las instalaciones portuarias y el buque en las maniobras de aproximación a tierra y por supuesto va a influir en la efectividad y la calidad de estas. Este sistema es conocido como CdS (calidad del servicio) y es el encargado de proveer al sistema comunicacional un analizador de fallos y calidad con la finalidad de proporcionar las diversas opciones a la hora de dar soluciones que mejoren la calidad de este. El CdS continuamente mantiene una comunicación con las Estaciones Costeras aportando las opciones más oportunas que ayudaran a que sean actualizadas las mejoras necesarias para realizar de la mejor manera las oportunas transmisiones. El CdS debe aportar un abanico de cualidades entre las que podemos destacar la seguridad, la fiabilidad y la mejora del ancho de banda.



Es de vital importancia tener presente que las comunicaciones deben cubrir áreas muy extensas y que este factor contribuye a que las comunicaciones sufran degradación que hace que la fiabilidad de esta quede disminuida, además de varios factores que pueden influir también tales como: la reducción del ancho de banda o fallos de seguridad y fiabilidad.

Se pueden diferenciar 3 grupos de causas que influyen en la calidad de la comunicación:

- **Distancia y la frecuencia:** La dispersión normal debido a la gran propagación de las ondas de radio y que es proporcional al cuadrado de la distancia, la pérdida por la apertura de la antena que es proporcional al cuadrado de la frecuencia, la ganancia de la antena proporcional al cuadrado de la frecuencia y que teniendo en cuenta la dispersión del emisor más la del receptor será del doble, y la pérdida de los transmisores linealmente proporcional a la frecuencia.
- **Condiciones ambientales:** La lluvia o la humedad del ambiente también guarda relación con la frecuencia y perturba especialmente a las frecuencias de más de 10 GHz. La pérdida de brillo debido a la refracción ambiental afecta especialmente en regiones próximas a los polos y sobre el ecuador y específicamente a las bandas L y K.
- **Pérdidas menores también por causas atmosféricas:** Ionosféricas, que varían con las horas del día y la incidencia del sol; la polarización, el entorpecimiento de otras señales y el efecto doppler cuando hay grandes velocidades relativas entre el emisor y el receptor. “Sara Portela Folgar, (2018) “BUQUES AUTÓNOMOS. EVOLUCIÓN TÉCNICA Y RETOS A SUPERAR PARA ALCANZAR LA NAVEGACIÓN AUTÓNOMA” [21]

No se puede dejar de mencionar que las comunicaciones con un buque autónomo son el único factor que les salva de estar aislados, y un lazo muy susceptible de ser interceptado o hackeado. La seguridad de las comunicaciones es un ingrediente clave para garantizar el funcionamiento de los buques autónomos ya que los piratas informáticos podrían aprovechar un mínimo agujero en la seguridad para causar importantes accidentes intencionados o secuestrar los buques. Para prevenir este riesgo es de suma importancia que:

- Los datos sensibles deben ser encriptados y verificados, sobre todo en zonas próximas a puerto donde la cobertura es mayor
- Los criterios utilizados para dar solución a los fallos también deben ser encriptados, aunque se pueda permitir un nivel más bajo de protección al ser una tarea supervisada por la Estación Costera.





- EL sistema de comunicación deberá contar con un sistema de reinicio en caso de detectar un ataque desde una red maliciosa. [21]

### 5.7. ADMINISTRACIÓN.

La mayor parte del tiempo de los oficiales hoy se consume en tareas de administración, en listas de tareas de mantenimiento del buque, en corrección de cartas, relleno de los diferentes libros de registro, verificación de los certificados de abordaje y diferentes tareas que la empresa necesita que los oficiales realicen a bordo. Por lo tanto, ¿Estas tareas deberá hacerlas alguien en tierra o el sistema autónomo las realizará?

Dando un poco la idea en que solo con unos pocos datos, si la tabla es la correcta como ocurre en un Excel puedes hacer cálculos diversos, y si aplicamos esto en el software y que ponga los datos recibidos en un programa donde solo reordene esa información, ya tendremos esas tareas automatizadas. Ya que abra que subdividir todas esas tareas en tareas menos complejas, y crear una relación de dependencia entre ellas, de acuerdo con normativas internacionales y así convertirlo en un buque aún más autónomo.



## VI. LEGISLACIÓN

En cuanto a lo que legislación se refiere, es un gran reto, para los países que conforman la OMI, ya que, para elaborar unas nuevas leyes para buques autónomos, tendrían que ser compatible con las normas existentes hasta la fecha.

Toda la legislación hoy abarca un gran número de leyes y herramientas que imperan en los buques y diferentes operaciones, tanto en las normas aplicadas internacionalmente, como nacional y territorialmente. Estas normas también cubren aspectos en relación a la vida civil, seguridad marítima, responsabilidades jurídicas etc. A parte de acogerse a estas normas según donde se encuentre navegando también tendrá que cumplir las normas de su bandera.

