



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

NÁUTICA Y TRANSPORTE MARÍTIMO

BUQUES AUTÓNOMOS. EVOLUCIÓN TÉCNICA Y RETOS A SUPERAR PARA ALCANZAR LA NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

TRABAJO FIN DE GRADO

SEPTIEMBRE – 2018

**AUTOR: SARA PORTELA FOLGAR
DIRECTOR: JOSÉ JOAQUÍN DE TROYA CALATAYUD**

**ANEXO VIII - AUTORIZACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE
FIN DE GRADO**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

GRADO EN NÁUTICA Y TRANSPORTE MARÍTIMO

D. José Joaquín de Troya Calatayud, autorizo á alumna D. Sara Portela Folgar,
con DNI nº45.873.845-T, á presentación do traballo fin de grao titulado:

**BUQUES AUTÓNOMOS. EVOLUCIÓN TÉCNICA Y
RETOS A SUPERAR PARA ALCANZAR LA
NAVEGACIÓN AUTÓNOMA**

CONVOCATORIA: SEPTIEMBRE – 2018

Fdo. El Director

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'José Joaquín de Troya Calatayud', written over a circular stamp or seal.

José Joaquín de Troya Calatayud

Buques autónomos. Evolución técnica y retos a superar para alcanzar la navegación autónoma.

RESUMEN

Este trabajo de fin de grado comienza con un recorrido por la historia de la navegación hasta el presente, donde se explica el cambio que sufriría el papel de los marinos mercantes y la dinámica en los buques en el momento en que se implante la tecnología autónoma en la navegación.

El capítulo central describe los componentes que se encuentran en los buques y muchos de los que participan en el ámbito marítimo. A partir del planteamiento de cada uno de ellos, se van a describir los cambios que sufrirían en los buques autónomos y también se nombrarán nuevos elementos que se van a incorporar. Por último, se va a dedicar un capítulo a las ventajas y desventajas que esta tecnología puede suponer.

SUMMARY

This End-of-Degree Project begins with a review of navigation history until the present time, when it will be possible to explain the change that the role of merchant seamen and the dynamics of ships would suffer at the moment in which the autonomous technology is implanted in navigation.

The main part of the project is to describe the components found in vessels and those who participate in maritime activities. From the approach of each of them, changes they would suffer on autonomous vessels are going to be described, and new components will be explained too.

The last chapter is about many of the advantages and disadvantages that will be found in the integration of this technology.

ÍNDICE GENERAL

	Pág
Objeto.....	1
Alcance.....	2
Disposiciones legales y normas de referencia aplicadas.....	3
Memoria.....	4
1. HISTORIA DE LA NAVEGACIÓN.....	4
1.1 Evolución histórica.....	4
1.1.1 La navegación primitiva.....	4
1.1.2 Navegación antigua.....	5
1.1.3 Navegación moderna.....	5
1.1.4 Navegación contemporánea.....	6
1.2 Historia de los sistemas de navegación.....	6
1.2.1 Sistemas inerciales.....	7
1.2.2 Radiocomunicación.....	7
1.2.3 Sistemas basados en satélites GNSS.....	8
1.3 Historia de la propulsión de los buques.....	8
1.4 Evolución del sistema portuario.....	9
2. SITUACIÓN ACTUAL Y TECNOLOGÍA EN EVOLUCIÓN.....	11
2.1 Avances referentes a la navegación.....	11
2.1.1 AIS-ECDIS.....	12
2.1.2 RADAR-ARPA.....	12
2.1.3 Piloto automático.....	13
2.1.4 Posicionamiento dinámico.....	13
2.2 Máquina desatendida.....	14
2.3 Puertos de última generación.....	16
2.3.1 Sistemas de amarre automático.....	17
3. TECNOLOGÍA EN LOS BUQUES AUTÓNOMOS.....	23

3.1 Grandes proyectos en desarrollo acerca del estudio de la navegación autónoma.....	24
3.1.1 MUNIN. Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks.....	24
3.1.2 AAWA Iniciativa de aplicaciones avanzadas para la navegación autónoma.....	25
3.1.3 Re-Volt (DNV-GL).....	26
3.1.4 Guía Cyber Enabled Ships (Lloyd´s register).....	26
3.1.5 AMOS. Sistemas y Operaciones Marinos Autónomos....	27
3.1.6 Desarrollo de buques autónomos para vigilancia marítima.....	27
3.2 Estaciones de control en tierra ECT.....	28
3.2.1 Funciones de la ECT.....	29
3.2.2 Esquema de trabajo en una ECT.....	32
3.2.3 Ejercicios simulados en una ECT.....	34
3.2.4 Resultados y conclusiones.....	36
3.2.5 Otros tipos de instalaciones en tierra.....	37
3.3 Construcción de buques autónomos.....	38
3.3.1 Yara Birkeland.....	38
3.3.2 Otros modelos de buque autónomo.....	41
3.3.3 Elementos de seguridad en el buque autónomo.....	43
3.3.4 Mantenimiento de un buque autónomo.....	44
3.4 Navegación autónoma. Sistemas de gobierno de los buques autónomos.....	45
3.4.1 SNA. Sistema de navegación autónomo.....	45
3.4.1.1 Funciones actuales relacionadas con la navegación.....	46
3.4.1.1.1 Plan de viaje.....	46

3.4.1.1.2 Guardias de navegación.....	46
3.4.1.1.3 Gobierno del buque.....	46
3.4.1.1.4 Comunicaciones.....	47
3.4.1.1.5 Tareas administrativas.....	47
3.4.1.2 Funciones que desempeña el SNA.....	47
3.4.1.2.1 Plan de viaje.....	47
3.4.1.2.2 Guardias de navegación.....	48
3.4.1.2.3 Gobierno del buque.....	49
3.4.1.2.4 Cámara de máquinas.....	52
3.4.1.2.5 Recopilación de información sobre el estatus del buque.....	52
3.4.1.2.6 Control anti colisiones.....	53
3.4.1.2.7 Detección y presentación de obstáculos.....	55
3.4.2 Corrección de errores.....	57
3.4.3 Comunicaciones.....	57
3.4.4 Monitorización de la máquina autónoma MMA.....	60
4. ASPECTOS LEGALES DE LOS BUQUES AUTÓNOMOS.....	61
4.1 SOLAS.....	62
4.2 MARPOL.....	63
4.3 COLREG.....	63
4.4 STCW.....	64
4.5 Convenio Marítimo de los Trabajadores MLC.....	65
4.6 Responsabilidades.....	66
4.7 Código Lloyd´s Register para los vehículos marítimos.....	67
no tripulados	
5. VALORACIONES DEL PROYECTO A LO LARGO DE SU DESARROLLO. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	70
5.1 Factor humano en el sector marítimo.....	70
5.2 Seguridad.....	72

5.3 Aspectos técnicos.....	78
5.4 Aspectos legales.....	79
5.5 Economía.....	80
Conclusiones.....	83
Bibliografía y referencias.....	85
Definiciones y abreviaturas.....	90
Índice de imágenes.....	95
Anexos sobre legislación.....	97
Agradecimientos.....	136

OBJETO

El objetivo del que se parte es la idea personal de investigar y aclarar de qué se trata esta tecnología de la que tanto se ha oído hablar en la Escuela de Náutica de la Coruña.

Por consiguiente, este trabajo pretende dar a conocer a todo el mundo que tenga curiosidad sobre el tema, la base desde la que se parte, los aspectos fundamentales, las especificaciones técnicas, legales y que además se puedan conocer sistemas muy novedosos que también pueden jugar un papel importante en el sector marítimo fuera del ámbito de los buques autónomos.

La premisa principal era explicar desde fuera, y sin dejarse llevar por los dogmas presentados por las empresas privadas, el desarrollo de esta tecnología; pero sobre todo se ha intentado dar una visión neutra, para que la persona que lea este trabajo pueda hacer una valoración crítica propia de este tema tan controvertido.

ACANCE

Por la naturaleza del tema que se trata, este trabajo de fin de grado no tiene un ámbito de aplicación laboral actual.

En un futuro, cada empresa seguirá sus pautas de construcción y puesta a punto, pero aquí se han intentado unificar los estándares comunes entre muchos de los proyectos existentes, para presentarle a cualquier persona que esté interesada en este tema, un recorrido por todos los aspectos que pueden formar parte de un debate al respecto.

Este trabajo podría servir como punto de partida a aquellos que estén interesados por leer o escribir sobre el tema en general o sobre alguna de las muchas tecnologías innovadoras de las que aquí se habla, ya que desarrollar el tema de los buques autónomos permite abarcar muchos aspectos novedosos, que pueden aportar mucho a gran cantidad de proyectos distintos.

Cuando la aparición de esta tecnología sea una realidad, toda clase de buques mercantes, buques de vigilancia costera, oceanográficos y otros tipos de buques, se acogerán a muchas de las pautas que se van a describir.

DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS DE REFERENCIA APLICADAS

Para la realización de este trabajo de fin de grado me he tenido que basar en la mayoría de legislaciones y convenios que rigen la actividad marítima actualmente. Principalmente, he tomado como referencia el convenio SOLAS (Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida humana en el Mar) que regula todos los aspectos relacionados con la seguridad en los buques. Partiendo de este convenio se pueden estimar los aspectos comunes que tendrá la futura normativa con la actual.

Otros convenios como el MARPOL (Maritime Pollution) y las COLREGs (Collision Regulations) se han tenido en cuenta aclarando que los buques autónomos deben cumplir cada una de sus normas como cualquier otro buque.

Para poder hablar de las condiciones laborales de los marinos es preciso estudiar el convenio STCW78/95 (Standards of Training, Certification and Watchkeeping) que regula los conocimientos que debe tener todo marino; así como el MLC (Maritime Labour Convention), el convenio que rige las condiciones laborales de todo el sector. Estos dos convenios serán los que más cambios sufran con esta tecnología y por eso se les debe prestar especial atención.

También han sido de gran ayuda la LNM (Ley de Navegación Marítima) y el convenio UNCLOS (United Nations Convention on the Law of the Sea) para aclarar las leyes que dirigen el tráfico en nuestras aguas.

Por último he utilizado un borrador de Código elaborado por la sociedad de clasificación Lloyd's Register, que traza una base de la que partir para legislar sobre esta tecnología.

MEMORIA

1. HISTORIA DE LA NAVEGACIÓN

Antes de abordar el tema principal del trabajo, la automatización en el arte de la navegación, parece lógico echar la vista atrás y hacer un breve repaso de la historia de la marina mercante desde su origen para entender su evolución. Se verá la tendencia que hay a sustituir los métodos antiguos (fuerza humana o cálculos hechos por personas), por la mecánica y electrónica hasta nuestros días, en los que se impone la automatización.

1.1 Evolución histórica.

Este es un repaso a la historia de la navegación, desde las primeras embarcaciones primitivas, a través de todos los avances en construcción y propulsión que desencadenaron en los modelos de buque que hoy conocemos.

1.1.1 La navegación primitiva.

El ser humano ha tenido la necesidad de navegar desde el principio de su historia. A Australia se llegó hace más de 40.000 años desde la costa Sudoeste del continente asiático, cruzando cortos tramos de los estrechos; y muchos homínidos tuvieron que atravesar ríos caudalosos y mares muchos miles de años antes, con embarcaciones construidas con simples troncos, muy rudimentarias pero efectivas.

Algunas de estas embarcaciones fueron rescatadas de North Ferriby (Yorkshire, Inglaterra) a orillas del río Humber, y en ellas se ve cómo eran capaces de construir naves hechas con tablas atadas entre sí, de 15 metros de eslora y una manga de más de 1,5 metros. Estas embarcaciones estaban limitadas en eslora al hacer las quillas de una única pieza (según el tamaño de los árboles).

En aquellos tiempos los condicionantes a la navegación eran innumerables, pero lo que más limitaba estas intrusiones era la climatología y la incapacidad de orientarse en alta mar. Por ello y debido al crecimiento de la densidad de población, se establecieron rutas de comercio marítimo a lo largo de todo el Mar Mediterráneo.



Figura 1.1.1.1 Embarcación experimental de la edad de hierro “A Borna”

1.1.2 Navegación antigua.

En el siglo XVIII se produjeron una serie de innovaciones en la construcción naval y en sus técnicas, que permitieron incrementar el tamaño, aumentar la capacidad, mejorar su maniobrabilidad e incrementar la velocidad. Por supuesto estas mejoras se multiplican en buques con fines bélicos.

Un elemento que mejoró la navegación fue la rueda del timón que permitía una más cómoda y segura transmisión desde la cubierta a la pala del timón. Se mejoró la capacidad del casco, el rendimiento del aparejo, la velocidad y la maniobrabilidad, especialmente en las últimas décadas del siglo XVIII y las primeras del XIX.

En el siglo XVIII se realizaron los primeros planos a escala de las embarcaciones, se escribieron los primeros tratados de construcción naval y las primeras obras de cálculo. Tras el descubrimiento del cronómetro y del octante, que permiten calcular con precisión la posición del navío en la mar determinando la longitud y la latitud, se desarrollaron las técnicas de navegación. La cartografía también mejoró gracias a las exploraciones y viajes científicos que los países con costa más avanzados de la época organizaron.

1.1.3 Navegación moderna.

En 1707 se realizaron los primeros prototipos de máquina de propulsión por vapor con la intención de aplicarlo a todos los medios de transporte, hasta que finalmente, en el año 1803, Robert Fulton lanzó al Sena un barco cuyo propulsor era una rueda con paletas movida por una máquina de vapor. Fue mal acogido en Francia y Fulton prosiguió sus experimentos en Estados Unidos. En 1807 bota

su vapor "Clermont". Fulton recorrió en él los 240 km que separan Nueva York de Albany surcando el río Hudson.

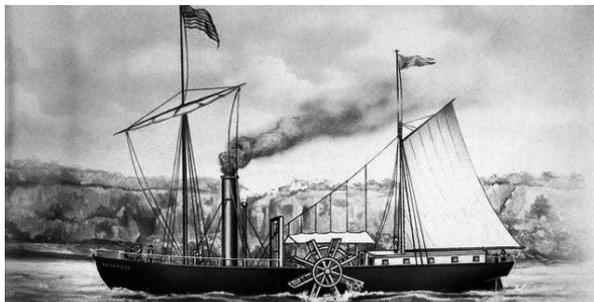


Figura 1.1.3.1 Buque Clermont

Con este mismo barco, se establecería el primer servicio regular a vapor. Éste, llevaba unas ruedas con paletas a ambos lados del casco, diseño que durante un tiempo se siguió extendiendo con éxito. A estos buques se les conocería como "vapor de ruedas" y muchos llevaban mástiles con velas al mismo tiempo. Este tipo de barco de vapor tendría mucho éxito en la navegación fluvial, ya que necesitaban poco calado, aunque como inconveniente suponía el aumento de forma considerable de la manga de los buques.

1.1.4 Navegación contemporánea.

Uno de los avances tecnológicos producidos a finales del siglo XIX fue el desarrollo de la turbina compuesta de vapor y su adaptación para su uso naval en 1897. En 1903 el Wandal fue el primer buque propulsado por un motor diesel. Después de la I Guerra Mundial se efectuaron avances significativos, especialmente en el perfeccionamiento de la propulsión turbo eléctrica. Durante la II Guerra Mundial, la soldadura sustituyó a los remaches en la construcción naval¹.

1.2 Historia de los sistemas de navegación.

El descubrimiento y evolución de los distintos sistemas de posicionamiento y navegación llevaron a dejar atrás la restricción de las rutas marítimas a una franja de mar en que la costa fuera visible.

Al principio, el hombre se basó en la observación de los astros para obtener referencias en el espacio (estrella Polar indicando el norte) y en el tiempo (altura del Sol). Más adelante se desarrolló el astrolabio que permitió medir con mayor precisión la altura de los astros, con lo que la medida de la posición fue mucho más precisa.

Con el descubrimiento de la brújula la tarea de navegar mar adentro se hizo mucho más segura. Fue inventada en China aproximadamente en el siglo IX con el fin de determinar las direcciones en mar abierto, e inicialmente consistía en una aguja imantada flotando en una vasija llena de agua.

Los métodos antiguos no permiten una gran precisión, pues se consiguen mediante complejos cálculos que no los hacen útiles para posicionar vehículos a gran velocidad, y no funcionan en todas las condiciones meteorológicas. Con la llegada del siglo XX, aparecieron nuevos sistemas de posicionamiento y se desarrollaron métodos distintos de navegación de forma paralela: Navegación inercial, radiolocalización y los basados en satélites.

1.2.1 Sistemas inerciales

Basados en la inercia del movimiento, la relación entre las aceleraciones y la variación de la posición. Así, conociendo el punto de partida, velocidad, dirección y naturaleza del movimiento (movimiento rectilíneo uniforme, uniformemente acelerado, acelerado...) se puede calcular la posición relativa. Su principal ventaja es que es un sistema completamente independiente de medios ajenos al buque, pero su principal desventaja es que tiene un error considerable.

1.2.2 Radiolocalización

Es un método de basado en la medición de los instantes de llegada de ondas transmitidas desde diferentes estaciones de emisión cuya posición era conocida. Se creaba un campo de ondas hiperbólicas, que trazaban una malla en la cual se localizaba el buque.

Los primeros intentos de combatir la falta de visibilidad fueron obra de Reginald Fessenden en Boston, quien propuso emplear ondas de radio junto con ondas acústicas acuáticas para medir la distancia a la fuente.

El segundo sistema fue el LORAN (Long Range Navigation) desarrollado en el MIT durante la II Guerra Mundial para guiar los convoyes en el océano Atlántico en condiciones meteorológicas adversas. Se utilizaba una frecuencia de 1.95 MHz y proporcionaba una cobertura de hasta 1200 Km en el mar. Fue el primer sistema de navegación para todo tipo de clima y posición. La precisión ofrecida era de 1.5 km. Tras la guerra se adoptó para fines pacíficos en la guardia costera y se pasó a llamar LORAN-A.

Después se desarrolló un sistema de cobertura global con pocas estaciones transmisoras: el sistema Omega, que funcionaba a 10-14 KHz por lo que la propagación se hacía por efecto de guía esférica. La precisión era muy pobre.

Apareció un sistema mejorado a partir del Loran: Loran-C que trabaja a 100 KHz y obtiene precisiones aceptables de hasta 100 metros en condiciones atmosféricas y topográficas ideales.

1.2.3 Sistemas basados en satélites GNSS

Los primeros satélites empleados para la radionavegación fueron los de la serie estadounidense Navsat (1960, operativo desde 1964). En este sistema, los satélites siguen una órbita baja y transmiten continuamente una misma frecuencia. Debido al movimiento orbital, desde tierra se perciben unos desplazamientos Doppler de la señal. Conociendo las coordenadas y esas desviaciones de frecuencia se puede conocer la posición del observador.

El inconveniente principal es que la medida es lenta y hay que esperar a que el satélite pase por encima del área en la que se está (hasta unos 30 minutos).

Actualmente, destacan el sistema europeo de satélites de navegación MAREC's (1981), destinado a mejorar las comunicaciones e incrementar la seguridad de la navegación marítima y, en el campo militar, el sistema estadounidense Navstar-GPS (1978) de localización global, que ofrece un método de navegación exacto, de alcance mundial, en un principio sólo accesible a los ejércitos de tierra, mar y aire de EEUU. Destaca también el sistema ruso de navegación global por satélite Glonass (iniciado en 1982), paralelo en características al anterior y que también se emplea para usos civiles. El proyecto Galileo de la Unión Europea, por su parte, persigue la creación de un sistema de radionavegación y posicionamiento por satélite independiente de GPS, y estará basado en una constelación de satélites propia. Se estima que la precisión del sistema Galileo será de 1 metro. La constelación Galileo constará de 30 satélites que orbitarán a 25.000 Km de la Tierra².

1.3 Historia de la propulsión de buques.

Uno de los objetivos primordiales a la hora de hacer el transporte marítimo más competitivo, es conseguir que sea rápido y exprimir al máximo su autonomía. En esto entran en juego los sistemas de propulsión del buque, la máquina.

El primer método de propulsión fue la fuerza humana, moviendo sus embarcaciones a remo. El mayor aporte a este método fue la aparición del timón para dotar a la embarcación de un rumbo, interfiriendo lo mínimo en la velocidad. Este fue el método de propulsión empleado por muchos siglos. Hoy lo podemos encontrar en las famosas regatas de traineras.

La aparición de la propulsión combinada a vela y remo se les debe a los egipcios, hace al menos cinco mil años³. También los vikingos perfeccionaron este sistema. Hoy en día se usa este medio de propulsión con fines recreativos y deportivos, aunque en algunas zonas del Océano Índico sigue utilizándose con fines comerciales.

El avance y fortuna de los grandes imperios dependía en gran medida de su flota naval, y aunque el sistema de remos y velas fue mejorado empleando grandes naves con hasta tres hileras de bogadores todo a lo largo de la eslora del buque, la época del remo tocaba su fin a la vez que se perfeccionaba el empleo de las velas. De este modo se confiaba la autonomía del buque a un medio totalmente inanimado, dejando de depender de la fuerza humana. Esto aportaba un gran valor a los ejércitos.

El paso siguiente fue la propulsión a vapor, mejorada en el 1870 al aparecer las hélices. En esta época se dejaron de emplear motores de vapor de émbolo y se pasó a la turbina de vapor. Los vapores que marcan esta época fueron el Savannah (primero en cruzar el atlántico), el Clemont (primera nave enteramente a vapor) y el Great Western (cruzó el Atlántico en catorce días a ocho nudos de media).

En el siglo XX los avances llevaron a montar motores de Diesel en los buques militares. A partir de este momento se normaliza el uso de motores en los buques civiles y junto a los avances de las máquinas llegaron los avances en hélices y otro tipo de propulsores que se verán más adelante⁴.

1.4 Evolución del sistema portuario

La historia del transporte marítimo se remonta a tres 3500 años antes de Cristo, cuando era el medio clave en el intercambio de bienes de consumo y mercancías. Los fenicios fueron los primeros en preocuparse por encontrar lugares amparados en la costa en los que poner sus barcos al abrigo, los primeros puertos, que acertadamente dotaron de faros. Incluso construyeron los primeros puertos

artificiales, un sistema que copiarían más adelante griegos, vikingos y demás pueblos con actividad marítima comercial⁵.

El término “globalización” es clave para entender el papel que juega para un territorio el disponer de un puerto marítimo. La riqueza, aumento de población e importancia de una ciudad con puerto, se ve multiplicada con respecto a otras que no lo tengan, ya que se convierte en un centro de comercio con una gran infraestructura y todo lo que esto repercute sobre la economía local y el empleo⁶. Esto se ve claramente tanto si hablamos de puerto mercante, en el que hará falta una gran inversión en accesos, almacenamiento, manejo de carga, etcétera; como si hablamos de puerto para buques trasatlánticos, donde los turistas dejarán una buena suma de dinero en los negocios de la zona.

En los puertos actuales es habitual encontrar instalaciones modernizadas, disponibilidad de remolcadores, práctico e infraestructura para preservar la seguridad de los buques como faros con estación de señales, rompeolas naturales o artificiales para proteger la entrada y salida de los buques de gran tonelaje o con mercancías peligrosas; diques flotantes y secos para reparaciones y limpieza de cascos y fondos, muelles de atraque con puentes grúas de distintas capacidades, así como otras instalaciones adecuadas a determinados cargamentos y rutas.

2. SITUACIÓN ACTUAL Y TECNOLOGÍA EN EVOLUCIÓN.

En este capítulo se verá como la tecnología sustituye cada vez más funciones sobre las que tienen responsabilidad las personas. Los ordenadores instalados a bordo son capaces de medir parámetros suficientes como para deducir maniobras y ajustar valores en la máquina para hacer que el buque navegue con seguridad. En este capítulo, no se pretende describir en detalle el funcionamiento de cada uno de los sistemas que se van a enumerar, ya que éste no es el tema a tratar. La intencionalidad del capítulo es presentarlos y referenciarlos al avance común y unidireccional hacia el automatismo.

2.1 Avances referentes a la navegación.

Existe un condicionante que, en general, se debe tener en cuenta durante todo el capítulo, pero en éste especialmente. Los sistemas que se van a describir son electrónicos, dependen tanto de información que se les introduce manualmente como de la que reciben por sus propios sensores y de los satélites. Hay que tener en cuenta que estos sistemas son susceptibles de cometer fallos, y si se comete algún error en el viaje por exceso de confianza en los aparatos, será completamente responsabilidad de la persona al mando.

Por eso, la autonomía de los sistemas que se van a describir, responden a una situación idílica en la que fueran fiables al cien por cien, y su fiabilidad fuera avalada por las instituciones que definen la normativa náutica.

Hoy en día, cualquier puente de mando lleva una serie de sistemas de navegación y localización que podrían sustituir a los cálculos de cartografía, astronomía y estima que en la actualidad siguen haciendo los oficiales a bordo. Entre ellos destacan el AIS, ECDIS, RADAR, ARPA y sistemas de navegación como GPS, GLONASS o el futuro Galileo. Todos ellos son complementarios y no sustitutivos, es decir que es necesario tener en cuenta los datos dados por todos ellos aunque sean redundantes. Además todos los sistemas susceptibles de fallo se llevan duplicados para que en caso de una diferencia significativa entre los datos proporcionados por un aparato y su duplicado, al oficial de guardia le sea más fácil darse cuenta del fallo y pueda corregirlos en seguida. También se conectan todos a unas baterías de emergencia para poder sobrellevar un caso de caída de planta.

2.1.1 AIS-ECDIS

El sistema de AIS/ECDIS es un sistema de superposición de cartas electrónicas (ECDIS) con los datos AIS recibidos por satélite. Este sistema tiene ventajas indiscutibles sobre otras ayudas de navegación. En primer lugar, porque el rango operativo del sistema AIS es el rango VHF en el área, casi equivalente al rango en el que opera el ARPA o el RADAR. En segundo lugar, el ECDIS permite conocer las coordenadas del objetivo, sus dimensiones reales, la lista completa de identificadores (nombre, distintivo de llamada, MMSI, número IMO) y la información necesaria para evitar colisionar con un blanco (demora, alcance, distancia de CPA y hora TCPA). También es posible ver rápidamente información adicional (datos de viaje) en cualquier momento. En este sistema se dispone de un número ilimitado de cartas superpuestas, por lo que se cuenta con toda la información sobre el perfil de la costa, puertos y fondos, siendo posible fijar alarmas de profundidad.

Si existe un riesgo de colisión con un objetivo o de acercarse peligrosamente al mismo, el operador de ECDIS puede identificar rápidamente los objetivos peligrosos, obtener sus parámetros y establecer rápidamente las comunicaciones, mediante la transmisión de un mensaje a través del AIS (mensaje de seguridad). Los datos sobre los mensajes transmitidos a través de la comunicación AIS están archivados en el ECDIS y resultarían útiles a la hora de aclarar las circunstancias de un accidente marítimo⁷.

Gracias a este sistema, se obtienen en una pantalla todos los datos que resultarían de hacer estimas en cartas, comunicarse con otros buques para obtener toda la información, y hacer cálculos para predecir las situaciones comprometidas o de colisión. Así, se obtienen los datos en tiempo real y de forma automática, con lo que se ahorra tiempo y queda mayor margen para la toma de decisiones.