Para que los buques autónomos tengan cabida en la legislación ya existente, deberán garantizar la seguridad y protección marítima. Sin duda estas nuevas necesidades, para estar recogidas en la legislación actual deberán ser modificada en profundidad.

### 6.1. SOLAS

Empezaremos analizando uno de los más importantes, el SOLAS (Convenio Internacional para la Seguridad en el Mar). En 1914, fue redactada su primera versión, que consta de 14 capítulos. Los capítulos II-1, II-2 y III que se recogen en este código, se pueden considerar que serán comunes para los buques convencionales como en los autónomos. El capítulo II-1 en el que se reúnen los temas de estructura, compartimentado y estabilidad, instalaciones de máquinas e instalaciones eléctricas. El capítulo II-2 se extiende en la prevención, detección y extinción de incendios. Y en el capítulo III se reúne la normativa sobre los dispositivos y medios de salvamento. Incluidos en el SOLAS encontramos otros apartados que son difíciles de extrapolar a buques autónomos como la comunicación entre la tripulación, las operaciones a bordo y el seguimiento de alarmas. Según el caso algunas funciones como el control de alarmas son realizadas desde tierra, pero por otra parte la comunicación o el trabajo son sustituidos por sistemas autónomos.

En el capítulo IV que se referencia a las radiocomunicaciones. Pare que los buques autónomos tengan cabida en este capítulo, y puedan cumplir los requisitos expuestos. Se deberá extender el alcance a cualquier lugar desde el cual sea controlado el buque, sea desde el propio buque o desde la estación de control situada en tierra.



Posiblemente, el capítulo V sea el más difícil de compaginar con los buques no tripulados, ya que incluye normas determinadas a la forma de actuar en el propio buque sobre el gobierno de este, el plan de viaje, las guardias de navegación o el embarque del práctico. Y en el capítulo IX incluye el código ISM<sup>5</sup>, en el que sustituirá las comunicaciones entre la naviera y el mando del buque, por las comunicaciones con la naviera y el puesto de control en tierra.[16]

## 6.2. MARPOL

En este convenio se contextualiza la lucha contra la contaminación, que incluye los requisitos para las actuaciones en caso de derrame, como debe de estar diseñada la estructura del buque, como actuar cuando se está realizando bunkering etc. En cuanto al cumplimiento de este reglamento es obligatorio para todos los buques y no necesita cambiar. Aunque, se debería definir sobre quien recae las diferentes responsabilidades.

Si hablamos de las distintas labores de mantenimiento sobre los equipos de contención y alarma o la carga y la descarga de este, esto debería recaer sobre operarios en tierra, así como de gestionar las notificaciones de las distintas urgencias abordó, para poder actuar lo más rápido posible. En esto último, es donde recae toda la preocupación, donde en caso de derrame fuera de una instalación portuaria, la coordinación en respuesta al incidente por muy rápida que sea nunca será tan rápida como la de una tripulación abordó, por ejemplo, en caso de derrame en una cubierta exterior la actuación de la tripulación es mucho más rápida, ya que el buque autónomo tiene ciertas limitaciones en cuanto al emplear medios mecánicos, como cubos, trapos y secantes para minimizar el daño. Para poder asegurar todo esto se debería recurrir a cambiar la forma en que se construyen los buques.[16]

## 6.3. RIPA

La normativa del RIPA (COLREG) en la cual se incluye una serie de reglas para la circulación en el mar. Se comprenden normas como las luces, la prioridad de cada buque según la condición y tipo, la señalización etc. Estas normas deben aplicarse a cualquier buque, incluyendo a los buques autónomos, ya que a efectos de tránsito son igual que cualquier otro buque. Los aspectos referidos a tripulación abordó, vigilancia y toma de decisiones se deberán programar en los sistemas del buque. Lo cual afecta directamente a la regla de vigilancia, “Todos los buques mantendrán en todo momento una eficaz vigilancia visual y auditiva utilizando asimismo todos los medios disponibles que sean apropiados a las circunstancias y

---

<sup>5</sup> International Safety Management Code (En castellano IGS, Código internacional de gestión de la seguridad)



condiciones del momento, para evaluar plenamente la situación y el riesgo de abordaje”. El objetivo que se persigue con esta regla es cerciorarse de que en todas las circunstancias sean utilizados los medios de vigilancia más adecuados, y por lo tanto se puede interpretar que no es requerida la acción humana, por tanto, las autoridades nacionales podrán asumir la sustitución por los medios autónomos.

En cuanto al resto de normas referidas a maniobras se deberán programar dentro de los sistemas de buque, y ya que hoy en día existe lo llamado inteligencia artificial (AI) en el cual los propios sistemas del buque mediante la retroalimentación aprenden a mejorar la eficiencia de las maniobras. El debate que puede surgir es si los buques autónomos deberán ir señalizados con alguna identificación diferente en lo que se refiera a marcas y luces.[23]

#### 6.4. STCW

El convenio STCW queda restringido a la tripulación a bordo del buque, lo cual da interpretar que no tiene nada que ver con los buques autónomos, por tanto, es necesario concretar unos mínimos en la formación del personal de tierra que garantice la calidad de su trabajo. Por otra parte, personal de mantenimiento, también deberá tener una formación específica.