2.1.2 RADAR-ARPA

Otro sistema, es la combinación RADAR-ARPA, el primero muestra en pantalla blancos detectados por una antena del propio buque, y se emplea para reconocer la distancia y forma aproximada de obstáculos en el mar, y otros emisores como Radiobalizas y RACONs. Gracias a este sistema, se consigue la misma visibilidad durante el día que por la noche, en condiciones meteorológicas similares, además

de tener una imagen de los trescientos sesenta grados que rodean al buque, se consigue imagen de obstáculos a una distancia mayor que la observable.

A éste se le suma el sistema ARPA, un sistema de ploteo automático, que hace aparecer en pantalla el movimiento verdadero de todos los blancos móviles, incluido el propio buque. También puede activar alarmas para prevenir de una posible colisión y calcular los valores de CPA y TCPA⁸.

La principal desventaja de este sistema combinado es que es susceptible de interferencias por mal tiempo, interferencias de señal, y apariciones de falsos ecos. Aún así, presenta ventajas con respecto al sistema ECDIS-AIS, ya que es dependiente únicamente de los sistemas del propio buque y elimina el riesgo de que otro buque tenga mal introducidos sus datos en el AIS, o de que exista algún problema con la señal vía satélite.

Así se podría decir que los dos sistemas combinados con el GPS/GLONASS/GALILEO cubren una gran parte de las funciones del puente durante el viaje. Estos sistemas presentan los datos fundamentales de la situación real, para que con ellos el oficial al mando tome las decisiones necesarias para desarrollar una navegación segura.

2.1.3 Piloto automático.

El piloto automático es un sistema de fijación y conservación de rumbo y velocidad. A partir de los datos de la curva de evolución del buque, y un rumbo verdadero fijado por el operador, el sistema consigue ajustar la metida del timón y la potencia de la máquina para conservar las condiciones fijadas.

De este forma se consigue que en casos de tener que navegar largas millas en las mismas condiciones de rumbo y velocidad, el timonel pueda descansar y no se produzca tanta fatiga, y se corrigen los posibles errores humanos que podrían aparecer después de muchas horas de rutina.

2.1.4 Posicionamiento Dinámico (DP).

Otro sistema muy interesante y que se podía decir que de por sí maneja los datos ofrecidos por los sistemas anteriores para tomar sus propias decisiones, es el sistema DP (posicionamiento dinámico).

El posicionamiento dinámico es un sistema controlado por un ordenador utilizado para mantener automáticamente la posición o el rumbo de un buque mediante el

uso de sus hélices y propulsores. Sensores de referencia de posición, junto con sensores de viento, sensores de movimiento y compases giroscópicos, proporcionan información al ordenador acerca de la posición del buque, magnitud y dirección de fuerzas medioambientales que afectan a su posición. El ordenador contiene un programa informático con un modelo matemático de cada buque específicamente, con información sobre el efecto del viento y corrientes sobre el mismo. Así se permite al ordenador calcular los diferentes valores de potencia y dirección que es necesario aplicar a cada propulsor para corregir el rumbo o posición del buque. Esto permite facilitar las operaciones en el mar, donde el amarre o anclaje no son factibles debido a aguas profundas, congestión en el fondo del mar u otros problemas⁹.

El sistema DP está orientado principalmente para los siguientes tipos de buques:

- Buques Off shore de la industria petrolera y del gas que realizan las operaciones de carga y descarga en altamar.
- Buques con operaciones de buceo o Rov's.
- Buques de tendido y reparación de cableado.
- Buques mercantes. Normalmente para la navegación se utiliza el actual piloto automático, pero se empieza a implementar el sistema de DP como mejora en su desarrollo, sobre todo enfocado para maniobras de atraque y desatraque o para rutas de difícil acceso (canales). Evitaría el uso del ancla en fondeaderos, mejorando las condiciones medioambientales y el desgaste del ancla y sus elementos¹⁰.

Se ha podido ver que todos estos sistemas sustituyen en mayor o menor medida funciones de los marinos con respecto a la navegación.

Habría que preguntarse en qué medida, siendo estos sistemas totalmente eficaces y encontrando un sistema igualmente capaz de enviar estos datos a una estación en tierra de manera instantánea e ininterrumpida, sería posible la toma de decisiones y la monitorización del buque desde tierra.

2.2 Máquina desatendida.

Muchos buques operan hoy con maquina desatendida (UMS), pero se mantendrá guardia de tripulación cuando se arriba o zarpa de puerto, y durante las horas propias de guardia de los oficiales de máquinas durante el día. Para que se pueda operar en la condición de máquina desatendida, es necesario que las alarmas de

la maquinaria y el sistema de monitorización estén funcionando, entonces se establecen guardias en condición UMS de veinticuatro horas. En el momento en que alguna de las alarmas deje de funcionar se debe restablecer la guardia normal.

Al momento de ponerse al cargo el oficial debe inspeccionar los espacios de la máquina antes de tomar la guardia. Cualquier problema debe ser notificado al primer oficial de maquinas o jefe de máquinas. Antes de dejar la máquina desatendida durante la noche, el oficial de máquinas a cargo deberá cumplir una inspección ocular, asegurándose de que todos los ítems han sido comprobados.

La lista de comprobación o “checklist” de la máquina desatendida deberá ser utilizada sin excepción y sus ítems comprobados y firmados por el oficial de máquinas al mando.

La lista de comprobación trazará un recorrido ordenado alrededor de los espacios de la sala de máquinas. Una vez comprobado el recorrido, la hoja firmada se conserva como un registro permanente y se avisará al oficial de guardia en el puente. Es importante tener una rutina de puesta en marcha y un chequeo automático de parada de las alarmas. Estos chequeos deberán de ser registrados y junto con el libro de registros de alarmas y la lista de comprobación de la maquina desatendida, suministradas al Surveyor o Inspector de la Sociedad de Clasificación cuando se realice la inspección de la operación de la maquina desatendida¹¹.

Por poner un ejemplo, la empresa Transmediterránea recoge en su convenio un suplemento salarial a los oficiales de máquinas que, durante las horas ajenas a su guardia, atiendan a las alarmas del sistema UMS¹².

El sistema de máquina desatendida permite un control total sobre la máquina sin necesidad de apostar guardia las veinticuatro horas del día, de forma que cuando los oficiales de máquinas acaban su jornada laboral, pueden descansar siempre y cuando permanezcan en condiciones de atender una alarma que pueda saltar de imprevisto a cualquier hora.

Esto supone un ahorro importante en tripulación y se consigue que las horas de guardia sean más eficientes dando períodos de descanso a la tripulación. Por supuesto teniendo en cuenta que una guardia de veinticuatro horas cumplida por oficiales sería innecesaria funcionalmente y además muy cansada debido a las condiciones laborales (alta temperatura, iluminación artificial, exceso de ruidos...)

2.3 Puertos de última generación.

Con el paso del tiempo, la modernización del sector marítimo lleva a construir buques cada vez de mayor tamaño y a utilizar los contenedores como un método que facilite la carga y descarga en puerto. Por ello los grandes puertos del mundo y cada vez más de los pequeños, se han tenido que adaptar y modernizar. Se puede ver esta modernización en la actualización del equipamiento, en la prestación de servicios de valor añadido y en la utilización de tecnologías de última generación en informática y comunicaciones.

A la hora de construir los puertos existe una tecnología de estudio de maniobras de los buques, un simulador que reproduce el comportamiento de un buque durante sus maniobras de entrada o salida de puerto. Gracias a éste simulador se puede prevenir cualquier situación de los buques que se espera que atraquen en el puerto en cuestión y haciendo una construcción preventiva, para evitar futuras remodelaciones, con los consiguientes cierres de puerto, o accidentes con contaminación. Este sistema también ayuda a regular mejor el tráfico marítimo mediante la planificación estratégica del movimiento de los buques y la mejora en la previsión de las condiciones náuticas y meteorológicas¹³.

Los puertos de última generación disponen de redes telemáticas que comunican diferentes zonas portuarias y permiten la comunicación entre puertos, con el objetivo de diversificar su actividad, son los llamados “puertos en red”.

En la actualidad, la tendencia es implementar los “Smart Ports” o puertos inteligentes, ya que en un futuro serán los únicos que podrán atender la alta demanda de productividad y el cuidado del medioambiente, gracias también a que realmente generan unos gastos bastante controlados.

Los ejemplos más importantes de puertos españoles que ya están implementando el sistema Smart Port son:

- El puerto de Sevilla, con el proyecto Tecnoport de optimización del tráfico marítimo.
- El puerto de Vigo, que centra sus avances en la eficiencia energética y la monitorización de atraques utilizando el sistema Smart Viport. Un ejemplo de sus actividades sería el sistema de cámaras que realizará el control de llegada de cada buque y enviará la información al resto de los sistemas adecuando la iluminación para estas operaciones, aumentando la seguridad e identificando el espacio ocupado. De esta manera se reducen

los gastos en el momento de no actividad¹⁴.

- El puerto de Barcelona, dando grandes avances en los aspectos de logística utilizando el programa Port Challenge.

Partiendo de estos ejemplos se puede ver la tendencia de esta nueva moda. Los Smart Ports son la apuesta por el uso de la tecnología para transformar los servicios públicos de los terrenos portuarios para conseguir mayor eficiencia y control. Entre otras ideas, destaca el control de todas las matrículas de los vehículos, ya sean coches o camiones, que entran o salen de las instalaciones, con el fin de controlar, planificar y ordenar el tráfico interno del puerto, o incluir sistemas de previsión y alertas de seguridad; en definitiva, aumentar el rendimiento de cada dársena.

Sus beneficios se pueden empezar a contar en este momento, aunque a medida que se vaya implementando esta tecnología y vaya avanzando se sumarán muchas más ventajas, como toda la tecnología en desarrollo. Actualmente las más importantes son:

- Una rentabilidad comercial mayor, debido a la eficiencia y la buena gestión del puerto que repercutirá en el precio final del producto.
- La gestión de los puertos se simplifica y automatiza.
- Transformación digital, que permite la optimización de la carga, descarga y almacenamiento. Además se podrían detectar riesgos en el transporte marítimo como por ejemplo la climatología adversa o los altos niveles de contaminación¹⁵.

En conclusión, se puede observar que la tendencia de las instalaciones portuarias es a automatizar la mayoría de los sistemas de puerto para llevar un mayor control, aumentar la seguridad, reducir gastos y en definitiva hacer más eficientes las actividades en puerto para optimizar tiempo y espacio. La tendencia también es a crear una red de puertos marítimos y puertos secos interconectados que permitan mejores comunicaciones, mayor eficiencia en el transporte, almacenamiento de la carga y optimización del tráfico.

2.3.1 Sistemas de amarre automático.

Durante la vida útil de un buque, pasará muchas horas amarrado a puerto, por lo que los dispositivos que unen el buque al muelle juegan un papel importante para

la industria naval, así que su desarrollo se debe atender tanto como en el caso de los buques. Durante la historia de la navegación, quizás ésta es la materia más pendiente de evolución, ya que la mayoría de las modernizaciones tienen que ver con mejorar los materiales de los sistemas clásicos y no con crear realmente una nueva tecnología¹⁶.

Echando un vistazo al presente, vemos que los sistemas de amarre tradicionales siempre se han hecho mediante cabos cuya eficiencia depende siempre del ángulo que formen con la horizontal y la vertical del muelle, de forma que consiguiendo apartar al buque del muelle se conseguiría un incremento de su eficiencia y se podría reducir el número de cabos a utilizar, pero ni es factible apartar al buque del muelle, ni los ángulos formados con el muelle se pueden programar, sino que depende de las mareas y de la carga. Además si se pudiera aumentar la longitud del cabo podría resistir mejor los esfuerzos dinámicos aunque pierden resistencia, mientras que si se recorta su longitud pueden sufrir una mayor sobrecarga aunque ayuda a limitar el movimiento del buque. Se puede apreciar que cualquiera de los dos remedios tiene sus ventajas y desventajas, así que se necesita encontrar una tecnología que supla estas carencias.

Además de los cabos en el sistema de amarre también intervienen elementos como los norays, las bitas y los cabrestantes o chigres, con sus ventajas, desventajas y limitaciones.

La mayor desventaja que deriva del sistema actual de amarre es la cantidad de accidentes laborales que producen al año, y todavía es más preocupante que el número de accidentes aumente cada año. La mayoría están provocados por falta de coordinación entre el puerto y el buque o debido a las prácticas peligrosas en las operaciones de amarre.

Según un estudio de las autoridades portuarias de los puertos de Japón que crearon la división para la investigación de accidentes marítimos, de todos los accidentes registrados, el 28% resultan en una lesión leve, y el restante 72% resulta en accidentes graves e incluso la muerte en la mitad de estos casos.

Tanto en este estudio como en el de Gran Bretaña (UK Club 2009), y en Dinamarca, concluyeron que los golpes debido a rotura o sacudida de cabo son el mayor peligro.

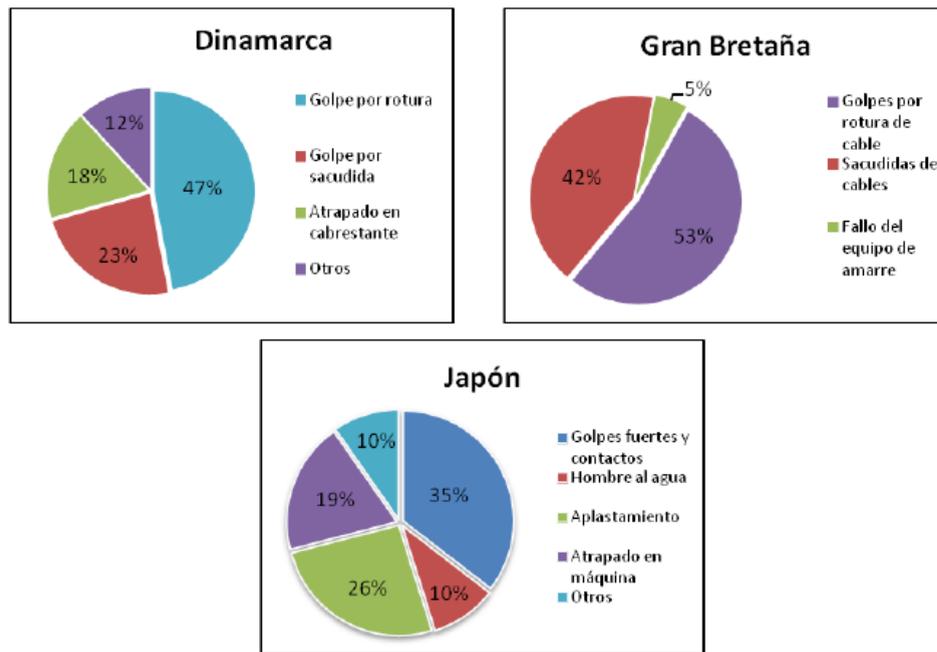


Figura 2.3.1.1 Estadísticas de accidentes en operaciones de puerto

Para la prevención de los accidentes a bordo en operaciones de amarre, se deben considerar ciertos puntos de vista entre los que destacan el mantenimiento del material y de los equipos, la supervisión de las operaciones por personal cualificado y la protección de los tripulantes mediante diferentes medidas.

Los sistemas más populares son:

- Sistema hidráulico "Shoretension": Complementa al tradicional sistema de amarras. Es un dispositivo con dos extremos, el extremo fijo se une a un bolardo o noray, mientras la parte móvil se una a las amarras que se pasan por otro noray para corregir su dirección hacia el buque. El propio sistema avisa al personal cuando necesita aplicar tensión y la reajusta, porque necesita corriente eléctrica extra. Para un único buque se necesitan 4 dispositivos con un coste de 75.000 euros cada uno.



Figura 2.3.1.2 Sistema shoretension

- Bolardo semiautomático. Consiste en un dispositivo con un brazo situado en el muelle y teledirigido desde el puente del buque. Se debe encapillar la amarra en el gancho situado en el brazo del dispositivo y después retornarla a bordo. Una vez en cubierta, se tensa con el cabrestante. A partir de ese momento el reajuste de las tensiones se hace automáticamente mediante el movimiento del brazo del bolardo semiautomático. El brazo tiene tres sistemas diferentes: un sistema hidráulico que permite que el brazo sea telescópico, otro sistema hidráulico para inclinarse y un sistema eléctrico para poder ser teledirigido.



Figura 2.3.1.3 Bolardo semiautomático

- Vagón metálico semiautomático. Este sistema de amarre, consiste un brazo metálico que se agarra al casco del buque. Para ello, se debe realizar una pequeña modificación en la obra muerta, practicar dos puntos de amarre ubicados a popa y a proa del buque y consistirán en un cilindro en una zona hueca del casco. El operario desde el propio buque dirige el brazo al gancho del buque aunque también se pueden programar las posiciones de amarre y desamarre que sería una opción viable en el caso en el que el

buque visite frecuentemente el mismo puerto.



Figura 2.3.1.4 Vagón semiautomático

- Sistema de amarre por vacío: No necesita instalaciones específicas en el barco. El sistema permite la unión de la plancha del casco del buque con el muelle con unas ventosas que soportan hasta 9 toneladas por metro cuadrado. El sistema es retráctil y la conexión se hace en unos segundos. Actúa con tres grados de libertad, y monitoriza a distancia los movimientos en tiempo real a través de redes informáticas, de manera que las tensiones que soporta tanto el sistema como las planchas de buque están continuamente monitorizadas. Gracias a este sistema se elimina toda interacción con estachas, por lo que disminuye el riesgo de daños personales, otra ventaja es que se producirán menos paradas en el trabajo de carga y descarga debido al mayor control que existirá sobre los movimientos de buques en puertos expuestos a oleaje.



Figura 2.3.1.5 Amarre por vacío

- Amarre magnético. Similar al anterior pero en vez de ventosas de vacío emplea placas imantadas. La altura de las placas se reajusta durante las operaciones en las que varía el calado del buque. Actualmente hay un prototipo en pruebas entre dos buques de bunkering.

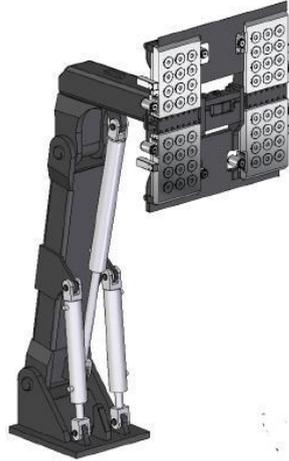


Figura 2.3.1.6 Amarre magnético

Todos estos dispositivos, perteneciendo a infraestructuras en tierra, alimentan el crecimiento del sector marítimo de numerosas formas, haciéndolo más eficiente, un ejemplo de uso de tecnologías puntas en el que depositar confianza e inversión y un sector puntero en el cuidado de la seguridad de todo el personal relacionado que trabaja en él.

El transporte marítimo, que sale en todos los estudios como gran superviviente al paso del tiempo, lo es por su constante evolución. Viendo el cambio continuo que se hecho hasta llegar a la tecnología empleada hoy en día, que se ha presentado en este capítulo, se entiende que estos no serán sus últimos pasos.

La tecnología de la automatización es una realidad en muchos aspectos de la vida normal de la gente; coches autónomos, domótica en los hogares, la tecnología aplicada en implantes médicos... Todo se basa en la autonomía, así que el sector marítimo, que tiende a ir incluso un paso por delante en materia de tecnología, es de esperar que tienda a llevar cada vez más sistemas autónomos a todas sus actividades comerciales¹⁷.

3 LA TECNOLOGÍA EN LOS BUQUES AUTÓNOMOS

El sueño de botar buques autónomos a la mar, se lleva persiguiendo durante mucho tiempo. Desde los años 80 y con el aumento de los sistemas con funcionamiento automático a bordo, este sueño parece cada vez más posible de realizar. Aún así son muchas las dudas que suscita este tema.

Para empezar, la fiabilidad de los sistemas autónomos a bordo siempre puede ser puesta en duda. Además a la hora de fijar instrumentos básicos para la prevención de accidentes marítimos, podría nunca ser suficiente, y del mismo modo se antoja una tarea muy difícil llegar a legislar una situación tan nueva y diferente pero que a la vez está en un campo en el que parece que todo estuviera escrito. Llegar a redactar una legislación desde cero tomaría mucho tiempo y por supuesto sufriría muchas modificaciones en sus primeros tiempos a causa de la sucesión natural de pruebas y fallos a las que se somete cualquier sistema innovador.

Pero quizás el mayor de todos los retos al que se enfrenta esta tecnología será el de establecer el límite entre la responsabilidad y la toma de decisiones humanas o de las máquinas. Es interesante plantearse en qué punto la máquina debería reunir toda su información, y planteársela a un operador de carne y hueso que finalmente tome las decisiones. También es interesante pensar cuan procesada o simplificada debería estar esta información. El operador debe recibir un conjunto (que será bastante abultado) de datos del sistema sobre el estado general del buque; o quizás debería recabar la información procesada de forma más simplificada o esquemática, que permita una respuesta más inmediata, pero podría perderse información por el camino, o quizás el operario podría no ser capaz de detectar algún error al suprimirle parte de la información.

Puede parecer obvia la opción de recrear un puente de mando con los mismos instrumentos que reciban la información real e instantánea de los instrumentos a bordo, y crear una visión panorámica con cámaras instaladas en el buque, pero, ¿Estaríamos realmente hablando de un buque autónomo, o simplemente teledirigido? ¿En qué punto se diferenciará el trabajo autónomo de un buque del trabajo del operario a distancia? ¿Qué límites se le pueden poner a la automatización?

En realidad no existe una respuesta única para ninguna de las preguntas que se puedan plantear sobre el tema, pero sí hay que conocer las tecnologías a

disposición del sistema, o lo que aún está en estudio, para poder dar alguna respuesta.

3.1 Grandes proyectos en desarrollo acerca del estudio de la navegación autónoma.

Es importante para entender la repercusión global que está teniendo el mundo de los automatismos en la mar, tener en cuenta y analizar la cantidad de proyectos a nivel mundial que se están desarrollando.

El negocio del transporte marítimo mueve grandes sumas de dinero alrededor del mundo cada año, y muchas de las grandes empresas tienen participación en mayor o menor medida en éste negocio. Es por eso que cualquier cambio en el transporte marítimo afecta a tantos intereses comerciales.

El afán de competitividad entre las compañías es un punto a favor para poder sacar adelante una gran variedad de proyectos en todo el mundo. A continuación se presentan algunos de los más importantes:

3.1.1 Maritime Unmanned Navigation Though Intelligence Network (MUNIN)

Fue un proyecto que comenzó en 2012 y se terminó en 2015 lanzado por la Comisión Europea, cuyo objetivo era analizar la viabilidad técnica, económica y legal de los buques autónomos.

El proyecto llegó a tres conclusiones fundamentales que trazan un claro paralelismo con las leyes de la robótica de Asimov:

- Los buques serán controlados por los sistemas de navegación a bordo pero siempre bajo supervisión de un operario en tierra.
- Los buques autónomos deben ser capaces de minimizar el riesgo de colisión y siempre cumplir con las COLREG's
- Los sensores utilizados para las operaciones de navegación y para la seguridad deberán permanecer disponibles para ser utilizados en operaciones de búsqueda y rescate.

Incluso se llegó a diseñar una singladura en la que habría una tripulación mínima a la hora del atraque y desatraque; y una situación de total autonomía sin tripulación durante el viaje. Para esta operación el proyecto MUNIN planteaba:

- Un sistema de vigía mediante la superposición de imágenes a la luz del día y con cámaras de infrarrojos durante la noche, superpuesta a los datos RADAR Y AIS y sistema acústico.
- Un sistema de navegación basado en el seguimiento de rutas predeterminadas reconduciendo el viaje con arreglo a evitar colisiones.
- Cámara de máquinas desatendida.
- Un centro de control en tierra que tuviera: un operador (puente), un ingeniero (máquinas) y un equipo de toma de decisiones.

Finalmente se concluyó que el sistema autónomo era viable en todos los sentidos y que además podría ser más seguro que el actual al entenderse que algunas de las funciones sensibles a fallar por error humano, son cubiertas por sistemas más precisos y que en la distancia, problemas como la fatiga quedarían mitigados.

3.1.2 AAWA (Iniciativa de aplicaciones avanzadas para la navegación autónoma)

Es un proyecto lanzado en 2015 por la empresa Rolls-Royce, compañía líder en sistemas energéticos y de propulsión marina, aeroespacial, etc. El proyecto fue liderado por TEKES (Agencia de Tecnología e Innovación Finlandesa) y su objetivo era agrupar a universidades, investigadores, sociedades de clasificación e ingenieros navales para debatir sobre la eficiencia del sistema de navegación autónoma.

Se llegó a la conclusión de que la tecnología que existe hoy en día podría ser suficiente para poner en marcha el sistema de navegación autónoma, pero que el problema reside en la integración de éstos y en establecer los órdenes de prevalencia entre los datos obtenidos.

Tres son los temas más sensibles según las conclusiones de este proyecto:

- La seguridad tanto derivada de las operaciones como de la propia construcción del buque
- Los retos legales
- La confianza de los fletadores a contratar este servicio para contratar sus cargas.

3.1.3 ReVolt (DNV-GL)

DNV-GL es la sociedad de clasificación más grande del mundo acorde con el número de buques registrados por ellos.

Han lanzado un proyecto bautizado como Re-Volt en el que se planteaba un nuevo concepto de buque autónomo, que emita cero emisiones y propulsado por baterías. Plantean buques de aproximadamente 1800 DWT y capacidad de 100TEU; buques de cabotaje a los cuales creen que puede beneficiar el proyecto Re-Volt ahorrando unos 34 millones de dólares en al mes según sus cálculos.

Actualmente sus investigaciones en colaboración con la Universidad de Ciencia y Tecnología de Noruega (NTNU) van encaminadas hacia el avance en la fusión de todos los sensores que un buque podría llevar a bordo para crear su propio software anti colisión.

3.1.4 Guía “Cyber-enabled ships” (puesta en marcha informatizada)-Lloyd’s Register.

Lloyd’s Register fue la primera sociedad de clasificación, fundada en 1760, y ha llegado hasta nuestros días situada en el pódium de las sociedades de clasificación más importantes. Gran parte del éxito de toda gran empresa de larga antigüedad es la renovación, y es por eso que en especial LR está a la vanguardia de la tecnología relacionada con los buques autónomos. Además de elaborar un borrador sobre legislación para este tipo de buques (borrador sobre el que se podrá leer más adelante) elaboraron una guía con una estructura muy esquemática sobre procedimientos de seguridad en este tipo de buques.

Esta guía parte de la identificación de 6 tipos distintos de riesgos para la integridad del buque y la navegación propios de los buques autónomos:

- El propio sistema. Problemas mecánicos y eléctricos que lo inutilizarían.
- El factor humano. Porque cada sistema habrá pasado por manos de algún operario y son ellos los que deciden cómo manejarlo.
- Software. Fallos electrónicos.
- Comunicaciones
- Fiabilidad de los datos recabados
- Ciber seguridad. Hackers.

Esta guía explica para cada riesgo los factores que se deben tener en cuenta y en forma de esquema de llaves organiza los puntos a tener en cuenta para prevenir de manera muy eficiente dichos riesgos.

3.1.5 AMOS. Sistemas y Operaciones Marítimos Autónomos.

Asentado dentro de la prestigiosa Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología, el proyecto AMOS cuenta con la participación de colaboradores a nivel nacional e internacional como el Consejo de Investigaciones de Noruega, Statoil, DNV-GL, MARINTEK, SINTEF pesca y acuicultura y SINTEF ICT.