Está claro, que los operarios en tierra deberán instrucción similar a la que recoge el STCW en materia de navegación, ya que serán los encargados de la toma de decisiones. Además, necesitaran conocimiento en materia de informática y telecomunicaciones.

Quizás en mayor reto sea el aprendizaje de las labores de vigilancia del puente y la máquina, cuyas labores se desempeñan de mejor forma con la práctica que solo con la teoría. Ya que con la practica consigues referencia de espacio y tiempo a la hora de tomar las decisiones, por tanto, se podría plantear que lo operarios del buque en tierra tengan cierta formación a bordo de un buque convencional.

Las incompatibilidades con el actual convenio STCW son claras, ya que este convenio va dirigido a los miembros de la tripulación abordo. [16]



## 6.5. CONVENIO MARÍTIMO DE LOS TRABAJADORES (MLC 2016)

En este convenio se recogen los derechos de la tripulación en materia del tiempo de embarque, condiciones de vida a bordo, dietas, tiempo libre a bordo y aspectos que garantizan las condiciones de vida de los marinos.

El gran problema, es como dice el artículo II, este convenio es solamente aplicable al personal a bordo del buque. Aunque en el artículo III se recoge una categoría especial para las personas relacionadas con el trabajo en el buque, que dice: “En caso de duda sobre la categoría especial del trabajador que pudiera ser considerado como marino a los efectos de este convenio, será responsabilidad de la autoridad competente en acuerdo con la naviera y las organizaciones de marinos mercantes, darle o no este tratamiento”. Por tanto, si ambas partes de ponen de acuerdo se podría considerar los operarios de tierra como marinos mercantes pudiéndose acoger al convenio. [17]

## 6.6. RESPONSABILIDADES

Tras exponer los convenios más importantes no podría faltar las responsabilidades en caso de accidente, ya que aquí se ven afectadas las aseguradoras, como ya que el número de accidentes por fallo humano disminuirá y se incrementaran los accidentes por fallos técnicos.

Desde el punto de vista de la regulación de la responsabilidad en la automatización, es como lo que actualmente está ocurriendo con los coches autónomos, ya que los juicios por accidente serán entre la empresa que programo el sistema del vehículo y la persona afectada y no por la persona que iba en el interior del vehículo, y cabe la posibilidad tambien que la persona del interior del vehículo denuncie a la empresa en la cual compro su vehículo y se darán problemas graves de juicios complejos y tediosos.

La lista de leyes a aplicar variase mucho dependiendo de en qué lugar sea el accidente, el tipo, la nacionalidad del buque y un sinfín de casos que se pueden dar. En los diferentes casos de accidentes marítimos como más adelante daremos a explicar se apela siempre a las faltas humanas para reducir la responsabilidad, por tanto, cuando la implementación de esta tecnología de buques autónomos este completada la responsabilidad recaerá en los fallos técnicos.

Aunque si tomamos en consideración que los buques deberán estar supervisado por operarios en tierra, que en caso de que los sistemas autónomos fallen podrá coger los mandos del buque,



aunque también puede darse por fallo de comunicación entre la estación costera y el buque, en el cual tendremos un problema del reparto de responsabilidades, porque aunque la responsabilidad debería caer en el sistema, podrían recurrir al fallo de programación, y mucho más difícil de demostrar que el fallo humano.





## VII. FACTOR HUMANO A BORDO DE LOS BUQUES.

Antiguamente hasta hoy el factor humano ha sido imprescindible para la navegación marítima en cualquier tipo de buque, pero sobre todo en los de pasajes y de carga peligrosa. La labor humana dentro de un buque es primordial, ya que se encargan la diversa documentación que se hacen abordó, el mantenimiento de los aparatos de navegación, al igual que los maquinistas el corazón del barco que sería la máquina. Esta última, es fundamental ya que no se para de supervisar cada pequeña cosa para que todo esté en orden.

En los últimos 50 años, se han desarrollado grandes avances para la navegación marítima. Una de ellas es la estructura de los barcos, mejoras de diseños de los cascos, sistemas de propulsión como la llegada de los buques de alta velocidad. A parte de eso, las nuevas tecnologías a bordo, como la carta electrónica, sistema de estabilidad como los estabilizadores que son los encargados de corregirte la escora del buque, la posibilidad de tener la máquina desasistida, etc. Todos esos avances han facilitado la navegación y hoy en día los sistemas que dispones a bordo de los buques son avanzados y bastante fiables. Pero todavía se siguen cometiendo errores que hacen que siga siendo muy alto el número de accidentes ya que el índice de accidente marítimos sigue siendo alto, y todo eso por culpa del factor humano.