Este proyecto abarca todas las actividades llevadas a cabo en un centro para la investigación de todos los aspectos físicos y técnicos de la navegación autónoma, mediante estudios numéricos, teóricos, hidrodinámicos y mecánicos de todos los aspectos relacionados con la estructura del buque, su maniobrabilidad, vigilancia e informatización de los perfiles de la costa y sus fondos, explotación de las energías renovables, navegación autónoma guiada por sensores y su optimización, etc.

3.1.6 Desarrollo de Buques Autónomos para Vigilancia Marítima.

Posiblemente uno de los proyectos más interesantes y viables a corto plazo es el de la construcción de pequeñas embarcaciones autónomas para labores de vigilancia y telemetría, todo tipo de mediciones a distancia.

A raíz de esta idea nace el proyecto del instituto KRISO (Instituto de Investigación de la Ingeniería Marina de Korea) nacido en 2011 y que se centra en la construcción de pequeños buques autónomos para vigilancia marítima en aspectos como la pesca furtiva o la contaminación marítima.

Estas pequeñas embarcaciones serán dirigidas desde un buque nodriza y tendrán las siguientes características:

- Sistema de arriado e izado semiautomático desde el buque nodriza
- Desplazamiento máximo de 3 toneladas y velocidad máxima de 45 nudos en aguas e hasta fuerza 4.
- Sistema de comunicación satelitario
- Sistema de propulsión Waterjet y diseño de casco para planear a altas velocidades

- Navegación autónoma mediante los sistemas RADAR, AIS, LIDAR y cámaras.
- Detectores de obstáculos y sistemas para evitar colisiones.
- Función de vigilancia con sistemas EO/IR y sónar multihaz.



Figura 3.1.6.1 Modelo barco de vigilancia marítima

Además de estos ejemplos, cada día son más los proyectos a nivel mundial que tratan de establecer pautas en múltiples aspectos para que el mundo de la navegación autónoma llegue a convertirse en realidad¹⁸.

En Europa, los países que dominan el comercio marítimo, cuentan ya con instituciones dedicadas al tope de sus capacidades a este tema, por ejemplo:

-Noruega: Rolls-Royce Marine (RR Operation Center), Knogsborg, DNV-GL.

-Finlandia: Tekes (Finish Funding Agency for Innovation), Universidad de Turku, Universidad Tecnológica de Tampere.

-Dinamarca: Danish Maritime Authority, Universidad Técnica de Dinamarca (DTU)

-Reino Unido: UK Maritime Autonomous Systems Regulatory Working Group (UKMASRNG), Lloyd's Register.

-Unión Europea: MUNIN (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks)¹⁹

3.2 Estaciones de Control en Tierra. (ECT)

El negocio del transporte marítimo avanza hacia nuevos retos como el aumento en el volumen de mercancías debido al crecimiento de la población y a la competitividad del sector, especialmente en el momento en que se saquen adelante todos los proyectos de empleo de energías renovables y menos

contaminantes. La tecnología de los buques autónomos puede ser una buena forma de asumir los retos que se presentan, además de una buena optativa para todas aquellas personas que tengan una vocación orientada al mar pero que no quieran renunciar a una vida en contacto con sus seres queridos, y más en la era de la comunicación en la que vivimos.

El futuro de los marinos mercantes en el mundo de la navegación autónoma pasa por las Estaciones de Control en Tierra (ECT), que serán centros de control desde los que se monitorizan y dirigen los buques. Estas estaciones serán imprescindibles ya que la tecnología autónoma de los buques siempre debe ser supervisada y manejada por un operario humano, que tiene el raciocinio, los conocimientos y la ética para abordar infinidad de situaciones de la manera más adecuada²⁰.

3.2.1 Funciones de las ECT

Estas estaciones están planteadas como un grupo de equipos de trabajo. Al igual que una tripulación, varios operarios se encargarán del control continuado del status del buque, y serán supervisados por jefes de grupo. Para los casos en los que hay que tomar el mando del buque ya sea por avería, situación comprometida, maniobras, etc; se contará con un Capitán y un Jefe de Máquinas para dirigir las operaciones.

A día de hoy se plantea que la ECT preste servicio durante la navegación entre dos puertos, pero que en las maniobras de atraque y desatraque exista a bordo un grupo de marinos que asuman el mando del buque, manteniendo la comunicación con la ECT y siempre bajo las órdenes del Capitán en la ECT. Este es el modelo del estudio MUNIN de la Unión Europea, uno de los más amplios y fiables.

Sería interesante estudiar varios formatos de control de los buques autónomos. Teniendo en cuenta que la eficiencia del sistema para que un mismo grupo humano sea capaz de controlar un número más o menos amplio de buques, existen distintas posibilidades. Por ejemplo podría darse el caso de que una misma ECT dirija a un grupo exclusivo de buques durante todo su trayecto, con la ventaja de que llevarían el control de unos buques que generarían unos parámetros que les podrían resultar familiares, por la contra la desventaja sería que al tener barcos en puntos distintos del globo, las zonas horarias, meteorología y visibilidad podrían ser muy distintas. Por otro lado se podría considerar que la

misma ECT dirigiera un área específica y a todos los buques que naveguen, entren o salgan de esas aguas; la mayor ventaja sería tener el control total del tráfico de una zona y aproximadamente las mismas condiciones de visibilidad y meteorológicas; pero también tiene desventajas, y es que el compartir la información de una ECT a la siguiente requiere de un gran trabajo a nivel informático y personal a la hora de intercambiar información sobre las rutas, con la pérdida de tiempo que requiere y la posible saturación informática; y a su vez la zona afectada podría oscilar desde una situación de tráfico nulo a una sobresaturación de tráfico que comprometiera la seguridad de las operaciones.

En este caso se va a explicar el modelo de ECT desarrollado por la Unión Europea en su proyecto MUNIN ya mencionado. Según el programa, la forma más eficiente es que una misma ECT controle un grupo cerrado de buques. Y a partir de este modelo de ECT se describirá su esquema.

Algo que no aclara el modelo de MUNIN es el formato de las ECT, es decir, si serán agentes de la propia naviera que controlen todos sus buques, si serán organismos nacionales que controlen los buques bajo su bandera, si serán servicios privados solicitados a demanda y con entidad propia como agencias o sociedades, o cualquier otro posible formato. Dado que el único modelo en el que es posible basarse como empresa privada es el modelo de Rollce-Royce, se podría suponer que ese es el futuro; una naviera privada que controle sus propios buques.

La navegación autónoma debe cubrir las mismas funciones necesarias para la navegación que la convencional, como son: la elaboración de un plan de viaje, vigía, guardias de navegación, maniobra, comunicación, administración y burocracia, gestión de emergencias, etc. Aunque muchas de las tareas durante la navegación ya son actualmente desempeñadas por máquinas, todas aquellas que son dependencia de las personas se trasladan ahora al puesto ECT con ayuda de un módulo de sensores avanzado (MSA). Además del MSA, que es el elemento más novedoso en los buques autónomos, también es imprescindible que el buque cuente con puente integrado y régimen de máquina desatendida además de integrar el software de navegación autónoma (SNA).

Cumplidas estas premisas, se puede fijar el funcionamiento del buque autónomo coordinado por la ECT partiendo del punto en el que el operador carga el plan de viaje y el tratamiento operacional. A partir de este punto el buque debería ser

capaz de llevar a cabo la navegación en condiciones de rutina sin intervención del ser humano.

Antes de conocer las funciones de los operarios en la ECT, es necesario describir los sistemas más importantes que hacen posible la “navegación a distancia”:

- El sistema SNA, software de navegación autónoma. Este sistema está diseñado para la navegación completamente autónoma en aguas abiertas, para seguir un plan de viaje previamente fijado de la forma más eficiente y segura teniendo en cuenta las condiciones externas. Cumpliendo con las restricciones propias de los códigos STCW, IMO MSC Y COLREG, debe llevar a cabo la navegación entre un punto de partida y otro de llegada contando con las prestaciones del puente integrado; además de controlar la estabilidad y flotabilidad, evitar las colisiones y gestionar alarmas de navegación. Ya que los peligros más comunes de la navegación en aguas abiertas son la colisión y la varada, el SNA tiene la responsabilidad de minimizar estos riesgos anticipándose a ellos con la optimización de la ruta y de los procedimientos de emergencia mediante algoritmos que trabajan sobre las premisas de las COLREGs. Para programar estos algoritmos se somete al sistema a infinidad de situaciones simuladas para su prueba y aprobación.
- El sistema MSA (módulo de sensores avanzado). Su objetivo es el de tener la sensibilidad necesaria para captar todos los aspectos referentes a las condiciones externas y al tráfico y enviar información suficiente al operario que garantice una navegación segura. Este es el sistema que sustituye la función de vigía y observación de las condiciones externas y es imprescindible para poder cumplir con la COLREGs, minimizar el riesgo de colisión y aportar seguridad al viaje. Por supuesto cada tipo de sensor tiene sus propias limitaciones, por eso existe un sistema de fusión de sensores (SFS) que recoge la información del módulo de sensores y combina los espectros y rangos más exactos de cada uno.

El módulo de sensores a parte de proveer al sistema de navegación y a la ECT de información, también está directamente conectado al sistema de alarmas del buque, y se activará en el momento que se sobrepasen los umbrales fijados por los operadores. La lista de posibles alarmas es inmensa, desde alarmas de la máquina, motor principal, auxiliares,

bombas, instalación eléctrica, alarmas de navegación por peligros a la vista, incendio o inundación que activará a su vez los medios de extinción, achique y cierre oportunas. También existen alarmas que saltan en caso de haber recibido mensajes de socorro que se trasladan directamente a la ECT, de la misma manera que ciertas alarmas a bordo pueden generar sus propios avisos de socorro (distress) transmitidos por medio del sistema GMDSS. El objetivo del sistema de alarmas es proveer al operario en tierra de una ventana centralizada de gestión de todo el estado del buque y sus alarmas^{21 20}.

Estos dos sistemas producen información suficiente como para que el buque se gobierne por sí mismo, pero siempre llega la misma información a los operarios en tierra para mantener vigilancia sobre las maniobras del sistema y corregirlas en caso necesario. De esta forma el trabajo en tierra se convierte durante la navegación rutinaria en una supervisión de un sistema de navegación autónoma que trabaja con información derivada de la retroalimentación entre diferentes componentes del buque.

Así la cámara de máquinas envía información al SNA para producir cálculos de estabilidad, comportamiento del buque o control de alarmas entre otros. El puente integrado informatiza, reúne y superpone los datos de todos los datos de navegación y GMDSS y rellena con ello los parámetros del SNA. El SNA por una parte procesa toda esta información para dirigir el piloto automático, pero a su vez está compartiendo la totalidad de los datos con el ECT, y el control podrá modificar las órdenes del SNA en cualquier momento en el que se comprometa la seguridad o la eficiencia de la navegación.

Una vez explicada la manera en la que la ECT recibe los datos para poder tener el control sobre el buque, se va a explicar el planteamiento que hace el proyecto MUNIN sobre el trabajo en la ECT.²¹

3.2.2 Esquema de trabajo en una ECT.

En este proyecto se nombra un operador en un puesto de mando responsable de seis buques.

Los operarios y el supervisor se encargarán de las labores típicas de una guardia, incluido el cubrir el cuaderno de bitácora y previamente a la navegación cargar el plan de viaje en el SNA.

Cada puesto de mando cuenta con seis pantallas, una por buque, otro monitor en el que se presentan las cartas electrónicas ENC, una pantalla de gobierno, un RADAR y una carta meteorológica que estaba en desarrollo en el momento del estudio. Las pantallas dedicadas a cada buque se presentan en formato de capas. En la primera capa se presentan nueve paneles con comandos que corresponden a todas las alarmas del buque, y aparecerá a su lado una bandera de color verde, amarillo o rojo según su estado. La bandera verde significa que está en buen estado o que su funcionamiento no obstruye la navegación o que el propio sistema es capaz de subsanar los desvíos de los valores normales. Si algún comando difiere del color verde implica que necesita ayuda del operador para la corrección, si la bandera es amarilla se trata de una situación no crítica que quizás no requiera de una intervención de emergencia por parte del operador, pero sí se precisa que controle la evolución de los parámetros para asegurarse de que evoluciona favorablemente. Si la bandera es roja indica una situación crítica en la que el operador debe ponerse al mando y tomar medidas correctivas inmediatas. En la situación de bandera roja el operador podrá silenciar la alarma y tratar con los medios disponibles de corregir la situación o podrá pedir la ayuda del supervisor, y será responsabilidad de éste poner al mando al Capitán o al Jefe de Máquinas. El capitán es en todo momento el responsable de la división de la ECT formada por los seis operarios, el supervisor, el Jefe de máquinas y él mismo. En todo momento aparecerá un piloto al lado de cada comando que indique en qué modo está operando, si en modo manual o autónomo.

Para la maniobra de entrada y salida de puerto, deberá embarcar un grupo de marinos nombrado ECB (equipo de control a bordo), que toman el control manual del buque permaneciendo constantemente en contacto con la ECT y al mando del capitán, quien decidirá si el buque se gobierna in situ o desde los mandos del control en tierra, teniendo en cuenta siempre la integridad del buque y la tripulación. Podría establecerse un paralelismo entre esta situación y la práctica habitual de práctico a bordo; personal a bordo que asiste al capitán en la maniobra, pero ello no implica que el propio capitán tenga la última palabra y la responsabilidad sobre la maniobra.

En los casos de entrada y salida de puerto habría que contar además con otros sistemas que se están desarrollando y que se explicarán más adelante. Se trata de informatizar parámetros mediante boyas y dispositivos en tierra, que proporcionarían datos muy exactos sobre el perfil de la costa, fondos, situación meteorológica, del tráfico u obstáculos a cada momento. Por supuesto estos dispositivos estarían vinculados a un centro propio de cada territorio, así que las ECT también contaría con esta ayuda para las entradas y salidas de puerto, incluso podrían alimentar al propio SNA para casos de navegación costera, aproximaciones a tierra, canales o paso por dispositivos de separación de tráfico.²⁰

3.2.3 Ejercicios simulados en una ECT

Siete voluntarios con distintas especialidades participaron en el estudio y se les propusieron varios ejercicios de simulación en situaciones habituales que se podrían encontrar en una navegación. Para ello se les asignaron los distintos roles para componer un grupo ECT y se plantearon seis escenarios distintos:

- Navegación en aguas abiertas: En el caso de tener que maniobrar a otro buque para evitar una colisión en alta mar, el sistema SNA deberá seguir los parámetros fijados por las COLREGs para evitar el abordaje por sí mismo. Aún cuando el sistema es fiable deberá mandar una señal al operador de la ECT en forma de bandera amarilla para indicar que debe supervisar sus acciones. En este caso el operario debe supervisar la maniobra del buque desde que comienza hasta que está fuera de peligro, cuando se cambiará el color de la bandera.
- Navegación en aguas abiertas II: Existe la posibilidad de que el propio SNA no se vea capaz de resolver una situación de colisión o detecte que la seguridad está comprometida, en este caso mandará un aviso en forma de bandera roja al operario. El operario debe en este caso avisar inmediatamente al supervisor, y realizará la maniobra de forma manual mediante la pantalla de mandos hasta que finalice el peligro, momento en el que devolverá los mandos al buque.

- Fallo de las bombas en la cámara de máquinas: En esta simulación, el operario era informado mediante una bandera amarilla de un fallo en la bomba de inyección. Debería entonces aceptar la alarma y dar aviso al supervisor para formar un comité de gestión de riesgos en el que se evaluará con el Jefe de Máquinas al frente, la mejor medida a tomar después de estudiar en profundidad el funcionamiento de la instalación. El Jefe de Máquinas informará al Capitán de la unidad de las recomendaciones a seguir y será éste el que tome la última decisión informando al operador de las acciones a llevar a cabo.
- Rebose de agua en la cámara de máquinas: Se tomarían medidas similares a las del supuesto anterior.
- Maniobra del buque: En los casos de entrada y salida de puerto en los que embarcan las tripulaciones ECB el Capitán de la ECT y el operador trabajan juntos para en un principio ponerse al día de la situación del buque y su status. Después se pondrán en contacto con el ECB para confirmar el punto de embarque y la ETA. Una vez la tripulación está a bordo, guiarán al Capitán y al operador en la navegación proporcionándoles datos de su impresión in situ que serían muy difíciles de transmitir por una máquina, además de ser una señal auditiva mucho más efectiva que tener que ocupar capacidad de trabajo en estar leyendo otra pantalla. Otra ventaja es que en caso de emergencia y fallo del control remoto, la tripulación ECB podrán tomar los mandos manuales del buque siguiendo en contacto con el capitán, disminuyendo así el riesgo de colisiones y contaminaciones.
- Embarque y desembarque del ECB: Es una situación de igual riesgo que la anterior. El momento de embarque y de transferir los mandos, si es preciso maniobrar desde el buque, es de vital importancia para el éxito de la operación. Por ello las partes deben permanecer en todo momento en contacto y transmitir todos los pasos. Se llevarán a cabo chequeos minuciosos sobre el funcionamiento de los sistemas de navegación del puente integrado y de los elementos de seguridad para la tripulación. Puede que por este motivo, el embarque del ECB se haga con bastante tiempo de antelación y sea una de las

operaciones más delicadas. También es por ello que es preciso que haya más de una persona a bordo.²¹

3.2.4 Resultados y conclusiones.

Al final del ejercicio de simulación se le entregó a cada uno de los voluntarios un test de valoración personal. Este test estaba basado en el formato SART que evalúa a pilotos de avión y se aprovechó para este caso. El test evaluaba diez aspectos como: precariedad o inestabilidad de la situación, complejidad de la situación, variabilidad de la situación, estrés personal, concentración, nivel de atención, capacidad de respuesta, cantidad de información, calidad de la información y familiarización con la situación. Debían valorar cada aspecto en una escala del 1 al 10.

Con las respuestas de los participantes se pudo generar una gráfica con cuatro parámetros destacados: Eficacia, eficiencia, seguridad y satisfacción.

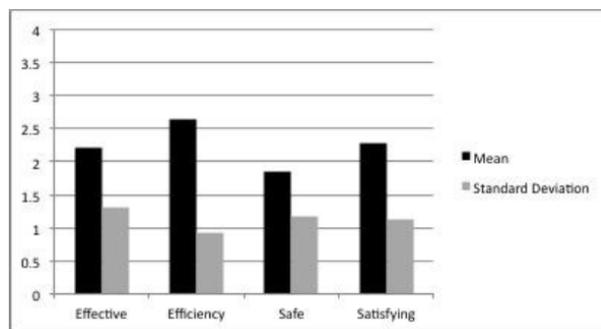


Figura 3.2.4.1 Valoraciones de la tecnología autónoma

En la gráfica se ven los valores con los que se puntuaron los parámetros mencionados con una puntuación de 1 a 4, siendo la barra negra la media de las puntuaciones, y la barra gris la desviación estándar.

Del análisis de los resultados de las dos encuestas se puede concluir que la media de valoraciones ronda los cinco puntos sobre diez, destacando varios dieces. Y con respecto a los cuatro parámetros mencionados, el mejor valorado es la eficiencia y el que menos nota recibe es la percepción de seguridad que transmite el sistema.

En el caso de la baja percepción de seguridad, las entrevistas posteriores revelaron que los participantes sentían una sensación de falta de presencia y echaban en falta sentir el propio barco. Los datos presentados de manera virtual

en las pantallas hacía que echasen de menos la percepción del entorno y sobre todo la sensación auditiva y visual.

Por la contra valoraron muy positivamente la eficiencia del control centralizado, la presentación de los datos y el sistema de banderas al ser muy intuitivo. Además dijeron que la aportación de recomendaciones por parte del SNA fue de gran utilidad. A la pregunta de si considerarían que un operario adecuadamente entrenado en el manejo del dispositivo sería capaz de manejar un buque real, la mayoría coincidió que una vez adaptado al cambio de sensaciones, el sistema parecía completamente apto.

Como conclusión principal sobre la adaptación de los marinos a este nuevo sistema, pudieron deducir que para las tareas de navegación rutinarias el sistema es muy efectivo y que aporta facilidades a la navegación. Sin embargo para las situaciones puntuales en las que el operador tiene que tomar el mando, el sistema de navegación SNA que discrimina la información para reflejar en la pantalla sólo los datos útiles y necesarios, provoca una situación de confusión e inseguridad para ellos. Aún cuando se entiende que la sobreinformación es una causa de distracción y entorpecimiento del marino, los operarios echaban de menos el tener ellos el poder de discriminar la información necesaria, y apuntaron que si esta discriminación les viene dada sentían un vacío que les infundía inseguridad.

Al final concluyeron que la automatización es una solución más en el proceso de crear buques sin tripulación, pero no es la solución a todos los aspectos. Los trabajadores deben familiarizarse con un sistema controlado de forma primaria por una máquina y estudiar todas las variantes del formato para prevenir posibles situaciones no programadas, ya que no todos los fallos del sistema pueden ser predichos por el mismo.²¹

3.2.5 Otros tipos de instalaciones en tierra.

El hecho de que los buques estén evolucionando hacia no llevar tripulación a bordo implica que hay muchas tareas que se dejarán de llevar a cabo, principalmente las de mantenimiento. Aunque se van a tratar las labores de mantenimiento estructural en el siguiente punto, si es preciso nombrar las estaciones en tierra que se encargarán de estas tareas. Es de imaginar que en las mismas ECT habrá una comisión de mantenimiento que coordinará todas las labores que habrá que efectuar en los distintos puertos, y contratarán a los

agentes que se puedan encargar, ya sean empresas privadas (revisión de equipos de extinción, revisión de equipamiento de seguridad para las tripulaciones ECB, lavado de tanques, reposición de material, etc) o si hubiera agentes propios del puerto que se encargarían de llevar a cabo otro tipo de mantenimientos (endulzado, aguada, carga y descarga, etc).

3.3 Construcción de buques autónomos.

Hasta hace relativamente poco tiempo la idea de contar con buques no tripulados era solo un proyecto sobre el papel, pero en los primeros años de este milenio empiezan a aparecer empresas muy importantes a nivel mundial que están realmente interesados en esta idea.

Gracias a la inversión de grandes empresas navieras y de transporte de mercancías hoy se les puede poner nombre sobre el papel a los elementos que conforman la estructura de un buque autónomo.

Fuera de los grandes proyectos, también pequeñas entidades se animan a presentar al mundo los diseños de sus prototipos, por lo que se abre un abanico impresionante de formas de entender el camino que ha de seguir la automatización de los buques.

3.3.1 Yara Birkeland.



Figura 3.3.1.1 Prototipo Yara Birkeland

El proyecto más importante en materia de construcción de buques autónomos es seguramente el proyecto Yara Birkeland. La empresa KONGSBERG es la responsable del desarrollo del primer buque portacontenedores “cero emisiones” de propulsión eléctrica y completamente autónomo. Este proyecto cuenta con el apoyo del Ministerio Noruego del petróleo que anunció una beca de financiación

de 16.7 millones de dólares (14.5 millones de euros) en septiembre del 2017 para la construcción del Yara Birkeland.

La empresa Kongsberg será la encargada del desarrollo, suministro e integración de los sensores, propulsión eléctrica, baterías y los sistemas de control de la máquina.

Diseñado por la empresa noruega Marin Teknikk (ingenieros navales especializados en modos de propulsión alternativos y más limpios) el Yara Birkeland de 120 TEU será un buque portacontenedores abierto, totalmente propulsado por baterías y listo para ser gobernado a distancia. Este buque contribuye a la reducción de la producción de CO₂ y NO_x sustituyendo hasta 40.000 transportes por carretera al año desde la planta de fertilizantes de Yara Porsgrunn hasta los puertos de Brevik o Lanvik. Una gran apuesta para poder alcanzar los estándares de sostenibilidad exigidos por la UE.

El diseño final a finales del 2017 incluye las siguientes particularidades:

- Un puente de gobierno desmontable para sus inicios, con opción a ser retirado en el momento en que esté preparado para la automatización total.
- Eslora total 79.5m
- Eslora entre perpendiculares 72.4m
- Manga 14.8m
- Calado en lastre 3m
- Calado en máxima carga 6m
- Francobordo 10.8m
- Velocidad de trabajo 6 nudos
- Velocidad máxima 13 nudos
- Capacidad de carga: 120 TEU
- Peso muerto 3200 Tn
- Sistema de propulsión eléctrico
- Propulsión: 2 hélices acimutales con tobera
- 7 Baterías de 9Mwh
- Sensores de proximidad (no se especifica modelo): RADAR, LIDAR, AIS, cámaras, IR cámaras.
- Sistema de comunicación por radio banda ancha y sistemas satelitarios (tampoco se especifica modelo ni formato)

- Carga, descarga y atraque: Carga y descarga mediante grúas automáticas eléctricas. Además el buque carece de tanques de lastre como tal, ya que lleva lastre sólido permanente. Sistema de amarre automático sin intervención humana.

El buque Yara Birkeland está preparado para realizar el viaje de 12 millas en la costa del sur de Noruega entre 3 puertos.



Figura 3.3.1.2 Singladura del Yara Birkeland

La distancia entre los 3 puertos es de 7 millas entre Herøya y Brevik, y de 30 millas entre Herøya a Larvik, siendo Herøya su base.

Para no comprometer la seguridad de la ruta, 3 centros controlarán el viaje y coordinarán las situaciones de emergencia o las variaciones a las situaciones previstas. Sus funciones principales son la toma de decisiones, vigilancia del propio buque y de sus alrededores, además de todos los aspectos que impliquen garantizar la seguridad del entorno. El nombre de estas estaciones son: Yara en Prosgrunn, Kongsberg Maritime y Kysteverket VTS en Brevik (pendiente de aprobación).

A finales del año 2017 un modelo a escala de 6m de eslora del Yara Birkeland fue probado en un tanque de pruebas de la empresa SINTEF OCEAN en Trenohiem, Noruega. Con este ejercicio se demostró a los inversores del proyecto la fiabilidad del modelo ante condiciones meteorológicas adversas, maniobrabilidad, atraque y desatraque; con resultados muy satisfactorios.

Aunque no han salido a la luz muchos detalles técnicos específicos, la empresa Kongsberg sí ha querido dar a conocer los plazos en los que se espera sacar adelante su proyecto:

- 2017
Presentación del diseño del buque por Marin Teknikk.
Pruebas del modelo del buque a escala en tanque de pruebas de Trondhiem.
- 2018
La construcción debería hacerse efectiva en la segunda mitad del año.
Se realizarán las pruebas de mar con un Capitán y una pequeña tripulación
- 2019
En la primera mitad del año el buque debe ser operativo pero sin sus funciones completamente autónomas.
Pruebas de las funciones autónomas.
- 2020
El buque será completamente autónomo.²²

3.3.2 Otros modelos de buque autónomo.

El proyecto del Yara Birkeland es claramente el que más repercusión y más exposición pública tiene, pero realmente existen un sinnúmero de proyectos de empresas y particulares tan importantes como éste.

Entre todos, destacan los proyectos de otros portacontenedores debido a que se espera una subida en la demanda de éstos cuando se consiga una mayor eficiencia del transporte. Pero sobre todo abundan los proyectos que ven en la navegación autónoma como una herramienta inmejorable para las labores de investigación hidrográfica y estudios de los fondos, flora y fauna marina.