El sistema marítimo está conformado por un sistema de personas, por tanto, los errores humanos conforman la mayor parte de las causas de accidente marítimo. Dentro de los puntos vulnerables puntos que afectan el desarrollo de las labores a bordo de un buque podemos mencionar:





## 7.1. FATIGA

La fatiga es definida, según la OMI como: Una reducción de la capacidad física y/o mental como resultado de la falta de bienestar físico, mental, emocional o esfuerzo que puede afectar a casi todas las facultades físicas

La fatiga es un factor que afecta de manera importante a cualquier trabajador a la hora de concentrarse en su labor. Pero en este caso, donde hablaremos sobre los oficiales a bordo tiene mayor importancia ya que debe asegurar la seguridad del buque, tripulación y la carga que transporte y sobre todo para buques de pasaje porque juega con la vida humana.

En la aviación, los pilotos de avión tienen sus horas de descanso reglamentarias a diferencia de la marina mercante que no tienen en cuenta este factor.

Cuando el cansancio empieza a sentirse en nuestro cuerpo, se empieza a disminuir la capacidad de atención y concentración en el trabajo lo que puede acarrear graves consecuencias y predisposición a cometer errores, con los daños materiales y humanos que puede traer consigo. Comenzamos a sentir esa desgana de trabajar y de no hacer nada. Y esto precisamente, para los oficiales que entran en sus respectivas guardias puede tener consecuencias muy graves.

Las principales causas del cansancio a bordo son:

- La falta de sueño, a la hora de terminar la guardia, tiene que realizar trabajos de mantenimiento o papeleo diarios para tenerlo todo al día.
- Ruido y vibraciones que realiza el buque.
- Los movimientos del buque.
- Volumen de trabajo mayor a lo que realmente debería de ser.
- Escalas frecuentes.

Por tanto, un buen descanso es fundamental para evitar errores en la navegación y así mantener la seguridad en el buque. [18]



## 7.2. COMUNICACIONES DEFICIENTES

La comunicación es un factor fundamental a la hora de la navegación marítima. El factor humano aquí influye en la producción de siniestros y accidentes debido a la comunicación deficiente tanto en capitanes y pilotos, entre buques, entre buques y torre de control y sobre todo entre compañeros del mismo buque.

La utilidad de una comunicación eficiente sirve para mejorar tanto nuestra vida personal como la profesional. Sobre todo, en este caso el mundo marítimo laboral, una comunicación clara y concisa puede mejorar muchos problemas, sin embargo, si la comunicación es lo contrario puede conllevar a mal entendidos que provocarían resultados muy graves y desastres marítimos considerables.

Aparte de una comunicación pausada, clara y concisa, debemos tener en cuenta que en el mundo laboral marítimo hay diferentes nacionalidades, es por ello por lo que el lenguaje utilizado universalmente es el inglés, a la hora de la comunicación, que en este caso sería el inglés, precisamente debe ser corta y clara para que no haya malas interpretaciones, y cuanto más se repita mejor.

Para mejorar esas malas comunicaciones que existen, tanto el que está hablando como el que escucha deben estar enteramente consciente de los que están tratando. Otro factor que afecta en este apartado es las nacionalidades mixtas que hay en algunos buques. La mejor solución para esto sería aplicar un idioma oficial de trabajo del buque y así se evitarían problemas de comunicación, puesto que la falta de comunicación entre oficiales y tripulación puede resultar peligrosa para el buque y la seguridad. [18]



### 7.3. FALTA DE CONOCIMIENTOS

Este punto es uno de los más comunes a la hora de la investigación sobre accidentes. Según un estudio realizado por André L. le Goubin, sobre los accidentes, dice que la falta de conocimiento es la causante del 53% de los accidentes e incidentes que hay en el mar. Por a falta de conocimientos generales y conocimientos inapropiados de los sistemas del propio buque. [19]

Falta de conocimiento generales conlleva a una mala seguridad a la hora de trabajar en los barcos. La seguridad a bordo es una de las principales cosas que se debe tener muy en cuenta. Y luego tenemos los conocimientos inapropiados de los sistemas del propio buque. Este punto no es menos importante, la falta de conocimientos en los sistemas de navegación, como por ejemplo el radar, que es un instrumento fundamental a la hora de la navegación, sobre todo por la noche, donde nuestra visibilidad se reduce considerablemente. Pues no tener conocimientos sobre esto conlleva a unos accidentes, la mayoría torpes.

Otro punto en la falta de conocimientos no es a la hora de no saber cómo funcionan los aparatos de navegación, que se debería de saber, si no a la hora de actuar si surge algún tipo de emergencia a bordo. Como, por ejemplo, en caso de buque de pasaje, pues hombre al agua, o si hay algún tipo de incendio o vía de agua y hay que abandonar el buque, tener conocimientos de los medios de abandono o extinción de incendios.

Vamos a hablar un poco de los instrumentos que llevamos a bordo y que son imprescindibles a la hora de navegar, y que por supuesto se deberían de saber usar para una navegación óptima.

En primer lugar, tendremos los Radares, uno en banda S y otro en banda X. ¿Por qué tenemos dos?, muy sencillo, la diferencia que tienen uno del otro es que uno trabaja mejor por el día y otro por la noche.

- Banda S: trabaja en un rango de frecuencia de 2.0 Ghz a 4.0 Ghz, tiene una longitud de onda entre 8-15cm, mejor definición en condiciones meteorológicas adversas y por último tiene una antena mayor, por tanto, mayor potencia.
- Banda X: trabaja en un rango de frecuencia de 5.2 Ghz a 10.9 Ghz, tiene una longitud de onda más corta y esto permite una mayor resolución de los blancos más pequeños y, por último, antena de menor tamaño tiene menor potencia.



Otro de los equipos importantes que llevamos a bordo, es el GMDSS<sup>6</sup>, es el sistema mundial de socorro y seguridad marítima. Con este equipo podremos comunicarnos con otros barcos de la zona, para evitar posibles colisiones, por tanto, decimos que es importante porque si el oficial que está de guardia no realiza una comunicación clara y corta, puede provocar problemas en la navegación, también poder comunicarnos con las estaciones costeras. Se puede trabajar en Onda Media (HF, MH) o en Onda Corta (VHF).

También tendremos el compás o la aguja náutica, que nos indicara en todo momento en que dirección vamos navegando, el GPS que nos dara la posición en la que nos encontramos, la Sonda que nos facilitara la profundidad por donde vamos navegando, tendremos la corredera que nos mostrara la velocidad en Nudos en la que va nuestro barco, aunque esta información también nos la puede dar el GPS, y por último, tenemos la cartografía electrónica, también llamada ECDIS<sup>7</sup> que se comenzó a utilizar en 2006[], abarca mucha información de utilidad a la hora de navegar y así facilitarnos a los oficiales la navegación.

#### 7.4. MAL USO DE LA REGLAMENTACIÓN

En este punto en concreto es importante a la hora de navegar. A bordo, tenemos un libro llamado RIPA (COLREG).

Esta reglamentación hace que a la hora de navegar haya unas normas. Te indica que hacer si te encuentras algún buque navegando para que no provoques una colisión. También es verdad que no siempre se lleva a cabo, ya que mediante la comunicación por VHF con el otro buque, pueden pactar una maniobra en la que los dos se encuentren más como para el tipo de buque que navegan.

Por tanto, es importante el factor humano en los buques precisamente para que no ocurran problemas en la mar. También hay que decir que, este trabajo hablamos de los fallos humanos y precisamente muchos comenten esos fallos por el mal uso del RIPA, que te dice muy claramente en la regla 5

---

<sup>6</sup> Global Maritime Distress Safety System

<sup>7</sup> Electronic Chart Display and Information System, (En castellano SIVCE, Sistema de información y visualización de cartas electrónicas).



## 13 REGLA 5

**Regla 5: VIGILANCIA**

<b>EN TODOS LOS BUQUES :</b>	<b>EN BUQUES CON RADAR : (además)</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Visibilidad</li><li>- Densidad del tráfico</li><li>- Maniobrabilidad del buque</li><li>- Resplandor de las luces de tierra</li><li>- Estado del VIENTO, MAR y CORRIENTE</li><li>- Proximidad de peligros para la Navegación</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Eficacia del equipo de RADAR</li><li>- Efecto de detección del estado de la mar</li><li>- Interferencias al radar</li><li>- Posibilidad de no detectar a la distancia adecuada buques pequeños u otros objetos flotantes</li></ul>

Fuente: <http://www.marinadebonaire.com/ima/R.I.P.A.Resumen120322195422.pdf>

## 7.5. INFLUENCIA EN LA SEGURIDAD MARÍTIMA

## 14 ERRORES MAS COMUNES



Fuente: [https://www.academia.edu/4824943/El\\_factor\\_humano\\_y\\_su\\_influencia\\_en\\_la\\_seguridad\\_maritima](https://www.academia.edu/4824943/El_factor_humano_y_su_influencia_en_la_seguridad_maritima)

Como vemos en la siguiente gráfica, el mayor porcentaje lo tiene los errores de oficiales en el puente.

Tipos de errores humanos.

En primer lugar, **‘Error humano es una expresión que indica que un suceso desfavorable está fuertemente condicionado por la actividad de las personas que participan directa o indirectamente en la realización y control de un proceso, a veces se puede atribuir a una mala praxis de las personas implicadas.’** [20]