Destaca en éste último modelo el proyecto Hrönn. La empresa Kongsberg entregará todo el equipo marítimo necesario para el diseño, construcción y operación del *Hrönn*. Proveerá sistemas para la navegación y el posicionamiento dinámico, referencia satelital y posicional, autonomía marítima y comunicación. Todos los sistemas de control del buque, incluyendo posicionamiento dinámico K-Pos, automatización K.Chief y K-Bridge, serán replicados en un centro de control ubicado en la costa, permitiendo operaciones remotas completas del Hrönn.

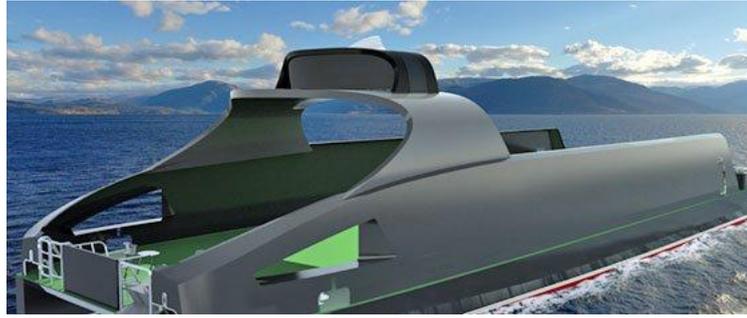


Figura 3.3.2.1 Prototipo del proyecto Hrönn

El *Hrönn* será un buque utilitario de trabajo ligero con una finalidad de servicio y soporte a las industrias marítimas hidrográficas, energéticas, científicas, y pesqueras, y será capaz de lanzar y recuperar vehículos submarinos autónomos de operación remota. Estos pequeños vehículos serán complejos centros de captación y procesamiento de datos, con gran capacidad de coordinación con su buque nodriza y cuya estructura aerodinámica y su mínimo desplazamiento les permite una movilidad total.

El buque está diseñado para realizar estudios, entrega de provisiones y carga intermodal a instalaciones costa afuera. También podrá ser utilizado como buque de reposo capaz de proporcionar asistencia contra incendios a plataformas marítimas.²³

También la empresa sueca VOLVO trabaja en el diseño de los “VOLVO Saildrones”, pequeños artefactos cuya función principal será la de monitorizar la costa y entregar información a las estaciones en tierra y que sirvan como apoyo a los buques autónomos y a las ECT.²⁴



Figura 3.3.2.2 Volvo Saildrones

La misma empresa trabaja en colaboración con su departamento de automoción en el proyecto de guiado de buques. Este proyecto está basado en la idea llevada ya a la práctica de guiado de camiones en grupo por carretera. La idea es formar un convoy de camiones y guiar al camión principal que iría en cabeza, así el resto solo tendría que funcionar con un software de guiado midiendo distancias y velocidades que algunos coches de la marca ya llevan integrados. Esto permitiría un ahorro considerable en informatización y además fomenta la idea de rutas fijas, y transporte de un volumen mayor de mercancías con un abaratamiento de los costes.

De la misma manera que existen infinidad de modelos distintos de buques también existen muchas ideas sobre cómo debería hacerse el seguimiento del buque por la estación costera. Hay diversidad de opiniones sobre si debería dependerse de las ondas de radio y sistemas satelitarios o si se debería sumar un intermediario que pudiera aportar un plus de seguridad a las comunicaciones, en materia de hackers y además podría mandar una alerta a la base costera en el momento en que fallasen las comunicaciones, y dado el caso, acoplarse al buque para reparar los fallos, así como podría acoplarse para subsanar otros fallos en los sistemas informáticos o instalar actualizaciones, etc. Este intermediario podría tomar forma como una pequeña nave asociada a cada buque nodriza, o la opción que parece más factible, un dron de seguimiento, ya que en caso de que el buque sufriera algún accidente como explosión o fuego, sería más fácil que no se dañara, y de ésta forma podría dar la posición exacta del siniestro.

También hay un gran número de empresas de buques off shore interesados en conseguir la tecnología autónoma para poder contar con buques en sus posiciones fijas como los cableros o buques de extracción, que además de contar con la tecnología del Posicionamiento Dinámico, podrían prescindir de una tripulación fija.

3.3.3 Elementos de seguridad en un buque autónomo.

Una parte muy importante de la estructura de un buque autónomo son los elementos de seguridad, ya que aunque prescinda de una tripulación fija, ciertos elementos deben seguir a bordo para asegurar la integridad de las tripulaciones

que embarquen y además los elementos que aseguren la integridad del buque deben seguir presentes, o incluso reforzados.

Por ejemplo, para las tripulaciones ECB debe existir un mínimo de instalaciones de seguridad como serían: Transpondedores RADAR, radiobalizas, bengalas y botes de humo, botiquín, aros salvavidas, botes salvavidas, extintores, etc. Para la seguridad del propio buque se convertirá en indispensable el sistema fijo de extinción de incendios por CO₂. Aunque aún no hay publicaciones al respecto, es de esperar que al no disponer el buque de un habilitación fija se tenderá a que haya atmósfera inerte en el mayor número de cámaras posible, incluso sin ventilación en los lugares en los que no sea indispensable, para así poder prevenir la aparición de conatos de incendio. Esto no va a ser posible en los buques que transporten mercancías vivas y habrá que regularlo en los espacios del buque en los que se vaya a entrar en puerto, o al menos forzar la ventilación las horas convenientes antes de la entrada en las cámaras que requieran de reparación o revisión (que se convertirán en espacios cerrados).

Así mismo se puede disponer de instalaciones fijas de polvo seco para los espacios con material eléctrico, y podría darse una instalación CI de agua o espuma para espacios susceptibles de la aparición de fuegos tipo A y B, y además un pañol Fi-Fi para que en caso de que un buque tuviera que asistir a otro con un incendio, pudieran embarcar las personas encargadas de este tipo de emergencias, sin tener que transportar todo el material consigo.

3.3.4 Mantenimiento de un buque autónomo.

Muchos aspectos de la vida actual de un buque son inevitablemente necesarios, lo serán para que éste pueda funcionar y sobre todo para garantizar su vida útil. El buque autónomo siempre necesitará un mantenimiento tanto o más estricto que un buque actual, con el inconveniente natural de que no hay una tripulación a bordo para realizar los trabajos diariamente y con plazos más flexibles.

En el caso de este tipo de buques será el personal de tierra el que, al estar el buque atracado, debe efectuar las labores de mantenimiento que se requieran. También ellos se encargarán de la reposición y sustitución de los elementos físicos dañados, esto implica que no sólo llevarán a cabo tareas rutinarias, por eso

deben estar bien informados de los trabajos que deben hacer y elaborar un plan efectivo para intentar reducir al mínimo el tiempo atracados, aunque se entiende que por este tipo de trabajos, podría prolongarse el atraque por encima del tiempo de plancha actual.¹⁸

Quizás el trabajo más engorroso de realizar mientras el buque está atracado sea precisamente el de mantenimiento de los elementos de atraque: cabos y estachas. Estos elementos necesitarán revisión y mantenimiento, los cables y los mecanismos con rodamientos necesitarán engrase.

Habrán más tareas rutinarias que se necesitarán llevar al día como por ejemplo el saneado y pintura de la cubierta (o cubiertas en caso de no ser cerrado) y baldeo y limpieza del casco.

Las tareas en el exterior serán más dependientes del trabajo humano ya que no existen elementos exteriores de mantenimiento, los buques tienden a ser lo más cerrados posibles; pero en el interior seguirá habiendo tareas que necesitarán ser responsabilidad de las personas, como por ejemplo: revisión de sistemas de extinción, caducidades y pruebas de detectores de humos; revisión del buen funcionamiento de las alarmas, botes salvavidas y sus zafas hidrostáticas (para las tripulaciones EBL).

3.4 Navegación autónoma. Sistemas de gobierno de los buques autónomos.

3.4.1 SNA Sistema de Navegación Autónomo.

El SNA es el software que le permite al buque la autonomía y a su vez el contacto con la estación en tierra. El SNA se compone de los sistemas de navegación, detectores, alarmas, la monitorización de todo el buque y las conexiones con tierra.

El sistema SNA viene a sustituir algunas de las funciones que son responsabilidad de los oficiales de cubierta.

3.4.1.1 Funciones actuales relacionadas con la navegación:

Este es un breve repaso a las tareas básicas de los oficiales de cubierta que se llevan hoy en día a cabo en los buques mercantes:

3.4.1.1.1 Plan de viaje.

Antes de comenzar una navegación se debe elaborar un plan de viaje y normalmente son los oficiales los responsables de elaborarlo siendo supervisado por el capitán. Sólo en contadas ocasiones se necesitan datos proporcionados por una base en tierra. Normalmente éstos se elaboran en base a las publicaciones náuticas, avisos, cálculos sobre la estabilidad del buque y también se incluyen anotaciones sobre las provisiones necesarias en el siguiente puerto.

3.4.1.1.2 Guardias de navegación:

Mantener una buena vigilancia es la principal fuente de información de un marino durante su guardia. Debe permanecer siempre atento a su entorno con ayuda de medios auditivos, visuales y técnicos; estando siempre atento a radios, estado del tráfico y llevando un seguimiento de las posiciones del buque por medios de navegación costera o celeste si fuera posible. Además de las labores de vigía, los oficiales están obligados también a supervisar el buen funcionamiento de los aparatos de navegación, estar atentos al funcionamiento de las alarmas del buque y también de seguir siempre las normativas recogidas en los convenios internacionales de la OMI (SOLAS, COLREG, STCW, MARPOL...).

3.4.1.1.3 Gobierno del buque.

En todo momento el oficial de guardia debe estar preparado para conocer la respuesta del buque ante cualquier situación imprevista. La capacidad que tenga el oficial de conocer las características de maniobrabilidad del barco y los datos de las condiciones externas, determinarán si una maniobra tendrá o no éxito.

3.4.1.1.4 Comunicaciones.

Las comunicaciones en un barco se podrían dividir en dos categorías a efectos de estudiar los canales de comunicación que se usan, para determinar su actual grado de automatización, o qué tienen en común con los sistemas que se quieren implantar en el SNA. Por una parte estaría la comunicación interna dentro del mismo buque, que se puede producir simplemente por medio de algún tipo de hardware de luz o sonido, como sería una alarma que se deba aceptar, un teléfono de línea interna o el propio telégrafo. Por otro lado se encuentran las comunicaciones entre distintos buques o comunicaciones con tierra, que deben ser atendidas por medio de radio o satélite. Por supuesto quedan excluidas de estos grupos las señalizaciones visuales o auditivas (banderas, humo, campana, gong...).

3.4.1.1.5 Tareas administrativas:

Gran parte del tiempo de los oficiales a bordo se consume en las tareas administrativas, como la corrección de cartas, chequeos de todo tipo de inventarios y de procedimientos, rellenado de libros de registro, actualizaciones de certificados del propio buque y de la tripulación, y las comunicaciones con las empresas en tierra. Se describirá en qué modo el SNA va a cumplimentar estas tareas liberando de carga de trabajo a los oficiales en tierra.

¿Cómo podrá el sistema de navegación autónoma hacerse cargo de éstas y muchas otras tareas? La respuesta es subdividiendo funciones. El sistema SNA subdivide tareas dentro de su software y consigue después crear una relación de dependencia y causalidad entre ellas que, de acuerdo con las normativas internacionales, le permite llevar a cabo una navegación eficiente.

3.4.1.2. Funciones que desempeña el SNA

Esta es la estructura de tareas que subdivide el trabajo del sistema SNA:

3.4.1.2.1 Plan de viaje.

La preparación del viaje de atraque a atraque debe cubrir el tránsito oceánico, la navegación costera y la navegación con tripulación ECB. Se elabora en tierra en

las estaciones ECT y se carga posteriormente en el SNA. Entre los datos que deben figurar destacan:

Primero, las características del buque referidas a la estabilidad, el calado, equipamiento, maniobrabilidad y restricciones. También la naturaleza de la carga, la distribución del peso y datos sobre su estiba. Segundo; Una serie de documentos actualizados, certificados, publicaciones náuticas y cartas. Tercero, avisos náuticos por radio y partes meteorológicos. Cuarto, requisitos para entrar y salir de puerto considerando la ruta que se va a hacer y los reportes a tierra necesarios. Quinto, las provisiones a bordo de fuel, lubricantes y otros suministros.

El plan de viaje elaborado por los trabajadores de la ECT debe contener un estudio detallado de la ruta, dividida en una serie de way points y especificando rumbos verdaderos, distancias a costa, radio de giro, márgenes a babor y a estribor sobre el rumbo fijado, velocidad segura y posibles alteraciones a ésta. También deben especificarse las corrientes y el viento que va a afectar al buque en cada tramo del viaje.

Con estos datos el sistema SNA es capaz de navegar bajo una ruta fijada con la ayuda de los datos que se le proporcionan y con los que obtiene de sus propios detectores.²⁵

3.4.1.2 Guardias de navegación.

Las funciones típicas de una guardia de navegación pasan a manos del módulo de sensores avanzado MSA, de manera que las tareas que hacía un oficial se subdividen en varios procesos de control de toda la variedad de parámetros del buque, de manera que no tenga nada que ver el control de la información meteorológica con la situación del buque o con el gobierno del mismo; sino que se junten todos los datos una vez procesados en el SNA que será quien decida sobre ellos en la medida de lo posible. Dos excepciones a la autonomía del sistema SNA son el desvío del plan de viaje original, que aunque su causa sea la seguridad deberá ser aprobado por la ECT y las comunicaciones de voz por radio que siempre serán directamente entre la ECT y otra estación (reportes de llegada y salida, partes meteorológicos, etc) aunque el sistema de navegación puede tomar

datos por su cuenta del intercambio de información si se manda por vía dual a la ECT y al buque, nunca podrá existir sólo la comunicación con el buque.

Por ejemplo, el control de la situación meteorológica presente se lleva por medio de la observación en 360 grados. Se subdivide en varios sistemas de recolección de datos como las 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 al SFS que los superpone y envía los datos tanto al sistema de navegación como a la ECT para poder verificar y tomar decisiones sobre los datos recogidos.²⁵

3.4.1.2.3 Gobierno del buque.

El sistema de navegación autónoma tiene la capacidad de maniobrar el buque dentro de los parámetros que le marca el plan de viaje inicial. Para llevar a cabo esta maniobra de forma eficiente debe tener en cuenta la situación del buque y para organizar los datos que necesita, los subdivide en dos categorías; la primera es la recolección de datos sobre la situación interna del barco, esfuerzos y régimen de la máquina; por otra parte recoge los parámetros de flotabilidad y estabilidad. Para calcular estos datos utiliza dos computadores distintos que una vez resuelven los cálculos pueden decidir la forma precisa de maniobrar el buque.

La forma de captar estos datos es muy distinta en cada uno de los campos, por eso sigue teniendo un esquema de subdivisión en forma de árbol, con ramas que van nutriendo al sistema central, que es el que establece las relaciones entre los ellos, y tiene la capacidad de decisión.²⁵

Una vez conocidos los condicionantes externos e internos del buque para la navegación, el principal cometido del SNA es la navegación del buque, y para ello se ha creado un modelo matemático de guiado de un buque autónomo.

Para desarrollarlo en primer lugar se establecen los sistemas de referencia que se van a emplear para situar al buque en el espacio terrestre. Para ello se emplean 2 sistemas de referencia con origen en el centro de la tierra y otros 2 con su centro en el buque:

- ECI Inercial con Centro en Tierra: El único de los sistemas de referencia que es realmente inercial
 - O es el centro de la tierra
 - X es el corte entre el ecuador y un plano elíptico
 - Z misma velocidad angular celeste y apunta al norte
 - Y completa el trío
- ECEF: Mismo origen en el centro de la tierra pero que rota con ella.
 - O es el centro de la tierra
 - X intersección del punto de Latitud cero y Longitud cero.
 - Z apunta al norte
 - Y completa el trío
- NED Plano tangente a la superficie de la tierra:
 - O algún punto en la superficie de la tierra
 - X apunta al norte
 - Z apunta al centro de la tierra
 - Y apunta al Este
- BARCO Sistema solidario al barco
 - O centro de masas del barco.
 - X longitudinal del barco. La rotación sobre este eje es la escora.
 - Z apunta hacia abajo. La rotación sobre este eje es la guiñada.
 - Y es transversal al barco. La rotación sobre este eje es el cabeceo.

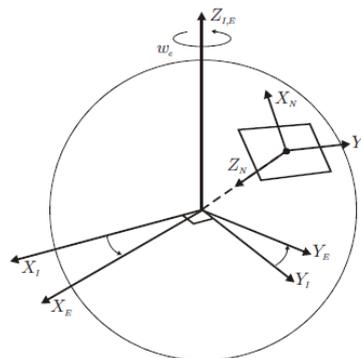


Figura 3.4.1.2.3.1 Sistemas de referencia ECI, ECEF y NED

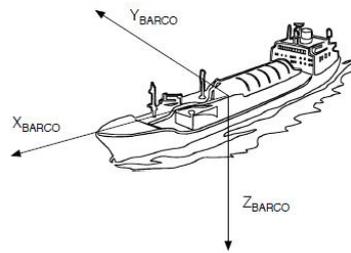


Figura 3.4.1.2.3.2 Sistema de referencia Barco

Una vez establecidos los sistemas de referencia se crean modelos de navegación, que implica informatizar los movimientos del propio barco y del agua que lo rodea. El modelo del barco debe reflejar sus 6 grados de libertad. Existen 2 tipos de modelos, el cinemático y el dinámico:

- Modelo cinemático: Considera la posición del barco en el sistema de referencia NED y el ángulo que forma con el Norte. Es un modelo matricial donde la relación entre el barco y el sistema NED se puede expresar como:

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

Dónde:

η es la posición y orientación del barco en el sistema NED

\mathbf{R} es la matriz de rotación del sistema

\mathbf{v} son las velocidades en los ejes del barco y su velocidad angular

Todos los elementos en forma matricial

- Modelo dinámico: Describe los 3 grados de libertad del buque.

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

Dónde:

\mathbf{M} es la matriz de masas e inercias del barco

\mathbf{C} las fuerzas centrífugas y de Coriolis que actúan en el barco

\mathbf{D} matriz de fuerzas y momentos hidrodinámicos

$\boldsymbol{\tau}_{\text{prop}}$ vector de fuerzas y momentos ejercidos por el sistema de propulsión del barco

$\boldsymbol{\tau}_{\text{pert}}$ vector de fuerzas y momentos ejercidos por la acción del viento y la corriente

R matriz de rotación de sistema^{26 27}

3.4.1.2.4 Cámara de máquinas.

En el caso de los datos sobre la máquina del buque también el sistema de gestión de datos del SNA los subdivide en dos categorías para poder organizar la procedencia de la información. La primera categoría es la de los datos que surgen de órdenes dadas del puente a la máquina, y la segunda son los datos que se originan puramente en la máquina y que recibe el puente. En la primera categoría se encuentran datos que se utilizan para arrancar equipos como el motor principal, los auxiliares, bombas de achique, de lastre o de agua; además abarca los datos u órdenes que se emplean para determinar el ángulo de metida del timón o la velocidad. En la segunda categoría están los datos referentes a las temperaturas, presiones o niveles, que el sistema de control de la máquina monitoriza y compensa, y son utilizados por el sistema de navegación del puente para elegir la forma más eficiente de proceder.²⁸

3.4.1.2.5 Recopilación de información sobre el estatus del buque.

EL sistema SNA es capaz de resolver complejos algoritmos que predicen el comportamiento del buque que infinidad de condiciones, y para ello necesita que entre el módulo de sensores haya un grupo dedicado a recopilar información sobre el estado de navegabilidad del buque. Datos como el desplazamiento, asiento, calado en proa, en el centro y a popa, escora, datos de los 6 grados de libertad del buque (de traslación y rotación), se obtienen de los sensores. La máquina envía sus propios datos como se ha descrito antes. Para los cálculos de flotabilidad y estabilidad se recogen datos sobre las tensiones a las que está sometido el casco por medio de sensores repartidos en toda su superficie. También se colocan sensores en las paredes de los tanques para recoger datos sobre vacíos para los datos de la carga, y también se envían a la ECT para elaborar los planes de carga. La necesidad de colocar tantos sensores en todas las superficies del barco es la de tener constantemente y en tiempo real un control

total sobre la situación del buque para poder decidir sobre su gobierno sin poner en riesgo su integridad y hacerlo de la forma más eficiente.

Al mismo tiempo, la generación de una base de datos tan extensa al ir recopilando información a cada momento en todas las condiciones, permite aportar al SNA capacidades autodidactas, ya que a partir de la información que guarda, es capaz de predecir cada vez con más exactitud la respuesta del buque en cada situación que pueda sufrir. Por ejemplo podría predecir las situaciones de:

- Curvas de evolución a babor y estribor hasta una desviación de 90 grados con respecto al rumbo original.
- Distancias de frenado.
- Otras maniobras para asegurar el resguardo del buque y las distancias de seguridad.²⁵

3.4.1.2.6. Control anti colisiones.

Para navegar de acuerdo a las COLREG's y evitar situaciones comprometidas de posibles colisiones, es necesario mantener una vigilancia continua del tráfico que rodea al buque. Toda la información que se recopila sobre el entorno es procesada al momento y en cuanto surge una situación de riesgo, el SNA comienza a tomar las medidas oportunas para evitar la colisión. Además de las COLREG debe actuar conforme al convenio STCW, SOLAS, BPG y Código IS.

Es fundamental tener el control exacto de la posición, movimiento y comportamiento del buque en una carta electrónica, como también es necesario agrupar toda la información relativa a la labor de vigilancia del entorno.

Todos los objetos que rodean al buque son monitorizados, buques, objetos flotantes, boyas y otras ayudas a la navegación; de ellos se predice su movimiento futuro y se evalúa para predecir una posible situación de alcance. Es la ECT la encargada de fijar unos parámetros iniciales de acuerdo a las COLREG y una vez sobrepasados, el SNA actuará de la forma más adecuada teniendo en cuenta la situación de visibilidad y la capacidad de maniobra del propio buque, siempre compartiendo sus acciones con la estación en tierra. Normalmente se le

plantearán a la ECT varias soluciones posibles teniendo en cuenta las posibles maniobras del buque con el que se está evitando colisionar y el entorno que los rodea (otros buques, bajos, tierra). Se muestra la simulación de la situación finalizada para cada posible maniobra y la ECT dará su aprobación a la más adecuada, aunque el sistema SNA lleva integrada la función de decisión autónoma por si se diera el caso en el que un operador no lo pudiera supervisar, o éste considerase que no hace falta ya que el sistema ya ha escogido la opción más acertada. En este caso simplemente tendría que supervisar la ejecución de la maniobra pero no necesita intervenir hasta el final, cuando el sistema notifica también el fin de la maniobra.

En caso de que el otro buque no esté cumpliendo con la normativa COLREG se notifica con urgencia al centro en tierra ya que los parámetros sobre los que trabaja el sistema se verían alterados, aunque en un futuro podría aprender de la situación. Podría ser el caso de otro buque con fallo en su SNA, un buque pesquero o un buque averiado, de todos modos el sistema podría tratarlo como un obstáculo en flotación considerando la predicción que hace sobre su movimiento.

Para que el buque sea capaz de reconocer este tipo de situaciones y sepa de qué manera actuar, juega un papel fundamental el módulo avanzado de sensores MSA. Los datos recogidos por los sensores se fusionan y combinan creando una imagen virtual de los alrededores del buque a cada momento. Para ello se utilizan los datos del propio buque (posición, rumbo, velocidad...) y la información que recogen los sensores de los otros buques y así se detectan y monitorizan.

Los sensores que se encargan del reconocimiento del entorno también incluyen el ARPA que muestra la posición y movimiento relativo de los blancos, el AIS que aporta información muy valiosa para la seguridad y el NAVTEX para los avisos de navegación y meteorológicos así como avisos urgentes SAR.

El RADAR típico en estos momentos en los barcos, es el que trabaja en banda X y S. En este momento se están desarrollando los RADAR en banda KA y W que se utilizan para cubrir las carencias de las bandas X y S en zonas portuarias o de gran volumen de tráfico, disminuyendo el ruido y los falsos ecos. Gracias a la mejorada resolución de las distancias lineales y angulares mejorará la imagen en las situaciones de proximidad con otros buques.

En el caso del AIS, facilita la monitorización, identificación y localización que se recibe de otro AIS. Dependiendo del modelo, emitirá cada 2-10 segundos, 3 minutos o 6 minutos. Estos mensajes consisten 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. La capacidad de almacenamiento del AIS del propio de buque es de hasta 500 entradas enviando información a la vez, y en caso de superar este número, el sistema discrimina los emisores AIS más lejanos.

Por otro lado, el NAVTEX emite información no estandarizada, por lo que debe ser la ECT la que la reciba, lea y cargue los datos que considere apreciables en el sistema del buque. La ventaja es que puede recibir un único mensaje NAVTEX con utilidad para un número de naves.

Estos datos se plasman en una carta en la que también figuren las mareas, sonda y visibilidad. Al final, fusionando todos los datos, surge una carta electrónica avanzada con los peligros y avisos resaltados, de la que se podría elaborar un modelo tridimensional para tener una visión más clara del espacio que se refiere.

El objetivo principal de este sistema de gestión de datos es recoger, procesar y mostrar una visión del momento presente y recrear la situación futura en los alrededores del buque. Este sistema utiliza la fusión de la información recogida por varios sensores para mezclarla y así conseguir un resultado único de gran calidad eliminando el error de cada una de ellas descartando los datos discordantes.^{25 29}

3.4.1.2.7 Detección y presentación de los obstáculos.

Existe un conjunto de sensores que se dedica a la captación de información del entorno desde el propio buque, sin depender de información externa. Se denomina módulo de conocimiento situacional CS y conecta multitud de sensores de distintos tipos y ajusta la cantidad de información que necesita de cada sensor para conseguir una transmisión de calidad, sin emplear memoria de más.

El trabajo de discriminación de la información permite distinguir la relevante de la que no lo es. El primer paso es la clasificación de la imagen que hace el sistema con la información, distinguir lo que es el ruido de fondo del objeto enfocado

aplicado algoritmos que destaquen los bits que se repitan más frecuentemente o los más claros; por ejemplo en una imagen captada por una cámara, el software debe ser capaz trazar los tres apartados que habrá, el mar en la parte baja de la imagen, el cielo en la superior, y en la parte central el objeto enfocado. Con el planteamiento de darle al software elementos que buscar y diferenciar, es como se consigue que tenga la autonomía de filtrar la información por sí mismo.

Al final, el sistema de sensores trabaja en combinación con el RADAR, GPS, ASI y ECDIS para trabajar sobre datos concretados por estos sistemas, para partir de objetos previamente fijados y facilitar el trabajo de discriminación.

El conjunto de sensores CS incluyen a los aparatos de medición meteorológica, sensores auditivos y de imagen. En este último grupo de sensores destacan las cámaras y el LIDAR.

Las cámaras destacan por el pequeño tamaño de su instalación, durabilidad, precio económico y gran resolución de las imágenes según el modelo. Las cámaras que además tienen función de visión nocturna son ideales para cubrir su función para múltiples situaciones de poca visibilidad o de noche. Las cámaras de gran resolución pueden ayudar a las presentaciones 3D en ofrecer una visión espacial de calidad del blanco.