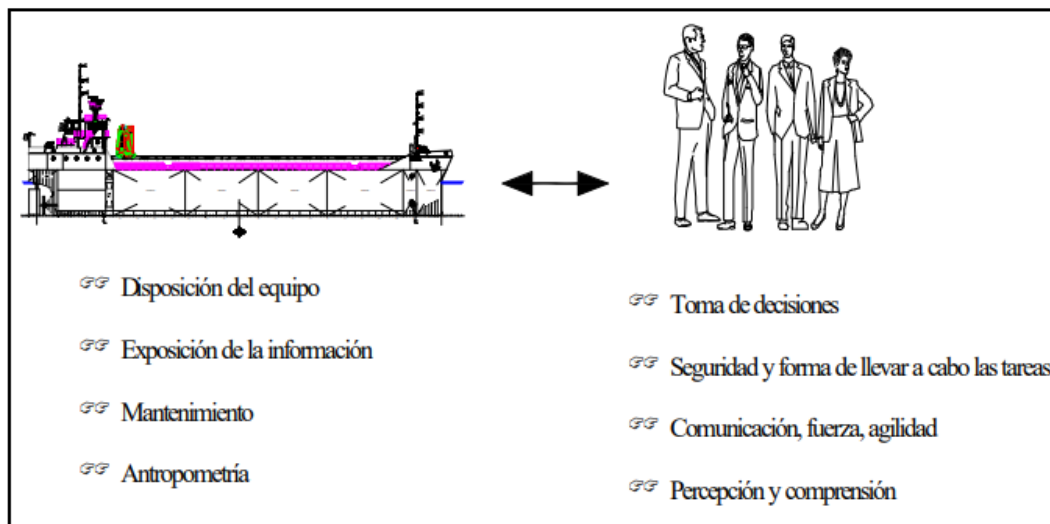


En el ámbito marítimo el error humano conlleva:

- Personas que no llevan a cabo unos procedimientos establecidos para llevar a cabo una tarea con efectividad.
- Formación inadecuada de los trabajadores o tripulantes.
- Errores en la manipulación de los sistemas a bordo.
- Falta de ser responsable en la inspección de averías o reparación de equipos.
- La falta de vigilancia que conlleva mayormente a los accidentes marítimos.

La tecnología, entra de lleno en uno de los causantes de los errores humanos.

*15 EFECTO DE LA TECNOLOGIA SOBRE LAS PERSONAS*



Fuente: [https://www.academia.edu/4824943/El\\_factor\\_humano\\_y\\_su\\_influencia\\_en\\_la\\_seguridad\\_maritima](https://www.academia.edu/4824943/El_factor_humano_y_su_influencia_en_la_seguridad_maritima)

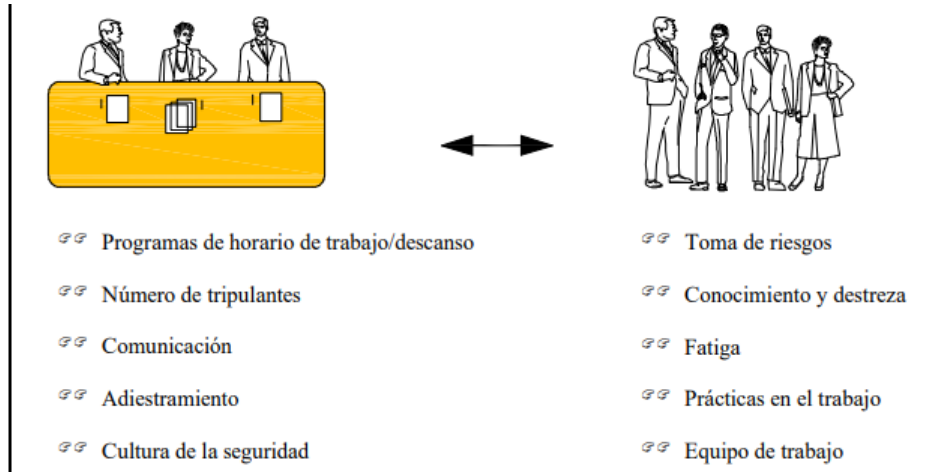
Como vemos en la siguiente imagen, tenemos varios conceptos que unen el buque con la tripulación.

La disposición de los equipos modernos que año tras años se van modernizando y a la vez haciéndose más complejos a la hora de manejarlo, hace que esa información la tengamos que estudiar y luego poder aplicarla adecuadamente. Otra cosa es el mantenimiento que se le tiene que dar a esos equipos, como, por ejemplo, test mensuales para garantizar su funcionamiento.



La toma de decisiones a la hora de un oficial de guardia o capitán también influye en los fallos humanos.

16 EFECTO DE LA ORGANIZACIÓN EN LAS PERSONAS



Fuente: [https://www.academia.edu/4824943/El\\_factor\\_humano\\_y\\_su\\_influencia\\_en\\_la\\_seguridad\\_marítima](https://www.academia.edu/4824943/El_factor_humano_y_su_influencia_en_la_seguridad_marítima)

Llegamos a un punto muy importante en cuestión de errores humanos en el ámbito marítimo. Y es la organización de horas/guardias que se hacen en la mar. La empresa y sus tripulantes deben llegar a un acuerdo de horas para que su trabajo sea efectivo y no haya errores, en este caso, humanos como hemos dicho anteriormente. Porque una sobrecarga de trabajo conllevará una fatiga mental y física, donde las guardias del oficial en el puente serán deficientes.







## VIII. CONCLUSIONES

Los buques no tripulados son una gran posibilidad que a largo plazo pueden ser realidad, aunque a día de hoy son una idea muy inmadura y llegado su momento y si son bien acogidos por la industria harán cambios importantes, donde el personal humano que forme parte de ellos tendrá que contar con una capacitación y unas cualidades totalmente diferentes a las conocidas hasta hoy. Los adelantos tecnológicos avanzan constantemente hacia la automatización de ciertas tareas con la finalidad de realizar las labores de manera más sencilla, rápida y efectiva, utilizando dichos recursos para minimizar el uso de mano de obra humana. Esto nos hace cuestionarnos ¿Cuál será el futuro de la tripulación? Se transformará de tal manera que una sola persona pueda realizar las actividades que hasta ahora hacían varias personas, como podemos ver en una cadena de trabajo de vehículos que solo un operario está capacitado para controlar varias tareas utilizando de manera remota un robot o varios solo con la utilización de un ordenador. Por ello no es descabellado pensar que ya existen proyectos para buques automatizados y algunos ya con pruebas en la mar.

Dentro de los diversos tipos de buques podemos encontrar buques que por su gran tamaño necesitan mucha tripulación. Si nos enfocamos principalmente en los buques de pasaje podemos observar que el factor humano es primordial ya que no solo se transporta mercancías sino también vidas humanas, que van a requerir ayuda y orientación a bordo de la embarcación, vemos entonces la importancia de tener personal capacitado para enfrentar cualquier situación incluyendo los escenarios de emergencia.

Tomando en cuenta el trabajo de investigación que hemos llevado a cabo hemos concluido que en vista de la importancia que tiene el factor humano dentro del buque es imposible que se pueda prescindir totalmente de él a bordo, pero sí podemos dar por hecho que según sea la circunstancia se puede disminuir aún más la cantidad de personal requerido para llevar a buen puerto el buque. Desde otro punto de vista también hemos detectado que el factor humano influye en gran medida en la cantidad de accidentes ocasionados, ya sea por negligencia o desinformación, para hacer que estos hechos desafortunados se reduzcan al máximo es imprescindible que se cuente con un personal cohesionado, preparado y con buena comunicación, lo que se logra dándole mejores condiciones de trabajo al personal y formación continuada por parte de las empresas.



## 9.1 CONCLUSION

Unmanned vessels are a great possibility that in the long term can be reality, although today is a very immature idea at this point and if the autonomous ships are well received by the industry, will make important changes, where the human staff who are part of them will have to have a qualification and qualities totally different from those known to this day. Technological advances are constantly progressing towards to the automation of certain tasks in order to carry out more easily, quickly and effectively the work, using these resources to minimize the use of human labor. This makes us question, what will be the future of the crew? It will be transformed in such a way that a single person can carry out the activities that several people have done until now, as we can see in a work chain of vehicles that only one operator is trained to control multiple tasks using remotely a robot or several, only with the use of a computer. It is therefore not crazy to think that there are already projects for automated ships and some already with sea trials.

Within different types of ships, we can find ships that by their large size need a lot of crew. If we focus mainly on passenger ships we can see that the human factor is primordial since not only goods are transported but also human lives, which will require assistance and guidance on board of the vessel, then we see the importance of have trained staff to deal with any situation including emergencies scenarios.

Taking into account the research work that we have carried out we have concluded that in view of the importance of the human factor within the ship it is impossible to completely prescind from it on board, but we can assume that depending on the circumstance the amount of staff required to bring the ship to reach a safe harbor can be further reduced. From another point of view we have also detected that the human factor greatly influences the number of accidents caused, either by negligence or misinformation, in order to make these unfortunate events reduced to the maximum it is essential that have a cohesive, prepared and well-communicated staff, which is achieved by giving better working conditions and continuous training by the companies.