El LIDAR es un tipo de escáner láser que proporciona datos muy exactos de distancias. Es una tecnología que ya usan por ejemplo los coches autónomos de la compañía Google y que se visualiza en forma de mapa 3D de los alrededores del buque.

A la hora de representar los blancos procesados por el CS hay muchos modelos válidos, aunque los más factibles son los modelos de representación por cuadrículas, y hay dos posibilidades, cuadrículas de ocupación, que se van generando a medida que el blanco avanza, y las cuadrículas en altura, que representan en varias capas los datos. Otro sistema es la ya mencionada carta electrónica con los datos representados en volumen 3D y los avisos resaltados.²⁹

3.4.2. Corrección de errores.

El conjunto de sensores y el propio procesador del SNA pueden cometer errores o imprecisiones por errores adquiridos, de fábrica, errores de alineación de sus partes (óptica o sonido), inercias externas o por sus inevitables limitaciones. Para conseguir una mayor precisión se combinan el SNA con un sónar doppler inercial, un conjunto de giróscopos y acelerómetros.

El programa de corrección utiliza un modelo matricial donde se representan los errores de velocidad, posición y de ejecución y se combinan con otra representación matricial de los giróscopos y acelerómetros para corregir los errores.

Al filtro que se usa para desprestigiar los errores que se calculan en la matriz se le llama filtro de Kalman, que une ecuaciones gaussianas para tejer una red de ecuaciones capaces de predecir los errores.

Al final de una simulación se obtuvieron los siguientes datos: El giróscopo es capaz de detectar 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 metros y un ruido de fondo de igual magnitud. Además se sacan los datos de las inercias producidas por los balances y otros movimientos del buque.

Finalizados los experimentos con estos filtros informáticos se vio muy mejorada la calidad de las imágenes y datos de los sensores, con lo cual resulta una ayuda inestimable para el SNA.³⁰

3.4.2 Comunicaciones.

La comunicación en los buques autónomos tendrá mucho que ver con la actual en los buques convencionales, ya que la tecnología que ya existe es suficiente para abastecer las necesidades de estos buques, solo que quizás empleadas de distinta manera. Los buques autónomos emplearán la comunicación satelitaria para todas sus actividades a excepción de las entradas y salidas de puerto, en estas situaciones se requerirá la comunicación por radio con cobertura de dos millas.

En las situaciones de llegada y salida de puerto deben estar activos servicios del AIS, DSC, VHF. Aunque el servicio digital del VHF está en desuso ya que son comunicaciones fáciles de interceptar y susceptibles de hackeo. Las nuevas opciones que están apareciendo son el uso de WiFi o ZigBee. Este último ofrece una seguridad muy superior al VHF aunque tiene un rango más limitado.

Para el tipo de comunicaciones de las aproximaciones debe estar disponible un ancho de banda de 4 Mega bites por segundo, y aunque para la navegación en mar abierto no es obligatorio tener permanentemente disponible este ancho de banda, puede ser necesario para las comunicaciones en casos de proximidad 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.

Además de las comunicaciones entre varios buques y con ECT también hay un sistema diseñado para regir las comunicaciones entre el buque y las instalaciones portuarias para los casos de aproximación a tierra y la calidad de éstas. El sistema se llama CdS (calidad del servicio) y provee al sistema de comunicaciones de un analizador de fallos y calidad de las comunicaciones que es encargado de dar opciones de mejora de la calidad de la transmisión comunicando continuamente a la ECT los criterios de elección de medio de transmisión. El CdS debe aportar una serie de cualidades entre las que destacan la seguridad, la fiabilidad y la mejora del ancho de banda.

Para las comunicaciones hay que tener siempre en cuenta que al cubrir áreas muy grandes son susceptibles de degradación. Múltiples causas pueden ser las culpables de la reducción del ancho de banda o fallos de seguridad y fiabilidad. Entre las causas destacan 3 grupos:

- 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 ambiente que también guardan relación con la frecuencia y afecta especialmente a las frecuencias de más de 10 GHz. La pérdida de brillo debido a la refracción ambiental, afecta especialmente en regiones cercanas a los polos y sobre el ecuador y en especial 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.

Por último hay que mencionar que las comunicaciones con un buque autónomo son el único factor que les salva de estar aislados, y un único lazo es susceptible de ser interceptado o hackeado. La seguridad de las comunicaciones es un factor clave para los buques autónomos ya que los piratas informáticos podrían aprovechar agujeros en la seguridad para causar serios accidentes intencionados o secuestrar los buques. Para prevenir este peligro es importante que:

- Todos los datos sensibles deben ser encriptados y verificados, sobre todo en zonas próximas a puerto donde hay mayor cobertura.
- Los criterios de solución de fallos también deben ser encriptados aunque se pueda permitir un nivel más bajo de protección al ser una tarea supervisada por la ECT
- EL sistema de comunicación debe disponer de un sistema de reinicio en caso de detectar un ataque desde una red peligrosa.³¹

3.4.4. Monitorización de la máquina autónoma (MMA).

El sistema MMA es el sistema de control autónomo de la máquina del buque, trabaja sobre todos sus componentes y funciona como traductor y mensajero para la estación de tierra ECT. Sus tareas principales son la supervisión autónoma de la máquina y la gestión de emergencias. Ambas funciones requieren el acceso directo al sistema de navegación autónoma SNA y a todos sus sensores.

La gestión de emergencia incluye el caso de fallo del control informatizado, y está preparado para que si se pierde el control de algún componente, bloquea los componentes necesarios para minimizar el daño a otros en forma de cortafuegos.

Los prototipos diseñados para el proyecto MUNIN prometen garantizar un balance energético sostenible, calculando los parámetros del funcionamiento óptimo de los productores de electricidad de la cámara de máquinas, teniendo en cuenta la demanda del propio buque, el consumo de los generadores diesel y la eficiencia del recuperador de calor. El objetivo de este prototipo es ser operativo durante 500 horas sin intervención humana.²⁸

4. ASPECTOS LEGALES DE LOS BUQUES AUTÓNOMOS.

Quizás el reto más grande entorno a los buques autónomos sea elaborar unas leyes que pongan de acuerdo a todos los países que forman la OMI y además que sean compatibles con las normas ya existentes y que seguirán siendo de aplicación en muchos otros buques.

La legislación marítima abarca un gran número de leyes y otras herramientas legales que gobiernan el mundo de los buques y sus operaciones, incluyendo todas las normas de aplicación internacional, nacional o territorial. También las leyes marítimas cubren los aspectos que tengan relación con la vida civil, como la seguridad, protección medioambiental, responsabilidades jurídicas, salvamento, etc.

Además de acogerse a las leyes internacionales, nacionales y territoriales según el lugar donde se encuentre navegando, el buque debe cumplir siempre con la legislación de su bandera, que garantizará la seguridad y formación del personal que entre a trabajar en el buque.

Para que los buques autónomos puedan regirse por una legislación que siga siendo compatible con la ya existente y que garantice los mismos o más estándares de seguridad y protección marítima, sin duda se debe partir de la legislación actual y modificarla de acuerdo a las nuevas necesidades y casuísticas.

Esta es una tabla que recoge las leyes que debe cumplir todo buque mercante.

	Leyes Jurisdiccionales (países)	Requisitos técnicos (bandera)	Derecho privado (naviera u otros agentes omerciales)	Otras leyes
Global (UN)	UNCLOS			
Global (OMI & ILO)		SOLAS, MARPOL, STCW, COLREGS, MLC		
Global (OMI, UNCITRAL, CMI...)			Acuerdos privados (responsabilidades, límites de ésta, salvamentos, sobre la carga, etc)	
Unión Europea		Seguridad del buque, directivas y regulación.	Responsabilidad con los estados, pólizas de seguros y jurisdicción sobre las aguas	Aspectos recogidos por las leyes de la Unión Europea.
Región costera (ej, estados nórdicos, canal inglés)			Códigos y responsabilidades con los países que gobiernan una región costera	
País		Legislación nacional en acuerdo con las leyes de la bandera	LNM (ley de navegación marítima)	Toda la legislación del país es aplicable en los buques que enarbolan su bandera.

Figura 4.1 Normativas que afectan a buques mercantes

Partiendo de algunos de los códigos que en la tabla se recogen, se pueden entrever los cambios necesarios para que las leyes ya existentes cubran a los buques autónomos o qué nuevas leyes habría que incluir para que esto ocurra.

4.1. SOLAS

En primer lugar se va a analizar el SOLAS (convenio internacional para la seguridad de la vida en el mar). Su primera versión fue redactada en 1914, y consta de 14 capítulos. En los capítulos II-1, II-2 Y III se recogen: en el II-1 los requisitos en las áreas de la estructura, estabilidad, máquinas e instalaciones eléctricas del barco; protección contra el fuego en el II-2, y dispositivos de salvamento en el III. Teniendo en cuenta la aplicación de estos apartados, se puede considerar que serán totalmente comunes en los buques convencionales y los autónomos, salvando la diferencia de los métodos de propulsión alternativos.

Incluidos en el código SOLAS también se encuentran algunos apartados dedicados a la comunicación entre la tripulación, seguimiento de las alarmas y operaciones a bordo, que son obviamente difíciles de extrapolar al caso de los buques autónomos. En algunos casos habría que especificar que las funciones como el control de alarmas se realizan en tierra, pero en otros casos como la comunicación o el trabajo en los mecanismos se sustituye por el trabajo de los sistemas autónomos. También en los casos en los que se refiere al puente de navegación se debe entender como referencia al control en tierra.

En el capítulo IV se tratan las radiocomunicaciones. Para que los buques autónomos puedan cumplir con este requisito, se debe ampliar el alcance del capítulo a cualquier lugar desde el que se esté controlando el buque, sea desde su propio puente de navegación o sea desde la estación costera.

Quizás el capítulo más difícil de compaginar con los buques autónomos sea el capítulo V, ya que en los apartados de gobierno del buque, plan de viaje, requisitos para las guardias de navegación o embarque de práctico, se incluyen normas muy específicas sobre cómo se debe actuar en el propio buque, la toma de decisiones y los roles de trabajo. Por esto, habría que ampliar el concepto de gobierno del buque y extender su cobertura a los nuevos sistemas descritos en el SNA y de su sistema de toma de decisiones; y adaptar uno al otro para cumplir

con las pautas de seguridad. Además se debe añadir la supervisión en la toma de decisiones por la ECT que sería un escalón nuevo en la pirámide de seguridad. En capítulo IX incluye el código ISM (gestión de la seguridad) en el cual se deben sustituir las relaciones descritas entre la naviera y el mando del buque, por las comunicaciones entre la naviera y el puesto de control en tierra.

4.2. Convenio MARPOL.

Es el principal convenio de la OMI para la lucha contra la contaminación. Incluye los requisitos sobre su estructura, equipamiento y ciertos procedimientos como la seguridad en la carga y descarga, bunkering, actuación en caso de derrame, etc.

No cabe discusión al hecho de que los buques autónomos deben cumplir a rajatabla los requisitos de prevención de la contaminación que se recogen en este convenio, en este sentido el convenio no necesita cambios. Pero quizás sí en el aspecto de definir en quién o qué recae la responsabilidad de cada tarea.

Por ejemplo, el registro MARPOL podría perfectamente concretarse que se encargarán los operarios en tierra de cubrirlo, así como el mantenimiento de la instalación SOPEP o de las alarmas de rebose, y por otra parte se podría especificar que sería el sistema autónomo el encargado de monitorizar el estado de la carga, durante la carga y descarga y durante el viaje, así cómo sería sus responsabilidad gestionar las notificaciones con urgencia a tierra para poder actuar lo más rápido posible. Precisamente sobre este último aspecto recaen las preocupaciones. En caso de derrame, no siendo en una instalación portuaria, lo cierto es que por muy rápida que sea la coordinación de la respuesta ante un accidente de este tipo, nunca se podrá actuar más rápido que la propia tripulación a bordo, que por ejemplo en caso de derrame sobre la cubierta, podrían emplear medios mecánicos, como espiches, cubos, trapos y secantes para minimizar el daño, mientras que los sistemas autónomos tienen sus capacidades limitadas. Para poder asegurar la mejoría en este aspecto hay que recurrir a la construcción del buque, para que se pueda garantizar que ningún producto contaminante cae al mar, pero que tampoco cause daños al propio buque.

4.3. COLREG

La normativa de las COLREG incluye una serie de reglas para la buena circulación en la mar. Comprende normativas sobre velocidades de seguridad,

señalización propia y marítima, luces, prioridad de maniobra, y condicionantes a las maniobras para diferentes tipos de buques en múltiples situaciones. Las normas deben aplicarse también a los buques autónomos, ya que a efectos de tránsito por el mar no representan un grupo especial. Como en los otros convenios se deberían modificar los aspectos referidos a la tripulación a bordo y las tareas de vigilancia del entorno y traspasar esa responsabilidad al SNA y a la ECT. Esto afecta directamente a la regla de la vigilancia (lookout) “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 condiciones del momento, para evaluar plenamente la situación y el riesgo de abordaje”. El propósito de esta regla es asegurar que todos los medios de vigilancia del entorno se utilicen a cada momento y en realidad se puede interpretar que hablando de los buques, no requiere necesariamente la acción humana, así que las autoridades nacionales deberán asumir en cada caso la sustitución de los medios de vigilancia en los que intervienen las personas, con los que realizan las máquinas, y de esta manera se cumpliría el código.

El resto de normas referidas a la maniobra deberán programarse de antemano en el SNA, y como se mencionó anteriormente el sistema se retroalimenta con los distintos escenarios registrados de forma que aprenda a mejorar la eficiencia de las maniobras, asegurando su seguridad desde las supervisiones en tierra.

El futuro debate surgirá seguramente a la hora de discutir si los buques autónomos deberán estar señalizados de manera específica, mediante señales de día y luces de noche y si deben señalizarlo en el AIS. Seguramente se saque una normativa adelante sobre ello aunque en última instancia serán los países de las banderas los que lo deberán aprobar.

4.4. STCW

Actualmente el convenio STCW queda restringido a las personas que trabajan a bordo de los buques, por lo que se podría interpretar que nada tiene que ver con los buques autónomos, sin embargo es necesario estipular unos mínimos en la formación del personal que trabaje en tierra para garantizar la calidad de su trabajo. Así mismo el personal de tierra que trabaja en las instalaciones portuarias llevando a cabo el mantenimiento del buque, y las tripulaciones de entrada y salida de puerto, deben tener una formación específica para estos casos.

Es evidente que los operadores en tierra deben tener un conocimiento similar en materia de navegación a los conocimientos que recoge el STCW hoy en día, así como de las operaciones del buque, porque serán los responsables últimos de las decisiones que tome el buque. Pero además pueden necesitar conocimientos en el campo de la informática y telecomunicaciones más allá de lo exigido hasta el momento.

Quizás la parte que suponga un reto mayor sea la que no se aprende sólo de manera teórica, sino en la práctica, como las labores de vigilancia tanto en el puente como en la máquina. Tener unas referencias de situación y espacio pueden ser determinantes a la hora de la toma de decisiones, por eso se puede plantear que sea exigido un tiempo de entrenamiento obligatorio en un buque de gobierno convencional.

Las incompatibilidades con el actual concepto del STCW, que dice claramente que afecta a todos los miembros de cuerpo presente el buque, pueden favorecer a que los buques mercantes no se deshagan de sus tripulaciones de golpe, sino gradualmente hasta que toda la flota se vaya renovando. Por supuesto a medida que los buques vayan reduciendo sus tripulaciones es imperativo que la parte proporcional de sus funciones se traslade a las estaciones en tierra. Sin producirse este cambio gradual se encontraría el problema de que conviviendo los dos tipos de buques, cualquier discrepancia entre las normativas para operadores en tierra y tripulantes, podría acabar en conflictos de intereses, precariedad laboral o desconocimientos.

4.5. Convenio Marítimo de los Trabajadores (MLC)

Este convenio es la principal herramienta que emplean los trabajadores del mar para asegurar sus derechos en materia de tiempo de embarque, condiciones de vida, opciones de embarque, condiciones mínimas de sus contratos, dietas, opciones de tiempo libre a bordo y muchos otros aspectos que garantizan que las condiciones de vida de los marinos mejore cada día, y sobre todo que se equiparen a la alza.

El perjuicio para los operadores en tierra consiste en que este convenio solo es aplicable al personal que se encuentra a bordo de los barcos, como dice el artículo II. Pero existe incluso un artículo, el número III en el que se incluye un procedimiento especial que recoge categorías especiales de personas

relacionadas con el trabajo de marino: “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”. Con esto se puede ver que una vez puestas las partes de acuerdo, podría conseguir el operador en tierra la categoría de marino mercante para garantizar la calidad de sus condiciones de trabajo, horas de descanso e incluso poder entrar dentro de los sindicatos en igualdad de condiciones.

4.6. Responsabilidades.

En el caso de que el proyecto de los buques autónomos salga adelante, muchos intereses se pueden ver afectados, en este caso el de las aseguradoras. Se puede prever que el número de accidentes por causas humanas disminuirá y que incrementará el número de accidentes donde se demuestre que el único culpable es un fallo técnico.

La dependencia del sistema autónomo hace ver que las garantías sobre su funcionamiento van a representar parte importante en las pólizas de seguros. Lo que hoy se considera más habitual son las faltas humanas y ya no se considerarán así, habrá que hablar en mayor medida de las faltas técnicas.

Desde el punto de vista de la regulación de la responsabilidad en la automatización, los buques autónomos tienen mucho que ver con los coches autónomos. En los casos de accidentes entre coches autónomos y peatones o los conductores, las fábricas de los coches discuten que la responsabilidad es únicamente de la casa que diseñó el programa, así que se avecinan juicios largos y complejos para discutir la responsabilidad de la muerte de al menos dos personas. Pero hay que tener en cuenta que las similitudes acaban en el punto de la tecnología autónoma, ya que los coches son conducidos por particulares mientras que los buques los gobiernan profesionales pertenecientes a la empresa naviera.

La lista de leyes que se apliquen va a variar mucho según una serie de factores como el lugar del accidente, el tipo de accidente, la nacionalidad del buque, etc.

Actualmente en los casos de polución o daños personales, quienes reclamen no necesitan demostrar la culpa de la naviera, sin embargo en casos de accidentes marítimos siempre se apela a las faltas humanas para reducir la responsabilidad.

A partir de la implementación de los buques autónomos se producirá un antes y un después en el que se debe cambiar la consideración sobre este aspecto, ya que en este momento la limitación de la responsabilidad va de la mano con la falta humana, y a partir de la implementación de esta tecnología, debería cambiar la vinculación de la responsabilidad al fallo técnico.

En las nuevas consideraciones entrará la responsabilidad por los errores cometidos por los operadores en tierra, previsiblemente de manera semejante a las faltas de los miembros de las tripulaciones de los buques. Pero en relación a los fallos por los medios técnicos toda regularización será nueva, como en el caso de error del software, pérdida de datos, rotura de algún sistema, etc.

En algunos casos la intervención humana puede corregir estos errores, pero en los casos en los que el humano no pueda hacer nada (como en el caso de una pérdida de comunicación), supondrá un problema el reparto de la responsabilidad, porque aunque la responsabilidad debería caer sobre el sistema, se puede recurrir a un fallo de programación y resulta en una situación mucho más engorrosa y difícil de demostrar que en la actualidad el fallo humano.

Esto puede suponer una ventaja para los demandantes en este momento, por ejemplo en Estados Unidos existe una ley por la que no hay límite de la responsabilidad por los fallos técnicos, y se considera culpables a los responsables de su instalación y mantenimiento. Por esto, se debe establecer antes de botar el primer buque al mar, una normativa clara sobre el límite de la responsabilidad en caso de fallo técnico.³²

4.7. Código de Lloyd's register para los vehículos marítimos no tripulados.

La sociedad de clasificación Lloyd's Register elaboró en el año 2017 un código en forma de borrador para establecer una serie de regulaciones sobre la navegación de los buques autónomos.

Este código consta de nueve capítulos y dos anexos.

El primer capítulo es un resumen de las características generales del código, el alcance y objetivos del mismo, definiciones básicas, estructura del código y algunas especificaciones sobre materiales, operaciones e integridad del buque que se deben cumplir en todos los casos. Este capítulo empieza con la frase "Un buque autónomo debe ser seguro, confiable, capaz y resolutivo en todos los casos

y condiciones razonables durante sus operaciones”. Todo el código está orientado hacia esta máxima, e intenta dar unas pautas a seguir para poder cumplirla. Es importante remarcar que el código de Lloyd’s especifica que es aplicable a vehículos autónomos o controlados a distancia que operen en la superficie, no se aplica para submarinos aunque estén vinculados a un buque nodriza.

En el apartado que explica la estructura del código, se ve que todos los capítulos tienen una estructura similar; empiezan especificando la intencionalidad y objetivo del capítulo, los objetivos para conseguir una operación funcional, los requisitos técnicos, las soluciones a las carencias actuales, demostración o justificación de la solución propuesta y finalmente una reflexión de todo el capítulo.

El segundo capítulo cubre los requisitos estructurales para asegurar la navegación segura en todas las condiciones de operatividad del buque y las condiciones de carga para garantizar una navegación respetuosa con el medio ambiente, e incluye cualquier medio de apoyo para garantizar las condiciones descritas. Dice el capítulo que estos buques deben ser diseñados, construidos y se debe realizar el mantenimiento de forma que se cumplan las exigencias de seguridad.

El tercer capítulo trata sobre el estudio de la estabilidad, flotabilidad y capacidades en todas las condiciones de tiempo y mar para que se garantice una navegación segura en todas las condiciones previsibles.

En el cuarto capítulo se mencionan todos los dispositivos y componentes de seguridad en relación con los sistemas de navegación y vigilancia. Esto incluye los sistemas a bordo pero también los que se encuentran en las ECT y en las instalaciones portuarias o las ayudas a la navegación que ayuden a llevar a cabo las labores de maniobra y comunicación. Este capítulo no abarca los sistemas auxiliares.

El quinto capítulo trata todos los equipos y componentes relacionados con la instalación eléctrica. Incluye los medios de almacenamiento, generadores y distribuidores de corriente incluidos los alimentadores de medios portátiles, aunque no los medios portátiles en sí.

En el capítulo seis se describen los medios necesarios para cubrir una navegación segura, incluyendo los sistemas a bordo y los del exterior que ayuden en la identificación de peligros en la mar y los medios de comunicación con otros

buques. Este capítulo no cubre el módulo de sensores avanzado, ya que estaría cubierto por el capítulo cuatro.

El capítulo siete llamado “propulsión y maniobra”, cubre todos los equipos y componentes en relación con el sistema de propulsión y maniobra del buque, como pueden ser los motores, la hélices, etc; y los peligros que se deben evitar (inercias, altas revoluciones, etc). Este capítulo no cubre los medios auxiliares que se recogerán en el capítulo nueve.

El capítulo ocho dedicado al fuego, abarca todos los elementos estructurales, equipamiento y componentes que intervienen en la prevención de los incendios a bordo. Incluye todos los medios automáticos y los activados por control remoto pero no incluye los medios de extinción o protección portátiles como los extintores o los ERA.

En el capítulo nueve se recogen los sistemas auxiliares del buque, todos los sistemas y componentes que participan en la activación de los sistemas auxiliares pero sin incluir componentes eléctricos o sistemas de control de alarmas.

Finalmente figuran dos anexos, el primero en el que aparecen todos los datos del buque requeridos, y un segundo en el que se reflejan una serie de verificaciones necesarias para cumplir con el código.³³

5. VALORACIONES DEL PROYECTO A LO LARGO DE SU DESARROLLO. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

En este punto se van a presentar una serie de datos y valoraciones elaborados por las compañías e instituciones que estudian esta tecnología. Sin entrar en valoraciones personales se van a clasificar por temáticas y después se razonará cada valoración una a una de manera que, basándose en criterios objetivos, cada lector puede sacar su propia conclusión.

Es importante aclarar en primer lugar que uno de los condicionantes más importantes a tener en cuenta es la convivencia forzada entre los buques autónomos y los buques de gobierno manual. Por poner algún ejemplo, los buques de pesca, de recreo, buques de salvamento marítimo, buques hospital, aduanas, los de la armada, navegación por ríos y canales, quizás los buques remolcadores deban llevar personal a bordo en caso de emergencias, y sin duda los buques cruceros llevarán de forma imprescindible tripulación a bordo para atender a los pasajeros y mantener su imagen aunque se gobiernen de forma semi-autónoma. Ya que los buques autónomos tendrán que navegar por las mismas aguas que los convencionales a largo plazo, se citarán las dificultades que esto conlleva y las muchas dudas que suscita.

Es cierto que sería un riesgo fijar una fecha concreta para la aparición de estos buques en el tránsito marítimo habitual, y aunque empresas como Rollce-Royce se aventuran a marcarse como plazo menos de veinte años, lo cierto es que nadie sabe cuánto tardará o de qué manera irá incorporándose gradualmente la tecnología. Las valoraciones con sus pros y contras, y las cientos de dudas que genera la tecnología autónoma van a influir en gran medida en la forma que tengan los buques autónomos de enfrentarse a un mercado tan competitivo. Algunas de las cuestiones más repetidas son las relativas a la seguridad, y los mismos estudios que presentan sus valoraciones sitúan la puesta en marcha de la tecnología autónoma dentro de unas cuantas décadas.

5.1. Factor humano en el sector marítimo.

Por definición, el buque autónomo es el que opera con la mínima intervención del ser humano. Más allá de todo el desarrollo de la tecnología y las nuevas herramientas para la navegación, la mayor revolución y en lo primero que se piensa al tratar este tema es en qué va a pasar con los y las profesionales del sector.

Es evidente que ningún negocio se mueve con otro fin que no sea su propia economía, pero en este negocio se ha sabido encontrar una excusa o aliciente que realmente resulta muy atractivo para pensar en grandes ventajas hacia los trabajadores. En la era de la comunicación que nos toca vivir, la gran desventaja de la profesión de marino es la de estar alejado del hogar y en muchos casos sin comunicación, la dificultad a la hora de compaginar la profesión con la familia tal y como se entiende hoy en día quizás sea uno de los aspectos que echen para atrás a mucha gente antes o incluso después de haber finalizado sus estudios náuticos. La introducción de los buques autónomos promete romper esta barrera con la posibilidad de tener un puesto en un lugar fijo y con un horario laboral determinado que se puede hacer muy atractivo para gente que ya haya hecho méritos en el mar suficientes como para poder ser solicitados para las estaciones de control en tierra.

La cara B de esta opción es lógicamente la gran reducción de las plantillas, ya que un solo equipo dirige varios buques y en sí mismo el equipo tiene menor número de gente que cualquier tripulación. Aunque el trabajo se vaya a diversificar en muchos aspectos y la gente que trabaje en el buque vendrán de empresas externas, la generación de empleo indirecto no va a suplir el descenso en la demanda de personal, y aunque las compañías aleguen que el número de oficiales disminuye alarmantemente, la realidad para los marinos en activo sería muy incierta.

Una de las grandes incertidumbres es precisamente el cambio en el modo de trabajar y en la preparación de éstos trabajadores. Sin duda el paso a tierra debería hacerse de modo gradual; Lloyd's Register define los pasos a dar antes de completar la total automatización entre la toma de decisiones a bordo, la toma de decisiones compartida con tierra, la reducción de las tripulaciones y la total automatización. Una vez efectuado el cambio es previsible que el trabajo poco tenga que ver con el que se realiza hoy en día. El estar trabajando en tierra implica el total control por parte de la compañía, en cuyas instalaciones se va a trabajar. La elaboración del plan de viaje y gran parte de las decisiones que se tomen durante el viaje serán de acuerdo con lo que mande el armador, y ya se sabe que en la mayoría de las ocasiones el instinto del marino debería premiar en las decisiones. Sumado a estas presiones llegaría un cambio significativo de rol dentro de la empresa. Aunque hoy en día muchos profesionales del sector ya se

quejan de la devaluación de la figura del Capitán en la toma de decisiones frente al naviero, es previsible que con el nacimiento de las estaciones en tierra acabe por normalizarse esta situación, sumando a ello el deterioro de la figura del marino clásico. Se verá con el tiempo si este hecho se compensa con la promesa de un trabajo menos fatigante y sobre todo menor responsabilidad sobre los hombros de los marinos en tierra.

Para finalizar este punto se deben mencionar las grandes dudas que suscita la calidad del trabajo en tierra. Muchos estudios recalcan la importancia del factor humano, al que se suele culpar de la mayoría de los accidentes marítimos, pero que también es decisivo a la hora de enfrentarse a situaciones nuevas, inesperadas e imprevisibles. La capacidad de adaptación de los marinos al trabajo en tierra provoca un gran debate. También hay quien compara esta situación al trabajo de los pilotos de avión o a los coches autónomos, siendo el exceso de confianza en la tecnología la razón más señalada. Se duda si en algún momento se depositará tanta confianza en el sistema de navegación y en sus decisiones que el marino dude de su propio criterio y esto pueda causar un accidente.³⁴

5.2. Seguridad.

Uno de los pilares de los defensores de los buques autónomos es la promesa de incrementar la seguridad en los mares. A su vez es la cuestión que más dudas levante, sobre todo en el aspecto técnico: ¿Será el sistema de navegación capaz de mantener una navegación segura? ¿Será capaz de detectar todos los peligros que se pueda encontrar, incluso las pequeñas embarcaciones u objetos flotantes? ¿Podrá competir con la capacidad humana para asegurar la seguridad cerca de la costa donde hay más peligros? ¿Cómo va a afectar la reducción del tiempo de mantenimiento a su funcionalidad? ¿Cómo se pueden subsanar los errores del software o en las comunicaciones? ¿Cuál será el tiempo de respuesta del buque ante las emergencias?

Todas estas cuestiones sobre temas técnicos ponen en duda la seguridad del sistema y es tarea de los armadores exponer sus pruebas de calidad y demostrar con el tiempo que no se equivocan.

Dentro del proyecto MUNIN hay una reflexión muy importante a cerca de estas dudas.

En primer lugar hablan del mantenimiento, de hacerlo diariamente a como máximo cada vez que toque puerto, está lleno de desventajas. En primer lugar el tiempo en puerto se va a ver incrementado notablemente, con los costes que ello supone. Es de imaginar que algunos de los mantenimientos no se podrán llevar a cabo con los medios de carga o descarga trabajado, así que el tiempo de estancia en puerto puede ser muy difícil de calcular. Pero el aspecto decisivo es que teniendo en cuenta las condiciones actuales de los buques, el mantenimiento diario es esencial para garantizar que el buque está en buenas condiciones y evitar fallos en medio de una navegación, pérdidas de gobierno o encontrar elementos inutilizados cuando se quiera llegar a puerto.

También se estudian las condiciones de seguridad en las operaciones de carga y descarga, donde la falta de un oficial a bordo suscita dudas sobre la correcta planificación y carga segura del buque. Además en uno de los escenarios que se plantea, existe un operario de puerto que trabaja con sistemas de carga y descarga autónomos y que es responsable de un grupo de ellos. Si se encuentra en la situación de varios trabajando a la vez, una sola persona no podrá supervisar con el cien por cien de su capacidad las operaciones, abriendo puertas a accidentes por sobrecarga de trabajo.

Las cuestiones que más se plantean son las relativas a las situaciones de emergencia y al tiempo de respuesta del sistema autónomo. No existe ningún escrito todavía en el que se deje claro qué medios debe llevar un barco para los casos de emergencias. El aumento de los costes de instalación supondría un buen porcentaje del precio total del buque. Además en lo que se refiere a las operaciones de búsqueda y rescate, un buque sin tripulación está limitado a los comandos programados. Por ejemplo podría ser muy efectivo en las operaciones de búsqueda ya que su sistema de cámaras externas de vigilancia del entorno es muy completo, y la independencia del sistema de navegación hace que los dos puedan funcionar a pleno rendimiento.

Una cuestión muy importante y que nace de la mano de la introducción de la tecnología es la ciber seguridad. Cada uno de los medios de control del buque, incluidos los medios de comunicación, están informatizados, y su integridad depende de la buena comunicación con la estación en tierra. Pero la calidad de la comunicación se puede ver fácilmente comprometida si no se emplean métodos de seguridad ante posibles ataques de hackers. Puede suponer esto la evolución

de la piratería. Además de poder convertirse en un delito mucho más globalizado que los actuales casos en las zonas de Somalia, la piratería podría abarcar más objetivos que en este momento. El peligro se extiende desde el manejo del propio buque, el secuestro de la carga, causar accidentes, robar datos de la compañía... Está claro que sería el método de secuestro de buques más efectivo y que se podría hacer sin dejar huella, ya que los nuevos prototipos de Rollce-Royce incluyen un casco cerrado en el que sería muy difícil que pudieran embarcar.

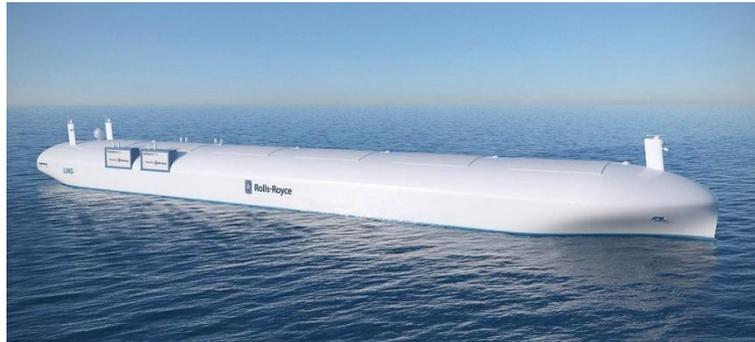


Figura 5.2.1 Diseño de Rollce-Royce

Después de la consideración de todas estas dudas en contra de la tecnología autónoma, también es importante ver qué es lo que prometen las empresas en materia de seguridad para conseguir que se apueste por ellas.

El punto estrella del proyecto es la seguridad humana. Según el estudio de la Allianz Global Corporate Speciality llamado “Safety & Shipping 1912-2012” entre el 75% y el 96% de los accidentes marítimos podrían atribuirse a errores humanos, y además en otro estudio llamado “Global Claims Review. Liability in focus” revelan que los errores humanos son la causa de aproximadamente el 75% del valor de casi 15.000 reclamaciones de seguro de responsabilidad civil marítima analizados a lo largo de cinco años y equivalentes a 1.600 millones de dólares.

El estudio “Reliability Engineering and System Safety” de los profesores Wróbel, Montewka y Kujala de las universidades de Gdynia y Aalto, reveló los siguientes datos sobre el análisis de 100 accidentes marítimos en el que se vieron involucrados 119 buques. En estos casos se perdieron 63 vidas y 28 personas resultaron heridas incluyendo rescatadores. Los tipos de buques envueltos en los accidentes fueron los siguientes:

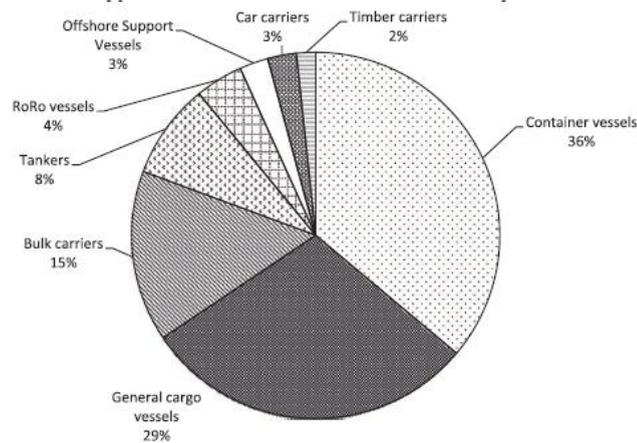


Figura 5.2.2 Tipos de buques considerados para el estudio.

Los datos son: 36% buques portacontenedores, 29% buques de carga general, 15% bulk carriers, 8% buques tanque, 4% buques Ro-Ro, 3% buques de apoyo off-shore, 3% cocheros y un 2% buques madereros. Y el campo de análisis es bastante amplio, son accidentes entre el año 1999 y el 2015 en varias áreas geográficas aunque sobre todo en el área noreuropea, y se dice que no existe relación evidente entre la edad de los buques y la causalidad de los accidentes.

El punto común de todos estos casos es que se estudian accidentes donde la causa esté relacionada con sistemas que se vayan a automatizar en los buques autónomos y que hasta el momento están siendo operados por humanos.

El estudio pretende determinar si la implementación del sistema autónomo podría disminuir la frecuencia de estos accidentes, y también en caso de ocurrir, si tendrían consecuencias menores a las que tienen actualmente.

Para el análisis tuvieron que partir de dos suposiciones. La primera que el sistema autónomo está preparado para afrontar todas las vicisitudes que se encuentran en una navegación normal y la segunda es que el programa trabaja en modo autónomo hasta que se encuentre con una situación extraordinaria, momento en el que dará la alarma a la estación en tierra.

En las primeras conclusiones aparecen una serie de riesgos y la clasificación en tres grupos, los que serían más frecuentes en buques autónomos, las que serían menos frecuentes y aquellos cuya frecuencia nada tienen que ver con la naturaleza del buque:

- Más frecuentes en buques autónomos: Omisiones en la legislación, faltas en su diseño, mantenimiento inadecuado y fallos en el software y en el hardware.
- Menos frecuentes en buques autónomos: Organización de la información, mala ejecución del plan de viaje, desobediencia a los manuales, condiciones del operador (físicas y mentales), relaciones entre tripulantes (incluye la buena o mala comunicación), errores de conocimientos, omisiones por rutina y comportamiento errático.
- No influye en su frecuencia: Problemas administrativos, falta de medios, organización de personal, corrección de fallos conocidos (errores no subsanados o vicios adquiridos en el trabajo), entorno y perjuicios por parte de las instalaciones portuarias.

Se puede concluir que en general, a medida que los buques autónomos pretenden eliminar un riesgo, aparece otro nuevo asociado a su condición. Habrá que estudiar la relevancia de cada uno de ellos.

A continuación, una gráfica de la frecuencia de varios tipos de accidentes en relación con el tipo de buque:

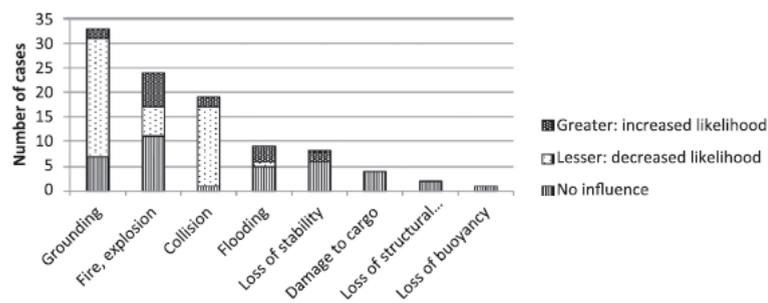


Figura 5.2.3 Influencia de los buques autónomos en el número de accidentes.

La superficie rayada corresponde al porcentaje que no se ve influenciado por el tipo de buque, la superficie punteada en los casos en los que la frecuencia en buques autónomos es menor, y la superficie más oscura representa el porcentaje en el que se incrementan estos accidentes con buques autónomos. Aparecen en la gráfica ocho tipos de accidentes: Varada, fuego o explosión, colisión, vía de agua, pérdida de estabilidad, daño a la carga, daños estructurales, y pérdida de flotabilidad.

En los cinco últimos casos mencionados se ve que la influencia es despreciable, no parece haber ningún cambio significativo, y siempre el incremento es mucho

menor que la continuidad de la frecuencia. En los casos de varada y colisión, está claro que decrece considerablemente el número de accidentes al cambiar de tipo de buque. Son parámetros monitorizados por el módulo de sensores. La excepción en este caso viene con los accidentes producidos por fuego o explosiones, en los que está bastante igualado, pero hay que tener en cuenta que el aumento de accidentes de este tipo en buques autónomos representa un mayor porcentaje, posiblemente debido a la complejidad de las instalaciones eléctricas, y a la complejidad de sofocar conatos de incendio en las zonas que no estén preparadas para ello.

La siguiente gráfica representa la comparación de la frecuencia de los accidentes frente a sus consecuencias:

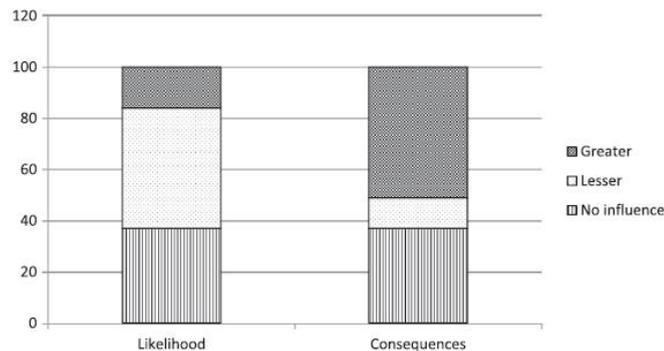


Figura 5.2.4 Cambios en la frecuencia y/o consecuencias de los accidentes.

En conclusión se obtiene que el número de accidentes disminuye notablemente de media, aunque una vez se producen, sus consecuencias son sensiblemente mayores que las actuales, debido a que la respuesta o ayuda siempre tendrá un retardo.

Por ejemplo en materia de contra contaminación esto supone un problema grave, ya que en caso de vertido el buque difícilmente podrá actuar por sí mismo, y dependerá del tiempo de respuesta de los medio anti contaminación y sobre todo de la lejanía, el impacto que produzca.

No todo son ventajas ni todo son inconvenientes, habrá que ver cuáles pesan más. Mientras tanto, el razonamiento que hizo el profesor Iñaki Solana de la Universidad de Bilbao, parece que es uno de los puntos que más convence al sector. Y es que eliminando las tripulaciones de los barcos y en su justa medida al personal en el muelle, se logrará reducir notablemente la cifra de mortandad, ya

que el 95% de las muertes marítimas son producidas por errores humanos.^{35 18 36}

37

5.3. Aspectos técnicos.

Quizás sea el punto más difícil de valorar. El hermetismo que existe a la hora de concretar los diseños y concretar los elementos a bordo parte de la lucha de patentes y seguirá siendo hermético hasta que realmente se empiece a poner en marcha.

Algunos de los elementos que suscitan mayores dudas son los métodos de carga y descarga de los buques. El transporte de mercancías es el objetivo primero y último de estos buques, así que en varios estudios se puede leer que la carencia de información hace creer que esta tecnología pueda no estar preparada para la variedad de condiciones portuarias. Quizás utilice medios tan tecnológicos que sean incompatibles con regiones en las que sus puertos no sean de última generación ni sus instalaciones tan complejas. Tanto el diseño de Rollce-Royce como el del Yara Birkeland dibujan unos perfiles limpios y elegantes a la vista que sin duda presentan unas condiciones de aerodinámica inmejorables, pero no dan lugar a la incorporación de grúas u otros sistemas de carga.

El diseño del casco es otro aspecto sobre el que se duda mucho. Una posible legislación al respecto, como la obligatoriedad de un puente de emergencia, la cubierta recta, conductos al aire, etc. Podrían comprometer los diseños iniciales.

También uno de los pilares del sistema de navegación autónoma como es el módulo de sensores presenta varios inconvenientes, más concretamente en las cámaras y el LIDAR. El problema que presentan las cámaras es la generación masiva de datos. Una imagen digital es un archivo muy pesado, y multiplicado por todas las horas del día que está grabando, implica que el espacio de almacenamiento se debe multiplicar, con su correspondiente coste adicional. Además las cámaras convencionales no se pueden usar en la oscuridad, y su visión está tan limitada como la humana en situaciones de niebla o lluvia fuerte. Quizás las cámaras infrarrojas serán una buena alternativa, aunque necesitarían la instalación de focos especiales para iluminación infrarroja, y sería poco viable.

En el caso del LIDAR la desventaja principal es que sus componentes son bastante delicados, son pequeñas piezas que se mueven de forma muy rápida para realizar los escáneres y a largo plazo se pueden ver afectados por los

balances del barco. Además su visión es limitada en las situaciones de nieve, lluvia fuerte o niebla.

Quizás estos problemas se resuelvan con la práctica y el uso, y las dudas generadas se puedan disipar una vez exista una legislación. En ese momento se verá si las promesas de un abaratamiento de los costes en un 90% debido a la calidad de las instalaciones son ciertas.

Lo que es indiscutible es que la tecnología de estos buques liberará de mucha carga de trabajo a los operadores en tierra, y se espera que a los encargados del mantenimiento, pudiéndose así centrar en las labores puras de la navegación a lo largo de la navegación.³⁸

5.4. Aspectos legales.

También los trabajadores se pueden ver beneficiados legalmente de esta situación. En el caso de que se cumplan las suposiciones actuales y cada trabajador tenga asignado un único puesto de trabajo, tendrá más fácil aclarar el sistema de tributación, sin problemas debido al movimiento entre buques de diferentes banderas y convenios. También se verán beneficiados en cuanto a llevar un sistema de contrataciones estándar y poderse unificar las condiciones con respecto las leyes del país donde tenga domicilio fiscal la naviera.

Como ya se ha mencionado antes, una de las grandes ventajas de la responsabilidad compartida con el sistema de navegación autónoma va a ser la reducción de la responsabilidad que recae sobre el operario.

Por la contra, la situación legal con respecto a los convenios STCW y SOLAS queda en el aire. En primer lugar el convenio STCW no recoge los supuestos de la formación para el personal en tierra, con lo que habrá que esperar para conocer cuáles serán los requisitos para entrar a trabajar en este campo y sobre todo en qué medida deberán ampliar su formación los profesionales que están en activo en este momento y que quieran optar a estos puestos de trabajo, o a los que quieran fichar las compañías por su experiencia. Tanto este convenio como muchos otros que afectan a los trabajadores se rigen por las definiciones del SOLAS.

En el convenio SOLAS se definen las partes que aparecen en el negocio marítimo así como sus responsabilidades. Según las definiciones del SOLAS, el Capitán es aquel que ejerce el mando del buque, por lo que incluso se podría extrapolar a la

situación de buque sin gobierno, pero en el caso de los oficiales se encuentran con un gran hándicap, y es que el convenio especifica que deben trabajar a bordo, así que no tienen otra opción que acogerse al párrafo que define al trabajador marítimo como cualquiera que trabaje eventualmente en relación con los buques, o optar por cambiar el texto. En el caso en el que se incluya en la definición a los operarios en tierra, el trabajo de redacción es menor, pero al no cambiar otras regulaciones, puede crearse confusión en algunas enmiendas como por ejemplo las que definen el trabajo que deben hacer y sus responsabilidades. Por otra parte si se crea una nueva definición dentro del código, será una tarea mucha más compleja al tener que añadir toda una normativa con respecto a esta nueva figura, sin embargo quedará todo clarificado. En este segundo caso la polémica puede llegar más tarde por las diferenciaciones entre los oficiales en tierra y los que trabajan a bordo de los buques.

Para finalizar este punto, una buena noticia para el sector aparece en una publicación de la empresa multinacional aseguradora XL CATLIN. Una aseguradora que trabaja fundamentalmente en la región de Sudamérica aunque está en plena expansión y que tiene como especialidad los daños de responsabilidad civil y las líneas financieras.

Esta empresa anima a todas las del sector a interesarse por la gestión legal de la tecnología autónoma en el mar, sobre todo las tecnología de aprendizaje automático como la que lleva el buque autónomo. Dice la empresa que es una tecnología al orden del día y que pronto estará implementada en multitud de dispositivos de uso cotidiano, así que se apunta en la carrera por conseguir la especialidad de derecho robótico. Para ellos supone un paso adelante casi obligado para enfrentarse a futuras situaciones de detección de fraudes, análisis de patrones en sus clientes y la oportunidad de manejarse con mayor fluidez en el mercado ^{39 18}

5.4. Economía.

Este es el punto más decisivo a la hora de sacar adelante o no la tecnología autónoma. Todo lo que este negocio persigue es conseguir mayores beneficios a menor coste y en un tiempo cada vez más corto.

Actualmente los costes a grandes rasgos del mantenimiento de un buque se pueden dividir de la siguiente manera:



Figura 5.4.1 Distribución de los costes de un buque mercante.

Como se puede apreciar la franja azul es la más grande y corresponde al gasto en personal. Estos gastos comprenden: Sueldos, desplazamientos, manutención, formación, gastos en medicinas, renovación de instalaciones, electricidad, agua dulce, elementos de protección y seguridad, recogida de basuras, etc.

En el momento en el que desaparezca la tripulación desaparecerán estos gastos, y aunque aparezcan otros muchos asociados a las instalaciones, la tripulación supone un gran gasto fijo diario, mientras las máquinas suponen una inversión inicial y en los momentos que se precisen, gastos de mantenimiento.

Aparecen también una serie de beneficios económicos tanto directos como indirectos. De forma directa al eliminar la habilitación se le puede dar un uso más eficiente al espacio existente en el buque así llevar en el mismo buque más carga, con lo que para la misma cantidad de carga se harán menos viajes, con la reducción de consumo de combustible que ello supone. Este aspecto también tiene su contrapartida ya que se pretende reducir la velocidad de los buques mercantes en un 10% para reducir las emisiones en hasta un 30%. Esto supone que se tardará más tiempo en realizar el transporte, pudiendo perder competitividad.

Realmente la mayor desventaja que supone económicamente un buque autónomo será el desembolso inicial. Se calcula que este tipo de buques pueden rondar los 25 millones de dólares, tres veces más que una similar de gobierno convencional. La razón principal es la instalación de todos los aparatos que componen el sistema de navegación autónoma, tanto el módulo de sensores que serán una gran cantidad de aparatos caros y sofisticados, como la licencia del software de navegación que supondrá una inversión con validez única para cada buque, ya

que se irá adaptado a las características especiales de éste y el gasto de sus actualizaciones.^{32 40}

Como anotación final resulta adecuado plantear las dos caras de esta moneda. La visión genérica del pro y del contra que trae consigo la tecnología autónoma. La mayoría de publicaciones coinciden en que la mayor ventaja de este paso en el sector marítimo es el avance hacia la competitividad, hacia seguir siendo el sector puntero en el transporte y continuar abanderando el liderazgo en el desarrollo de las últimas tecnologías, como fueron en su momento la introducción del GPS o de las cartas electrónicas, herramientas que se reflejan en el uso que les da la sociedad día a día.

Pero por otra parte también se coincide en que este es un punto de no retorno para el sector, que supondrá un cambio en la forma de entender el cargo de marino y se coincide en el pensamiento de que si cada vez quedan menos barcos para que los marinos hagan sus prácticas se perderá el instinto de localización espacio temporal en el mar.

CONCLUSIÓN

La conclusión principal a la que se puede llegar después de haber estudiado y leído informes sobre buques autónomos, es que el transporte marítimo se está definiendo poco a poco como un negocio impersonal. El arte de navegar se queda cada vez más atrás en las prioridades de quienes manejan el dinero en este negocio. Las palabras de muchos profesionales hoy en activo dejan entrever que la decadencia de la figura del capitán es real y que pierden autoridad y capacidad a la hora de tomar las decisiones con el endurecimiento del control de los armadores.

Lo podemos ver en infinidad de puestos de trabajo; los bancos, donde la atención al cliente está desapareciendo para dar paso a las app, los trabajadores sustituidos por máquinas en las cadenas de montaje, procesadores de datos que sustituyeron en su momento a los encargados de realizar los cálculos para la NASA, carreras universitarias que solían gozar de prestigio y hoy son sustituidas por otras más tecnológicas, y así con todos los negocios punteros.

Con sus ventajas y desventajas, y aunque sea un proceso lento o quizás se quede estancado llegado a cierto punto, lo cierto es que la tendencia de los mercados y la escasez en la oferta de marinos empuja al negocio a un cambio en la forma de entender la marina mercante.

Si con el paso del tiempo esta tecnología se hace realidad, sólo quienes han vivido el mar saben cuáles podrían ser las consecuencias de tal cambio. Las dudas sobre las cualidades de aquellos que aprendan a navegar frente a una pantalla son más que justificadas. Si con el tiempo se reducen los buques de gobierno convencional, los alumnos tendrán muy pocas posibilidades de aprender a navegar.

A pesar de lo que ocurra en algunos buques, está claro que siempre quedarán barcos tripulados por marinos. Nadie se atrevería a dejar un crucero lleno de turistas al cargo de un ordenador, la sensación de confianza y seguridad nunca sería la misma. Tampoco podrán pasar sin tripulación buques como los de salvamento, preparados para afrontar situaciones de naufragios, remolques y gestionar con la intuición que caracteriza a las personas, la supervivencia humana. Otros, como los buques de aduanas, que vigilan e interceptan actividades ilícitas en la mar, los buques hospital o buques de la armada, no tendrían sentido sin llevar una tripulación a bordo.

El factor que más juega en contra de la navegación autónoma son sin duda las dudas de fiabilidad que genera. Sí es cierto que dejándose llevar por los estudios de las compañías que se limitan a presentar sus propios buques, se promete una fiabilidad y eficiencia asombrosa, pero gracias a proyectos como MUNIN, que a pesar de estar financiado por varios institutos tecnológicos de Europa en los que seguro tienen participación empresas privadas a través de fundaciones, sí plantea todas las dificultades y desventajas que puede tener esta tecnología. Es por esto que los plazos prometidos por las empresas se antojan muy difíciles de cumplir, y aunque parezca una obviedad, gracias a este tipo de proyectos se puede argumentar y conocer cuáles son los hándicaps concretos a los que se enfrenta la tecnología autónoma.