## IX. BIBLIOGRAFIA

- [1] <<Historia de la Navegación>>, [Internet], Disponible en: [https://www.ecured.cu/Historia\\_de\\_la\\_Navegaci%C3%B3n](https://www.ecured.cu/Historia_de_la_Navegaci%C3%B3n)
- [2] Barcelona World Race, <<Historia de la navegación>>, [Internet], Disponible en: <http://www.barcelonaworldrace.org/es/educacion/programa-educativo/explora/ser-humano/historia-de-la-navegacion>
- [3] <<Robert Fulton>>, [Internet], Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Robert\\_Fulton](https://es.wikipedia.org/wiki/Robert_Fulton)
- [4] <<James Watt: la maquina de vapor>>, Publicado el: 08/2015, [Internet], Disponible en: <https://www.elblogdelaingenieria.com/james-watt-la-maquina-de-vapor/>
- [5] <<Motor de combustión interna>>, [Internet], Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_combusti%C3%B3n\\_interna](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna)
- [6] <<Motor diésel marino>>, [Internet], Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_di%C3%A9sel\\_marino](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_di%C3%A9sel_marino)
- [7] << Transatlántico>>, [Internet], Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Transatl%C3%A1ntico>
- [8] Adrián Lara, <<Sistema de propulsión Waterjet>>, [Internet], Disponible en: <https://ingenieromarinero.com/sistema-de-propulsion-waterjet/>
- [9] Rolls-Royce, <<Rolls-Royce publishes vision of the future of remote and autonomous shipping>>, Publicado el: 21/06/2016, [Internet], Disponible en: <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2016/21-06-2016-rr-publishes-vision-of-the-future-of-remote-and-autonomous-shipping.aspx>
- [10] <<Instrumentos de navegación náutica>>, [Internet], Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Instrumentos\\_de\\_navegaci%C3%B3n\\_n%C3%A1utica](https://es.wikipedia.org/wiki/Instrumentos_de_navegaci%C3%B3n_n%C3%A1utica)
- [11] <<Integration Of AIS And ECDIS: More Information, Better View, Improved Safety>>, Publicado: 05/2003, [Internet], Disponible en: <https://www.marinelink.com/news/integration-information301105>
- [12] <<Final Report: Autonomous Bridge>>, Publicado: 08/2015, [Internet], Disponible en: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2015/09/MUNIN-D8-6-Final-Report-Autonomous-Bridge-CML-final.pdf>
- [13] Fernando J. Pereda, <<Guiado, navegación y control de una flota de barcos autónomos>>, Publicado: 06/2010, [Internet], Disponible en: <https://eprints.ucm.es/13058/1/tfm-fernandojpereda.pdf>
- [14] <<Así funcionan los sensores de última generación de un coche autónomo>>, Publicado: 08/2017, [Internet], Disponible en: [https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-funcionan-sensores-ultima-generacion-coche-autonomo-201708140233\\_noticia.html](https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-funcionan-sensores-ultima-generacion-coche-autonomo-201708140233_noticia.html)
- [15] <<Command and control of unmanned vessels: Kepping shore based operators in-the-loop>>, [Internet], Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/281934219\\_Command\\_and\\_Control\\_of\\_Unmanned\\_Vessels\\_Keep\\_Shore\\_Based\\_Operators\\_In-The-Loop](https://www.researchgate.net/publication/281934219_Command_and_Control_of_Unmanned_Vessels_Keep_Shore_Based_Operators_In-The-Loop)
- [16] OMI, <<Convenios: Marpol, Solas, STCW>> [Internet], Disponible en: <http://ingmaritima.blogspot.com/2016/05/convenios-marpol-solas-stcw-espanolpdf.html>
- [17] << Convenio MLC>>, Publicado: 2006, [Internet], Disponible en: [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_norm/---normes/documents/publication/wcms\\_237454.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_norm/---normes/documents/publication/wcms_237454.pdf)
- [18] Azahara Fdez. Glez. , <<El Factor Humano>>, Publicado: 07/2013 [Internet], Disponible en: [https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/3821/TFG\\_AZAHARA%20FERNANDEZ%20GONZALEZ.pdf?sequence=4](https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/3821/TFG_AZAHARA%20FERNANDEZ%20GONZALEZ.pdf?sequence=4)



- [19] Carlos Ugarte Miguel, << La seguridad en el trabajo a bordo de los buques mercantes: Análisis de los accidentes laborales y propuestas para su reducción>>, Publicado: 07/2013 [Internet], Disponible en: [https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/3823/TFG\\_CARLOS%20UGARTE%20MIGUEL.pdf?sequence=1](https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/3823/TFG_CARLOS%20UGARTE%20MIGUEL.pdf?sequence=1)
- [20] Iglesias Baniela, <<El factor humano y su influencia en la seguridad marítima>>, Publicado: 06/2005 [Internet], Disponible en: [https://www.academia.edu/4824943/El\\_factor\\_humano\\_y\\_su\\_influencia\\_en\\_la\\_seguridad\\_maritima](https://www.academia.edu/4824943/El_factor_humano_y_su_influencia_en_la_seguridad_maritima)
- [21] Sara Portela Folgar, << BUQUES AUTÓNOMOS. EVOLUCIÓN TÉCNICA Y RETOS A SUPERAR PARA ALCANZAR LA NAVEGACIÓN AUTÓNOMA>>,[Internet], Disponible en: [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/21198/PortelaFolgar\\_Sara\\_TFG\\_2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/21198/PortelaFolgar_Sara_TFG_2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- [22] Boletín Oficial del Estado, <<Cartografía Electrónica>>, [Internet], Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-13843>
- [23] << RIPA · REGLAMENTO INTERNACIONAL PARA PREVENIR ABORDAJES.>>, [Internet], Disponible en: <http://aulanautica.org/unidad/6-reglamento-internacional-para-prevenir-abordajes-en-la-mar-ripa/>
- [24] BREVE HISTORIA DE LA PROPULSIÓN NAVAL [Internet]. [02/2018]. Disponible en: [http://www.mnve.mil.ve/web/index.php?option=com\\_content&task=view&id=34&Itemid=1](http://www.mnve.mil.ve/web/index.php?option=com_content&task=view&id=34&Itemid=1)