Al término del trabajo, lo que pretendía ser una herramienta para aclarar las posturas personales sobre este tema, ha resultado ser un libro abierto de preguntas que se podrían resolver de maneras distintas. Así que quizás no termine con una respuesta concreta, pero quizás abriendo un abanico de posibilidades distintas, tengo aún más valor.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

1. BREVE HISTORIA DE LA PROPULSIÓN NAVAL [Internet]. [citado 26 de febrero de 2018]. Disponible en:
http://www.mnve.mil.ve/web/index.php?option=com_content&task=view&id=34&Itemid=1
2. Historia de ls Sistemas de Navegación [Internet]. [citado 26 de febrero de 2018]. Disponible en:
http://www.catalonia.org/cartografia/Clase_06/Historia_Sistemas_Navegaci%F3n_01.html
3. Embarcación de vela. En: Wikipedia, la enciclopedia libre [Internet]. 2017 [citado 26 de febrero de 2018]. Disponible en:
https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Embarcaci%C3%B3n_de_vela&oldid=103339165
4. Un breve recorrido por la historia de los sistemas de propulsión marítima | Diariodenautica.com [Internet]. [citado 26 de febrero de 2018]. Disponible en:
<http://www.diariodenautica.com/un-breve-recorrido-por-la-historia-de-los-sistemas-de-propulsion-maritima>
5. Historia de los puertos marítimos y transporte de mercancía [Internet]. [citado 26 de febrero de 2018]. Disponible en: <http://laotraopinion.net/desarrollo-de-infraestructura/puertos-maritimos-en-el-desarrollo-del-transporte/>
6. Transporte marítimo | Qué es, características, historia, evolución, tipos [Internet]. [citado 26 de febrero de 2018]. Disponible en:
<https://www.euston96.com/transporte-maritimo/#Historia>
7. Integration Of AIS And ECDIS: More Information, Better View, Improved Safety [Internet]. MarineLink. 2003 [citado 26 de febrero de 2018]. Disponible en:
<https://www.marinelink.com/news/integration-information301105>
8. Radar ARPA [Internet]. ELECTRONICA MARINA. 2009 [citado 1 de marzo de 2018]. Disponible en: <https://kasakovich.wordpress.com/2009/04/14/radar-arpa/>
9. 123081_Estudio, funcionamiento y aplicación de los sistemas de posicionamiento dinámico.pdf [Internet]. [citado 1 de marzo de 2018]. Disponible en:
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/98772/123081_Estudio,%20fun

cionamiento%20y%20aplicaci%C3%B3n%20de%20los%20sistemas%20de%20posicionamiento%20din%C3%A1mico.pdf

10. 120198_PROYECTO FIN DE GRADO-LAURA MORENO JIMÉNEZ- POSICIONAMIENTO DINÁMICO_ PRINCIPIOS, CARACTERÍSTICAS Y OPERACIONES.pdf [Internet]. [citado 1 de marzo de 2018]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88318/120198_PROYECTO%20FIN%20DE%20GRADO-LAURA%20MORENO%20JIM%C3%89NEZ-%20POSICIONAMIENTO%20DIN%C3%81MICO_%20PRINCIPIOS,%20CARACTER%3%8DSTICAS%20Y%20OPERACIONES.pdf
11. Guardia y operación de maquina desatendida (UMS) [Internet]. [citado 2 de marzo de 2018]. Disponible en: <http://studylib.es/doc/6031260/guardia-y-operaci%C3%B3n-de-maquina-desatendida--ums->
12. BOE.es - Documento BOE-A-2010-8813 [Internet]. [citado 2 de marzo de 2018]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2010-8813
13. Redacción. Nuevas tecnologías en el transporte marítimo y la infraestructura de puertos [Internet]. Méxicoport. 2011 [citado 3 de marzo de 2018]. Disponible en: <http://mexicoport.com/noticias/3119/nuevas-tecnologias-en-el-transporte-maritimo-y-la-infraestructura-de-puertos>
14. CdS. El puerto de Vigo desarrolla un nuevo sistema inteligente de gestión portuaria | Cadena de Suministro [Internet]. [citado 4 de marzo de 2018]. Disponible en: <http://www.cadenadesuministro.es/noticias/el-puerto-de-vigo-desarrolla-un-nuevo-sistema-inteligente-de-gestion-portuaria/>
15. Los puertos del futuro se llaman Smart Ports | Sertrans [Internet]. [citado 4 de marzo de 2018]. Disponible en: <http://www.sertrans.es/transporte-maritimo/los-puertos-del-futuro-se-llaman-smart-ports/>
16. Novedosos sistemas automáticos de amarre de buques.pdf [Internet]. [citado 5 de marzo de 2018]. Disponible en: <http://www.gii.udc.es/img/gii/files/Novedosos%20sistemas%20autom%C3%A1ticos%20de%20amarre%20de%20buques.pdf>
17. 120488_Análisis y automatización de los sistemas de amarre de un buque - Mateu Sastre.pdf [Internet]. [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/89035/120488_An%C3%A1lisis%20y%20automatizaci%C3%B3n%20de%20los%20sistemas%20de%20am

arre%20de%20un%20buque%20-

%20Mateu%20Sastre.pdf?sequence=1&isAllowed=y

18. Noma T. Existing conventions and unmanned ships - need for changes? :102.

19. Agm C. Autonomous and Unmanned Ships. :10.

20. MUNIN-D8-6-Final-Report-Autonomous-Bridge-CML-final.pdf [Internet].

[citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2015/09/MUNIN-D8-6-Final-Report-Autonomous-Bridge-CML-final.pdf>

21. (2) Command and Control of Unmanned Vessels: Keep Shore Based Operators In-The-Loop | Request PDF [Internet]. ResearchGate. [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/281934219_Command_and_Control_of_Unmanned_Vessels_Keep_Shore_Based_Operators_In-The-Loop

22. Autonomous ship project, key facts about YARA Birkeland - Kongsberg Maritime [Internet]. [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en:

<https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/4B8113B707A50A4FC125811D00407045?OpenDocument>

23. Automated Ships Ltd and KONGSBERG to build first unmanned and fully autonomous ship for offshore operations - Kongsberg Maritime [Internet]. [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en:

<https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0238.nsf/AllWeb/65865972888D25FAC125805E00281D50?OpenDocument>

24. Saildrone USVs Robots Sailing The Seas For Science Missions! | Sia Magazine [Internet]. [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en:

<https://siamagazin.com/saildrone-usvs-robots-sailing-the-seas-for-science-missions/>

25. MUNIN-D5-2-Process-Map-for-Autonomous-Navigation-CML-final.pdf [Internet]. [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2014/01/MUNIN-D5-2-Process-Map-for-Autonomous-Navigation-CML-final.pdf>

26. Pereda FJ. Guiado, navegación y control de una flota de barcos autónomos. :128.

27. Jin C, Zhu M, Sun L, Zheng Z. Relative Motion Modeling and Control for a Quadrotor Landing on an Unmanned Vessel. En: AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference [Internet]. American Institute of Aeronautics and Astronautics; [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en:
<https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2017-1522>
28. MUNIN-D8-7-Final-Report-Autonomous-Engine-Room-MSoft-final.pdf [Internet]. [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2015/09/MUNIN-D8-7-Final-Report-Autonomous-Engine-Room-MSoft-final.pdf>
29. (2) Navigation of unmanned vessels – history, enablers, challenges and potential solutions | Request PDF [Internet]. ResearchGate. [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/292538646_Navigation_of_unmanned_vessels_-_history_enablers_challenges_and_potential_solutions
30. Low Cost Integrated Navigation System for Unmanned Vessel : Polish Maritime Research [Internet]. [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en:
<https://content.sciendo.com/view/journals/pomr/24/s3/article-p110.xml>
31. d4-3-eval-ship-shore-v11.pdf [Internet]. [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2014/02/d4-3-eval-ship-shore-v11.pdf>
32. rr-ship-intel-aawa-8pg.pdf [Internet]. [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.rolls-royce.com/~~/media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/rr-ship-intel-aawa-8pg.pdf>
33. lloyds-design-code-for-unmanned-marine-systems-february-2017.pdf [Internet]. [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en:
<https://maritimecyprus.files.wordpress.com/2017/06/lloyds-design-code-for-unmanned-marine-systems-february-2017.pdf>
34. S A. The Human Element and Autonomous Ships. TransNav Int J Mar Navig Saf Od Sea Transp [Internet]. 1 de septiembre de 2016 [citado 26 de agosto de 2018];10(3). Disponible en:
http://www.transnav.eu/Article_The_Human_Element_and_Autonomous_Ahvenjärvi,39,675.html

35. Safety and Shipping Review 2017 [Internet]. [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.agcs.allianz.com/insights/white-papers-and-case-studies/safety-and-shipping-review-2017/>
36. Ø.j R, H.c B. Risk Assessment for an Unmanned Merchant Ship. TransNav Int J Mar Navig Saf Od Sea Transp [Internet]. 1 de septiembre de 2015 [citado 26 de agosto de 2018];9(3). Disponible en: http://www.transnav.eu/Article_Risk_Assessment_for_an_Unmanned_Rødseth,35,593.html
37. Towards the assessment of potential impact of unmanned vessels on maritime transportation safety - ScienceDirect [Internet]. [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832016303337>
38. Technology in Shipping : Clyde & Co (en) [Internet]. [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.clydeco.com/insight/reports/technology-in-shipping>
39. Informe de riesgos emergentes [Internet]. [citado 26 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://xlcatlin.com/es/fast-fast-forward/articles/informe-de-riesgos-emergentes>
40. Quick G. Autonomous/Unmanned Ships. :5.

DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

3D: tres dimensiones.

AAWA: Iniciativa avanzada de aplicaciones autónomas en el mar.

AIS: Automatic Identification System (Sistema de Identificación Automática)

AMOS: Centro Marino de desarrollo de Sistemas y Operaciones Autónomas.

ARPA: Automatic Radar Plotting Aid (radar de punteo automático)

Bunkering: Trasvase de combustible entre dos buques.

CdS: Calidad del Servicio.

Checklist: Lista de comprobación.

CI: Contra Incendios.

CO₂: Dióxido de carbono.

COLREG: Regulación anti colisión.

CPA: Closest Point of Approach (distancia más pequeña a la que se pasará de un blanco)

CS: conjunto de sensores.

Distress: Auxilio.

DNV-GL: Sociedad de clasificación derivada de la unión de Det Norske Veritas y Germanischer Lloyd.

Domótica: conjunto de técnicas orientadas a automatizar una vivienda, que integran la tecnología en los sistemas de seguridad, gestión energética, bienestar y comunicaciones.

Doppler: Efecto que se produce cuando un emisor de ondas y el receptor están en movimiento relativo con respecto al medio en el que se propaga la onda. Entonces la frecuencia de las ondas que llegan al receptor es distinta de la frecuencia de las ondas emitidas por la fuente.

DP: Dynamic Positioning (posicionamiento dinámico)

Dron: Vehículo aéreo no tripulado.

DWT: tonelaje de peso muerto

ECB: Equipo de Control a Bordo.

ECDIS: Electronic Chart Display and Information System (sistema de cartografía electrónica)

ECT: Estación de control en tierra.

Efecto Doppler: cambio de frecuencia aparente de una onda producida por el movimiento relativo de la fuente respecto a su observador.

EO/IR: electro infrarrojo óptico (cámara).

ERA: Equipo de Respiración Autónoma.

Esquema de llaves: formato esquemático que crea relaciones condicionales entre sus claves.

Fi-Fi: (Fire Fighting) Lucha contra incendios.

Galileo: Programa europeo de redionavegación y posicionamiento por satélite, desarrollado por la Unión Europea conjuntamente con la Agencia Espacial Europea.

GLONASS: Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (sistema de navegación por satélite desarrollado por la Unión Soviética.

GMDSS: Sistema mundial de socorro y seguridad marítimas.

GNSS: Global Navigation Satellite System (sistema global de navegación por satélite)

Hacker: pirata informático.

IMO: Organización Marítima Internacional.

Inmarsat: compañía con sede en Reino Unido que provee soluciones de Servicios Satelitales Móviles (SSM). Cuenta con una constelación de 12 satélites Geoestacionarios con lo cual tiene una cobertura de casi todo el planeta, exceptuando los polos Norte y Sur.

Iridium: constelación de 66 satélites de comunicaciones que giran alrededor de la Tierra en 6 órbitas bajas LEO (Low Earth Orbit), a una altura aproximada de 780 km de la tierra. El sistema tiene como objetivo proveer comunicación de voz y datos utilizando dispositivos portátiles en áreas fuera de cobertura de los sistemas de comunicación tradicional como telefonía fija o celular.

KHz: Kilohercio (medida de frecuencia)

Km: Kilómetro (medida de distancia)

KRISO: Instituto de investigación de la ingeniería marina de Korea.

LIDAR: Detección y determinación de la luz o Detección y localización de imágenes por láser.

LNM: Ley de Navegación Marítima.

LORAN: Long RAnge Navigation (Navegación de Largo Alcance).

LR: Lloyd's Register (sociedad de clasificación).

MARECS: Maritime European Communications Satellite (Satélite Europeo para las Comunicaciones Marítimas)

MARINTEK: Instituto Noruego de Investigación de Tecnología Marítima.

MARPOL: Convenio internacional para evitar la contaminación por los buques.

MHz: Megahercio (medida de frecuencia)

MIT: Massachusetts Institute of Technology (Instituto de Tecnología de Massachusetts)

MLC: Convenio de los Trabajadores del Mar.

MMA: Monitorización de la máquina autónoma.

MMSI: Maritime Mobile Service Identify (número de identificación del servicio móvil marítimo)

MSA : módulo de sensores avanzado

MUNIN: Navegación sin tripulación por medio de la red inteligente.

Mwh: Mega-Vatio hora.

NAVSAT: Navy Navigation Satellite System (sistema de navegación por satélite de la armada estadounidense)

Navstar-GPS: Serie de veinticuatro satélites de navegación que complementan al sistema de posicionamiento global GPS (Global Positioning System)

NO_x: Óxidos de nitrógeno.

NTNU: Universidad de ciencia y tecnología de noruega.

Número IMO: Sistema de identificación de un buque que se le atribuye al momento de colocar la quilla en su construcción. Consiste en las letras I-M-O seguidas de siete dígitos.

Racon's: Acrónimo de Radar Beacon. Es un sistema que envía y recibe señales asociadas a las ayudas fijas a la navegación, y que devuelve una señal al receptor RADAR con información que la identifica y proporciona su distancia y demora.

RADAR: Radio Detection and Ranging (detección y medición de distancia por radio)

Radiobalizas: Aparato transmisor de radio utilizado en situaciones de emergencia para facilitar la localización de un barco o de una persona que se encuentra en peligro. También se usa en aviación.

ROV: Remoted Operated Vehicle (vehículos controlados por control remoto)

SFS: Sistema de Fusión de Sensores.

SINTEF: Organización de investigación independiente en Noruega.

Smart Ports: Puerto inteligente.

SNA: sistema de navegación autónoma.

SOPEP: Plan de emergencia para la contaminación por hidrocarburos a bordo.

STCW: Normas de formación, certificación y guardia para la gente de mar

Surveyor (marine): Perito marítimo

TCPA: Time to Closest Point of Approach (tiempo que se tardará en pasar a la distancia más pequeña a un blanco)

TEKES: Agencia de tecnología e innovación finlandesa.

TEU: representa una unidad de medida de capacidad inexacta del transporte marítimo (Buques portacontenedores y terminales portuarios para contenedores) expresada en contenedores. Una TEU es la capacidad de carga de un contenedor normalizado de 20 pies (6,1 m), una caja metálica de tamaño estandarizado.

Tipos de fuegos:

Clase A: Fuego de materiales combustibles sólidos (madera, tejidos, papel, plástico, etc.). Para su extinción requieren de enfriamiento, o sea se elimina el componente temperatura. El agua es la sustancia extintora ideal. Se usan matafuegos Clase A, ABC o AB.

Clase B: Fuego de líquidos combustibles (pinturas, grasas, solventes, naftas, etc.) Se apagan eliminando el oxígeno o interrumpiendo la reacción en cadena que se produce durante la combustión. Se usan matafuegos BC, ABC, AFFF (espuma).

Clase C: Fuego de equipos eléctricos bajo tensión. El agente extintor no debe ser conductor de la electricidad por lo que no se pueden usar soluciones acuosas (matafuegos de agua o espuma). Se usan matafuegos Clase BC ó ABC. (Una vez cortada la corriente, se puede usar agua o extintores Clase A o espuma química AFFF).

Clase D: Fuego originado por metales inflamables. Los matafuegos cargados con agente extintor de polvo clase D, son especialmente apropiados para la protección de incendios son haya un riesgo con metales inflamables (sodio, magnesio, potasio, entre otros).

Clase K: Fuego de aceites vegetales o grasas animales. Requieren extintores especiales para fuegos Clase K, que contienen una solución acuosa de acetato de potasio que en contacto con el fuego producen un efecto de saponificación que enfría y aísla el combustible del oxígeno.

Tn: tonelada.

UHF: Ultra high frequency.

UMS: Unmanned Machinery Space (cámara de máquinas desatendida)

UNCITRAL: Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional.

UNCLOS: Convención de la Naciones Unidas sobre el Derecho en el Mar.

VHF: Very High Frequency (frecuencia muy alta, de 30 MHz a 300 MHz)

Waterjet: Sistema que trabaja principalmente como una bomba, succiona el agua del medio, esta pasa por una bomba y la expulsa por la popa a través de una tobera a una alta presión y velocidad generando así una propulsión a chorro.

WiFi: (wireless fidelity) fidelidad inalámbrica.

ZigBee: es una especificación de red de malla para redes inalámbricas de área local (WLAN) de baja potencia que cubren un área grande.

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1.1.1.1 Embarcación experimental en la Edad de Hierro “A Borna”

Fuente: www.galicialeyendas.blogspot.com

Figura 1.1.3.1 Buque Clemont.

Fuente: www.terranea.es

Figura 2.3.1.1 Estadísticas de accidentes en operaciones de puerto.

Fuente: TFG Mateu Sastre Ribot, Facultad Náutica de Barcelona (Permiso de difusión incluido).

Figura 2.3.1.2 Sistema Shoretension

Fuente: www.swzonline.nl

Figura 2.3.1.3 Bolardo Semiautomático

Fuente: TFG Mateu Sastre Ribot, Facultad Náutica de Barcelona (Permiso de difusión incluido).

Figura 2.3.1.4 Vagón Semiautomático

Fuente: www.gii.udc.es

Figura 2.3.1.5 Amarre por vacío

Fuente: TFG Mateu Sastre Ribot, Facultad Náutica de Barcelona (Permiso de difusión incluido).

Figura 2.3.1.6 Amarre magnético

Fuente: www.exponav.org

Figura 3.1.6.1 Modelo barco de vigilancia marítima

Fuente: www.eomas.wmv.se

Figura 3.2.4.1 Valoraciones de la tecnología autónoma.

Fuente: www.researchgate.net

Figura 3.3.1.1 Prototipo del Yara Birkeland

Fuente: www.km.kongsberg.com

Figura 3.3.1.2 Singladura del Yara Birkeland.

Fuente: www.km.kongsberg.com

Figura 3.3.2.1 Prototipo del proyecto Hröon

Fuente: www.km.kongsberg.com

Figura 3.3.2.2 Volvo saildrones

Fuente: www.pinterest.es

Figura 3.4.1.2.3.1 Sistemas de referencia ECI, ECEF y NED

Fuente: Diseño original de Brevik (2003)

Figura 3.4.1.2.3.2 Sistema de referencia Barco.

Fuente: Diseño original de Brevik (2003)

Figura 4.1 Normativas que afectan a los buques mercantes.

Fuente: Creación propia (Microsoft Excel)

Figura 5.2.1 Diseño Rollce-Royce

Fuente: www.diariomotor.com

Figura 5.2.2 Tipos de buques considerados para el estudio.

Fuente: www.sciencedirect.es

Figura 5.2.3 Influencia de los buques autónomos en el número de accidentes

Fuente www.sciencedirect.es

Figura 5.2.4 Cambios en la frecuencia y/o consecuencias de los accidentes

Fuente www.sciencedirect.es

Figura 5.4.1 Distribución de los costes de un barco

Fuente www.digibuo.uniovi.es

ANEXOS DE LEGISLACIÓN



ShipRight

Design and Construction

Additional Design Procedures

LR Code for Unmanned Marine Systems

February 2017

CHAPTER		GENERAL	
		SECTION	1 AIM
		SECTION	2 PRINCIPLES
		SECTION	3 SCOPE
		SECTION	4 DEFINITIONS
		SECTION	5 STRUCTURE OF THE CODE
		SECTION	6 VERIFICATION
		SECTION	7 MATERIALS
		SECTION	8 CONCEPT OF OPERATIONS
		SECTION	9 LEVEL OF INTEGRITY
CHAPTER	2	STRUCTURE	
		SECTION	1 SCOPE
		SECTION	2 GOAL
		SECTION	3 FUNCTIONAL OBJECTIVES
		SECTION	4 PERFORMANCE REQUIREMENTS
CHAPTER	3	STABILITY	
		SECTION	1 SCOPE
		SECTION	2 GOAL
		SECTION	3 FUNCTIONAL OBJECTIVES
		SECTION	4 PERFORMANCE REQUIREMENTS
CHAPTER	4	CONTROL SYSTEM	
		SECTION	1 SCOPE
		SECTION	2 GOAL
		SECTION	3 FUNCTIONAL OBJECTIVES
		SECTION	4 PERFORMANCE REQUIREMENTS
CHAPTER	5	ELECTRICAL SYSTEMS	
		SECTION	1 SCOPE
		SECTION	2 GOAL
		SECTION	3 FUNCTIONAL OBJECTIVES
		SECTION	4 PERFORMANCE REQUIREMENTS
CHAPTER	6	NAVIGATION SYSTEMS	
		SECTION	1 SCOPE
		SECTION	2 GOAL
		SECTION	3 FUNCTIONAL OBJECTIVES
		SECTION	4 PERFORMANCE REQUIREMENTS
CHAPTER	7	PROPULSION AND MANOEUVRING	
		SECTION	1 SCOPE
		SECTION	2 GOAL
		SECTION	3 FUNCTIONAL OBJECTIVES
		SECTION	4 PERFORMANCE REQUIREMENTS
CHAPTER	8	FIRE	
		SECTION	1 SCOPE
		SECTION	2 GOAL
		SECTION	3 FUNCTIONAL OBJECTIVES
		SECTION	4 PERFORMANCE REQUIREMENTS
CHAPTER	9	AUXILIARY SYSTEMS	
		SECTION	1 SCOPE
		SECTION	2 GOAL
		SECTION	3 FUNCTIONAL OBJECTIVES
		SECTION	4 PERFORMANCE REQUIREMENTS
ANNEX	A	CONCEPT OF OPERATIONS	
ANNEX	B	VERIFICATION METHODS	

Chapter 1 General

■ Section 1 Aim

1.1 Aim

1.1.1 The Unmanned Marine System (UMS) shall be safe, dependable, capable and resilient in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

■ Section 2 Principles

2.1 Principles

2.1.1 The purpose of this Code is to provide a framework for the assurance of safety and operational requirements for UMS.

2.1.2 The implementation of this Code is dependent upon defining the operational requirements that will determine applicable safety and operational risks.

2.1.3 The Code is goal-based providing a set of Performance Requirements that support design innovation.

2.1.4 Performance Requirements may be met by the application of Class Rules, National / International Codes, National / International Standards, where relevant and justified; and, where relevant Rules, Codes or Standards do not exist, risk-based assessment.

■ Section 3 Scope

3.1 Scope

3.1.1 This Code is applicable to autonomous vehicles and remote controlled vehicles operated on or below the surface. It is not applicable to remotely operated underwater vehicles tethered to a mothership.

3.1.2 This Code does not cover the risks resulting from embarked cargo or mission specific equipment.

3.1.3 This Code specifies requirements to support safe operation and maintenance but does not address Operator training and qualification.

3.1.4 If the UMS is periodically manned, or carries dangerous goods or harmful substances, all relevant Codes and Conventions must also be complied with.

■ Section 4 Definitions

4.1 General definitions

4.1.1 **Anchoring and mooring equipment.** Fixed and non-fixed devices to hold a UMS in position such as anchors, windlasses, bollards, fairleads, chains and mooring ropes.

4.1.2 **Autonomy Levels (AL) - Adapted from the Lloyd's Register Cyber Enabled Ships – Draft ShipRight Procedure**

AL 0) Manual: No autonomous function. All action and decision-making performed manually (n.b. systems may have level of autonomy, with Human in/ on the loop.), i.e. human controls all actions.

AL 1) On-board Decision Support: All actions taken by human Operator, but decision support tool can present options or otherwise influence the actions chosen. Data is provided by systems on board.

AL 2) On &Off-board Decision Support: All actions taken by human Operator, but decision support tool can present options or otherwise influence the actions chosen. Data may be provided by systems on or off-board.

- AL 3) 'Active' Human in the loop: Decisions and actions are performed with human supervision. Data may be provided by systems on or off-board.
- AL 4) Human on the loop, Operator/ Supervisory: Decisions and actions are performed autonomously with human supervision. High impact decisions are implemented in a way to give human Operators the opportunity to intercede and over-ride.
- AL 5) Fully autonomous: Rarely supervised operation where decisions are entirely made and actioned by the system.
- AL 6) Fully autonomous: Unsupervised operation where decisions are entirely made and actioned by the system during the mission.

A higher Autonomous Level (AL) system may use a lower AL system as part of its reversionary control and a complex system may be a combination of multiple systems at different levels.

- 4.1.3 Capable.** Having the ability, fitness, or quality necessary to do or achieve the specified objects of the ConOps.
- 4.1.4 Client.** LR's point of contact with the organisation contracted to undertake work.
- 4.1.5 Concept of Operations.** The Concept of Operations (ConOps) is a statement of an Owner's intention for the operation of the UMS. The ConOps describes the UMS intended service in terms of purpose and function and is to include, but not be limited to, information on the following: operational speeds, service area, operating depths, wave heights, maximum and minimum sea and air temperatures and deadweight under reasonably foreseeable, normal and abnormal conditions.
- 4.1.6 Dangerous goods.** Those packaged goods referred to in the International Maritime Dangerous Goods IMDG Code.
- 4.1.7 Dependable.** A measure of a system's availability, reliability, and its maintainability, and supportability.
- 4.1.8 Designer.** Organisation which provides detailed design, drawings and information required for construction.
- 4.1.9 Hazards.** Anything that may cause harm.
- 4.1.10 Inspection and maintenance.** All measures for the preservation and/or restoration of the original conditions of the technical elements of a system as well as measures for the determination and evaluation of the actual conditions.
- 4.1.11 Main electrical power supply.** The main source of electrical power for the UMS.
- 4.1.12 Speed.** Speed surfaced: The maximum operational speed of the UMS or surfaced UMS according to the maximum continuous propulsion power surfaced.
- Speed submerged: The maximum operational speed of the submerged UMS according to the maximum continuous propulsion power submerged.
- 4.1.13 Mission equipment.** Equipment required for the UMS to complete the mission assigned to it. This may be permanently installed or fitted as required for the mission.
- 4.1.14 Non-combustible material.** Material which neither burns nor gives off flammable vapours in sufficient quantity for self-ignition when heated to approximately 750°C, this being determined in accordance with the FTP Code or other standard agreed by the Owner and LR.
- 4.1.15 Occasionally manned.** At some points, the UMS may be required to have personnel on board whilst in operation. This does not include maintenance if the UMS is not in operation during the maintenance, i.e. secured alongside / ashore / on-deck.
- 4.1.16 Operator.** Organisation responsible for operating and maintaining the UMS.
- 4.1.17 Owner.** Organisation who own and task the Operator to control the UMS.
- 4.1.18 Potential hazards.** Examples may include:
- Flammable atmospheres including dust laden atmospheres;
 - Areas that contain electrical and electronic equipment;
 - Confined spaces or spaces where oxygen content may be depleted or enriched;
 - Gas storage rooms;
 - Electric shock;
 - Areas of high noise level;
 - Areas with equipment that may move unexpectedly;
 - Refrigeration spaces;
 - Cleaning or chemical stores;
 - Areas with radiation hazards.

- 4.119 **Propulsion equipment.** Propulsion machinery includes all the equipment and systems required to generate thrust including but not limited to:
- Prime mover (e.g. diesel engines, gas turbines, electric motors, steam turbines);
 - Combined propulsion and manoeuvring devices (e.g. azimuthing thrusters, athwartship thrusters, water-jets);
 - Boilers;
 - Batteries/energy storage;
 - Gearing;
 - Propellers (fixed pitch or controllable pitch);
 - Shafting and couplings.
- 4.120 **Reasonably Foreseeable Operating Conditions.** Conditions in which the UMS can be reasonably foreseen to operate in an intact, degraded, aged and/or damaged state. They are normally defined in the ConOps.
- 4.121 **Reserve power supply.** Back-up power supply to the main electrical power supply.
- 4.122 **Resilient.** Having the ability to maintain its functions and structure in the face of internal and external changes and to degrade gracefully when it must.
- 4.123 **Stability information.** Documents required for stability certification.
- 4.124 **Structure.** All items of the UMS hull that contribute to its ability to withstand global and local loads, maintain watertight and weathertight integrity, support all equipment or other applied loads.
- 4.125 **Standard.** A set of appropriate requirements and/or criteria that are to be agreed by the Owner prior to the plan appraisal stage.
- 4.126 **System.** A combination of interacting elements (sub-systems, equipment, components, hardware, software), organised to achieve one or more of the functions stated in the Concept of Operations.
- 4.127 **Unmanned Marine System (UMS).** A surface or submersible system that can be operated without personnel on board.
- 4.128 **Watertight.** Prevent the passage of water in either direction with a head of water commensurate with the submergence limit in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.
- 4.129 **Weathertight.** Prevent the passage of water into the UMS in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

■ Section 5 Structure of the Code

5.1 General layout

5.1.1 The Code is arranged in Functional Chapters, each containing requirements to realise the Chapter goals; which combine to realise the overall aim of the Code for UMS. Requirements only need to be applied where that system or feature is present.

5.1.2 The goal-based structure of the Code has a hierarchy of tiers as shown in *Figure 1.5.1 Goal-based Approach to Developing the Code* and detailed below. The increasing width of the triangle for lower tiers indicates an increasing level of detail.

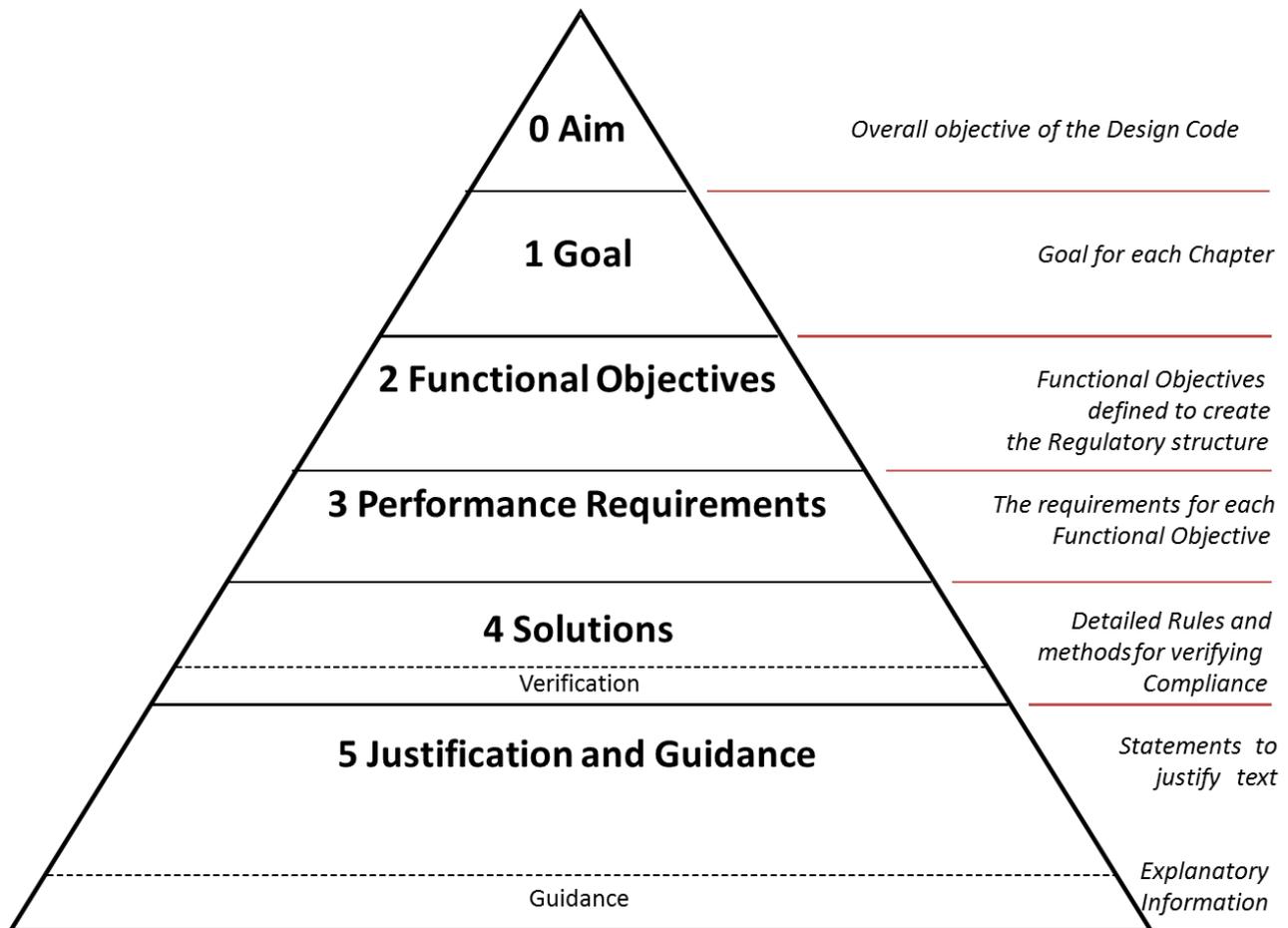


Figure 1.5.1: Goal-based Approach to Developing the Code

5.1.3 Tier 0 is the overall Aim of the Code, see *Ch 1, 1.1 Aim 1.1.1*.

5.1.4 Tier 1 defines high level Goals for the design of the UMS for the subject area covered by each Chapter in order to meet the Tier 0 Aim.

5.1.5 Tier 2 Functional Objectives define the regulatory structure by which the Tier 3 Performance Requirements are grouped in order to meet the Tier 1 Goals.

5.1.6 Tier 3 Performance Requirements provide the criteria to be satisfied in order to meet the Tier 2 Functional Objectives and Tier 1 Goals and are qualitative to allow them to be met by a range of solutions.

5.1.7 Tier 4 Solutions are used to demonstrate that the Tier 3 Performance Requirements are met by the design. Tier 4 Solutions may come from classification Rules and Regulations, recognised National or International Standards or risk-based analysis.

5.1.8 Tier 4 Solutions will be specific to the UMS operational requirements and design solutions and are not defined in this Code, see also *Ch 1, 6. Verification*.

5.1.9 Tier 5 Justification and Guidance provides information regarding origin of requirements, guidance and their application. These are not currently contained in this Code.

■ Section 6 Verification

6.1 General

6.1.1 Independent verification shall be undertaken to provide assurance that the UMS complies in all respects with the provisions of this Code and remains compliant throughout its life.

6.1.2 A Verification Plan shall be submitted for acceptance at the commencement of the project that describes the method by which the Tier 3 Performance Requirements will be met, including the details and justification of the Tier 4 Solutions, the method of assessment of these and the means of demonstrating conformance.

6.1.3 The verification method will be determined by the relevant Level of Integrity for each system, see *Ch 1, 9 Level of Integrity*, with reference to the table given in *Annex B Verification Methods*. Relevant verification methods will include design review, independent calculation, equipment and materials certification, audit, inspection, survey, testing and trials.

6.1.4 A design verification shall be undertaken to justify Tier 4 solutions against the performance requirements of this code and to verify that the design complies with the solutions chosen. The following information will be required to support design verification activities.

- (a) A ConOps and definition of required Autonomy and Integrity Levels (see *Ch 1, 8 Concept of Operations* and *Ch 1, 9 Level of Integrity*);
- (b) Constructional plans and particulars relevant to the hull, equipment and machinery;
- (c) Design calculation and documentation;
- (d) Certification of software, materials, equipment and components;
- (e) Details of software integrity testing and cyber-security audits;
- (f) Maintenance Philosophy & Survey Plan.

6.1.5 Construction surveys shall be conducted at a periodicity and scope, appropriate to the design and build, and may include:

- (a) A review of the capability, organisation and facilities of the manufacturer to confirm that acceptable standards can be achieved for the construction, and fit out of the hull structure, systems and equipment;
- (b) Survey of the material state during build to confirm compliance with the appraised design;
- (c) Witness of tests and trials to demonstrate functionality.

6.1.6 Where required through life survey activities shall be conducted at an agreed periodicity appropriate to the design, construction, material state and operation of the UMS.

6.1.7 On completion a Certificate shall be issued confirming compliance with the Code which shall remain valid subject to continued compliance with the Code and maintenance of through-life survey requirements.

■ Section 7 Materials

7.1 General

7.1.1 Materials shall be manufactured and verified in accordance with recognised standards and procedures appropriate for their application and the Level of Integrity required of the system.

7.1.2 There shall be a system to identify, record, and control hazardous materials and to restrict or mitigate known hazards.

7.1.3 Materials which are banned or restricted by national or international legislation due to their known hazards to human health or the environment shall not be used.

7.1.4 The risks posed by hazardous materials shall be communicated to those carrying out repair and routine maintenance.

■ Section 8 Concept of Operations

8.1 General

8.1.1 The Owner shall define and record the manner in which the UMS shall be designed, operated and maintained in a Concept of Operations (ConOps) including but not limited to the following information as applicable:

- (a) Primary and secondary functions;
- (b) UMS mass;
- (c) Means of propulsion;
- (d) Means of buoyancy control;
- (e) Means of navigation and collision avoidance;
- (f) Means of power generation;
- (g) Means of power storage;
- (h) Maximum UMS speed, see 4.1.10;
- (i) Maximum operational sea state;
- (j) Maximum operational depth;
- (k) Maximum endurance;
- (l) Level of autonomy;
- (m) Reversionary modes of operation (including recovery);
- (n) Means of monitoring health of on-board systems;
- (o) Methods of communications/remote operation;
- (p) Means of determining position;
- (q) Details of modularisations/configurations;
- (r) Means of lifting, launch, recovery and transport;
- (s) Launch and recovery environmental limitations; and
- (t) Environmental limitations (e.g. sea state, water quality, water temperature, air temperature).

8.1.2 LR may accept alternative documents where these provide the information that would be included within the ConOps. In such cases, the relevant sections providing the information required to provide equivalence with the ConOps are to be identified.

8.1.3 A template for a ConOps is provided at *Annex A Concept of Operations* to this Code.

■ Section 9 Level of integrity

9.1 General

9.1.1 The required level of integrity shall be determined for each UMS system. The level of integrity is to be determined by assessing the effect on the UMS, considered as a system of systems, of all reasonably foreseeable system failures and by considering their consequence on the ability of the UMS to achieve the Aim of the Code.

9.1.2 Consequences of reasonably foreseeable system failures on the achievement of the Aim shall be categorised as:

- (a) System Safety Consequences;
 - To people onboard
 - To people/objects in the vicinity
 - To the environment

- (b) System Operational Consequences;
- To capability
 - To resilience

9.1.3 The levels of integrity associated with the system operational consequences shall be determined with reference to the Concept of Operations and the design requirements for the UMS and shall be acceptable to Lloyd's Register.

9.1.4 For each system this shall result in a set of Safety Levels of Integrity (SLol) and Operational Levels of Integrity (OLol) which shall be categorised as:

- (a) High; a LOI for which the consequence of system failure on the achievement of the aim is not acceptable
- (b) Medium; a LOI for which the consequence of system failure on the achievement of the aim is acceptable subject to the presence of mitigating factors; or
- (c) Low; a LOI for which the consequence of system failure on the achievement of the aim is acceptable

9.1.5 The highest Level of Integrity for each system shall then be used to define the verification requirements for that system.

9.1.6 The verification activities shall be undertaken according to the Level of Integrity established for each system as defined in *Ch 1, 6.1 General 6.1.3*.

9.1.7 Where it is not possible for a designed system to achieve the required Level of Integrity, or as an alternative to the above method for the determination of Level of Integrity, a full hazard analysis shall be carried out using established techniques acceptable to Lloyd's Register.

Chapter 2 Structure

■ *Section 1* **Scope**

1.1 **Scope**

1.1.1 This Chapter covers all structure required to enable the UMS to operate in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions and carry all defined operational global and local loads resulting from its operating environment, installed systems and loads from mission equipment. It includes any appendages or supporting structure required to carry out its operational role.

■ *Section 2* **Goal**

2.1 **Goal**

2.1.1 The structure shall be designed, constructed and maintained with a level of integrity sufficient to enable the UMS to be operated and maintained safely as and when required within its design or imposed limitations in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

■ *Section 3* **Functional objectives**

3.1 **Functional objectives**

3.1.1 For the defined operational life of the UMS, the structure shall be designed and constructed to:

- (a) Enable the UMS to operate in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions;
- (b) Carry and respond to all foreseen loads in a predictable manner with a level of integrity commensurate with operational and safety requirements;
- (c) Meet requirements for watertight, weathertight and fire integrity;
- (d) Enable the maintenance and repair in accordance with the maintenance philosophy.

3.1.2 Additional systems or equipment not directly covered by this Chapter, shall not affect the structural integrity.

3.1.3 Operators shall be provided with adequate access, information and instructions for the safe operation of the UMS and maintenance of the structure.

■ *Section 4* **Performance requirements**

4.1 **General**

4.1.1 The UMS shall be designed to operate in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions and carry all defined operational loads with a design margin appropriate to the required level of integrity, established by the process in *Ch 1 General*.

4.1.2 Consideration shall be given to the probability of the occurrence of a load and combination of loads occurring outside of the reasonably foreseeable operating conditions during the stated design life.

4.1.3 As a minimum, consideration should be given to the following demands:

- (a) Above water: Wind, air temperatures (high and low), ice accretion, solar radiation;
- (b) Sea surface: Waves, green seas, ice navigation, ship motions (including slamming);
- (c) Below water: Hydrostatic.

4.1.4 The structure shall be designed to carry any defined local and global loads; consideration shall be given to the static and dynamic loads from:

- (a) Cradling/docking, launch and recovery, securing or transport;
- (b) Permanent weights, solid ballast;
- (c) Cargo, fuel and ballast;
- (d) Stores and equipment;
- (e) Machinery equipment.

4.1.5 Where applicable, the structure shall be capable of withstanding any local and global loads imposed on it when it is suspended from lifting points. This shall include any accelerations or impact loads that may be imposed when lifting is undertaken.

4.1.6 Where applicable, the structure shall be designed to withstand the following loads:

- (a) Anchoring, mooring and towing, beaching and grounding;
- (b) Loads imposed by mission equipment.

4.1.7 The structure shall be designed considering the following:

- (a) Ruggedness;
- (b) Structural continuity;
- (c) Environmental degradation: corrosion, erosion.

4.1.8 Consideration shall be given to the use or protection of materials that have reduced properties under any of the Reasonably Foreseeable Operating Conditions including:

- (a) Maximum and minimum operating temperatures;
- (b) Fire;
- (c) U.V exposure;

4.1.9 Coatings for the protection of structure shall be properly selected and applied to protect the structure throughout the target-useful-life of the coating.

4.1.10 Where stability calculations are carried out in accordance with *Ch 3 Stability*, including damage conditions, the internal structure, which is required to maintain watertight integrity, shall be designed to withstand the damage load.

4.1.11 The structure shall be designed to provide foundations for the attachment of fittings and equipment including masts, propulsion systems and mission systems. Consideration shall be given to any rigidity requirements for sensors and communication equipment.

4.1.12 The structural arrangement shall enable safe access for the purpose of maintaining the structure and fitted equipment and systems.

4.1.13 Information and instructions shall be supplied to the Operator to ensure the safe operation under all Foreseeable Operating Conditions.

4.1.14 Information and instructions shall be available to enable the safe repair and maintenance of the UMS.

Chapter 3 Stability

■ Section 1 Scope

1.1 Scope

1.1.1 This Chapter covers the provision of buoyancy, stability, and watertight and weathertight integrity required to enable the UMS to operate in all Foreseeable Operating Conditions.

■ Section 2 Goal

2.1 Goal

2.1.1 The buoyancy, stability, watertight and weathertight integrity shall be sufficient to enable the UMS to be operated and maintained safely as and when required within its design or imposed limitations in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

■ Section 3 Functional objectives

3.1 Functional objectives

3.1.1 The UMS shall be designed and constructed to:

- (a) Provide an adequate reserve of buoyancy in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions, in the environment in which it is to be operated;
- (b) Provide adequate stability to avoid capsizing in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions, in the environment in which it is to be operated;
- (c) Prevent unintended ingress of water;
- (d) Enable the maintenance and repair in accordance with the maintenance philosophy.

■ Section 4 Performance requirements

4.1 General

4.1.1 Watertight boundaries shall be provided, where required, to prevent ingress of water from hydrostatic loads for all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

4.1.2 Weathertight boundaries shall be provided, where required, to prevent ingress of water from spray and rain for all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

4.1.3 Where required, reserve buoyancy of the UMS in a damaged state shall be provided by sub-division or an equivalent method.

4.1.4 Penetrations in watertight boundaries, including those required to maintain residual buoyancy in the damaged state, shall have fittings designed to prevent the ingress of water for all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

4.1.5 Penetrations in weathertight boundaries shall have weathertight fittings.

4.1.6 The UMS shall, in any Reasonably Foreseeable Operating Conditions:

- (a) Adequately resist roll, heel or list to meet the requirements of all control, electrical, propulsion and manoeuvring and mission systems;
- (b) Return to upright from a roll, heel or list caused by a disturbance subsequent to the removal of the disturbance.

4.1.7 The UMS shall have a margin of buoyancy and stability appropriate for all Reasonably Foreseeable Operating Conditions to meet the required level of integrity established by the process in *Ch 1 General*.

4.1.8 Means shall be provided to determine displacement, heel and trim.

4.1.9 A displacement check, swamp test and inclining or simplified stability assessment shall be conducted as appropriate at the completion of construction to validate the design assumptions.

4.1.10 The seakeeping velocities and accelerations of the hull for all Reasonably Foreseeable Operating Conditions shall consider the requirements of all control, electrical, propulsion and manoeuvring and mission systems. Where seakeeping is dependent upon a stabilising system, it shall meet the required level of integrity.

4.1.11 Consideration shall be given to the removal of any water that may accumulate in the UMS to maintain a margin of buoyancy and stability.

4.1.12 All materials shall comply with the requirements defined in *Ch 1, 7 Materials*.

4.1.13 The subdivision and arrangement of watertight and weathertight fittings shall enable safe access for the purpose of maintenance.

4.1.14 Information and instructions shall be supplied to the Operator to ensure the safe operation under all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

Chapter 4 Control System

■ Section 1 Scope

1.1 Scope

1.1.1 This Chapter covers all equipment and components related to the control system and the hazards that these create. The control system includes any systems on board the UMS and any off-board facility that performs a monitoring and/or control function of propulsion, manoeuvring and navigation systems and the transmission of data to carry out these functions. It does not include monitoring and/or control of auxiliary and mission systems.

■ Section 2 Goal

2.1 Goal

2.1.1 The control system shall be designed with a level of integrity sufficient to enable the UMS to be operated and maintained safely as and when required within its design or imposed limitations in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

■ Section 3 Functional objectives

3.1 Functional objectives

3.1.1 The UMS shall be able to monitor and control all systems required for propulsion, manoeuvring and navigation.

3.1.2 The control system shall be designed and constructed to:

- (a) Enable its operation in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions;
- (b) Operate in a predictable manner with a level of integrity commensurate with operational and safety requirements;
- (c) Meet requirements for watertight, weathertight and fire integrity;
- (d) Minimise the risk of initiating fire and explosion;
- (e) Enable maintenance and repair in accordance with the maintenance philosophy.

3.1.3 Additional systems or equipment not directly covered by this Chapter, shall not affect the control system.

3.1.4 Operators shall be provided with adequate access, information and instructions for the safe operation and maintenance of the control system.

■ Section 4 Performance requirements

4.1 General

4.1.1 The control system shall be designed and arranged to meet the required level of integrity established by the process in *Ch 1 General*, considering the Autonomy Level, equipment failure rates and the effects of flood or fire.

4.1.2 The UMS shall be fitted with sensors, systems and equipment to provide feedback to the Operator or autonomous control system of the operating state and potential hazards. The feedback should be appropriate for the Autonomy Level, and operating state and environment of the UMS.

4.1.3 Ambient conditions shall be controlled, where required, to suit the operating environment and the control system requirements.

4.1.4 All aspects (on-board and off-board) of the Control System shall be designed with consideration of the human-system interface.

4.15 The control system shall record the sensor output for all sensors on which the control system is dependent and all propulsion and manoeuvring system activities at appropriate intervals over the duration of the mission. This data shall be protected from loss or damage and readily recoverable in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

4.16 The control system is to respond in a timely, accurate and predictable manner commensurate with the equipment limitations and manoeuvring capability of the UMS.

4.17 The control system shall ensure that any serious malfunctions of UMS systems providing manoeuvring, control, alarm or safety functions shall automatically initiate corrective actions via a high integrity system to put the UMS into a safe state to minimise the risk to people, environments or assets.

4.18 The energy source for the control system shall also meet the required level of integrity as for the control system.

4.19 An audible and visual alert shall be provided to the Operator in the event of failure of the energy source.

4.1.10 The control system shall recover automatically in a safe manner after restoration of the energy source.

4.1.11 An emergency manual control enacted through a high integrity independent system is to be provided in a prominent position on all primary and secondary Operator consoles to activate a safe state.

4.1.12 An alert system shall be provided to inform Operators as soon as reasonably practicable of deviations from normal or expected operation of UMS systems.

4.1.13 Alerts for systems providing manoeuvring, control, alarm or safety functions shall be presented with priority over other information in every operating mode of the system and shall be clearly distinguishable from other information.

4.1.14 The production of software shall be managed so that the safety risks arising from the software production are reduced to an acceptable level commensurate with the required level of integrity.

4.1.15 The level of resilience of the control system to Operator programming errors, hardware faults, incorrect sensor inputs, security of communications and security of data is to be defined and justified.

4.1.16 A failure or unspecified behaviour of the software shall not result in:

- an event that escalates to a hazard;
- impairment of the mitigation of a hazard;
- impairment of recovery from a hazard.

4.1.17 The control system shall be protected against:

- unauthorised access;
- unintended change.

4.1.18 A management of change process shall be applied to safeguard against unexpected consequences of modifications or changes to settings.

4.1.19 Programs and data held in the system shall be protected from corruption due to loss of power.

4.1.20 The control system shall not be affected by any reasonably foreseeable EMC interference and shall not cause interference to other systems.

4.1.21 Any penetrations in boundaries required for the control system shall be designed to meet the watertight, weathertight and fire integrity requirements for that boundary as applicable.

4.1.22 Where applicable, protection arrangements from the ingress of solids, dusts, liquids and gases shall be provided for control equipment and distribution systems.

4.1.23 Where alternative control locations are available:

- It shall only be possible to control UMS from one control station at any one time;
- Clear indication showing the location of the control shall be provided;

- Changeover of control stations or systems shall be indicated at all appropriate stations;

- Automatic changeover shall initiate alert at all appropriate stations;
- Transfer between control stations without altering the control set points shall be provided;
- Integrity of alternative control locations shall be commensurate with the required level of integrity.

4.124 Operators shall be provided with adequate information and instructions for the safe and effective control of the UMS. These shall be presented in a language and format that can be understood by the Operator in the context in which it is required.

4.125 It shall be possible to disable and isolate the control system to allow inspection and maintenance tasks to be safely performed on the UMS.

4.126 System diagrams and instructions shall be provided for maintenance of the control system in a language and format that can be understood.

4.2 Remotely controlled control system

4.21 The control panel shall be designed using human factors methodology. The controls are to be easily identifiable and are to be arranged in a logical way to reflect their function, means of operation and hierarchy of importance.

4.22 The Operator is to be alerted if the UMS is approaching operating range limit. If the UMS exceeds the operating range limit, it shall automatically return into a safe state alerting the Operator.

4.3 Autonomous control system

4.31 The autonomous control system shall carry out the programmed mission in an accurate and timely manner with an appropriate level of integrity.

4.32 The autonomous control system shall react to changes in its environment including other vessels and moving objects.

4.33 It shall be possible within a timeframe appropriate for the operational profile of the UMS to override the autonomous control system to initiate a corrective action or activate a safe state.

4.34 The UMS shall fail to a safe state in the event of deviation from normal operation and initiate a system to facilitate location and recovery.

4.35 The link between the autonomous control system and the Operator is to be as far as reasonably practicable maintained at all times.

Chapter 5 Electrical Systems

■ Section 1 Scope

1.1 Scope

1.1.1 This Chapter covers all equipment and components relating to the electrical system and the hazards that these create. This includes all generation, storage and distribution, including the supply of power to portable and mission specific equipment. It does not include any electrical systems within portable and mission specific equipment. It includes the supply of power to on-board and off-board control systems but does not include the control system itself, which is covered in *Ch 4 Control Systems*.

■ Section 2 Goal

2.1 Goal

2.1.1 The electrical system shall be designed with a level of integrity sufficient to enable the UMS to be operated and maintained safely as and when required within its design or imposed limitations in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

■ Section 3 Functional objectives

3.1 Functional objectives

3.1.1 The electrical system shall be designed and constructed to:

- (a) Operate in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions;
- (b) Operate in a predictable manner with a level of integrity commensurate with operational and safety requirements;
- (c) Meet requirements for watertight, weathertight and fire integrity;
- (d) Minimise the risk of initiating fire and explosion;
- (e) Enable the maintenance and repair in accordance with the maintenance philosophy.

3.1.2 Additional systems or equipment not directly covered by this Chapter, shall not affect the electrical system.

3.1.3 Operators shall be provided with adequate access, information and instructions for the safe operation and maintenance of all electrical systems.

■ Section 4 Performance requirements

4.1 General

4.11 The electrical system shall be designed and arranged to meet the required level of integrity, considering equipment failure rates and the effect of flood or fire.

4.12 Sufficient power shall be provided to supply all UMS consumers with an appropriate margin and level of redundancy corresponding to the required level of integrity established by the process in *Ch 1 General*.

4.13 Ambient conditions shall be controlled, where required, to suit the operating environment and the electrical system requirements.

4.14 The Quality of Power Supply (QPS) shall be maintained at the level required by all UMS consumers taking account of all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

- 415 Where a reserve power supply is required in the event of failure or loss of the main electrical supply to achieve the required level of integrity, the following shall be considered:
- (a) Size of demand;
 - (b) Speed of transition;
 - (c) Duration of demand;
 - (d) Integrity of reserve power supply;
 - (e) Location and routing of reserve power supply.
- 416 Electrical equipment shall be designed for the maximum load for all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.
- 417 Where applicable, facilities to connect safely to an external electrical power supply shall be provided.
- 418 The design of distribution system shall be suitable for the functional requirements of the UMS and portable and mission specific equipment for all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.
- 419 The design and configuration of the distribution system, including earthing arrangements as necessary, shall minimise the risk to Operators, maintainers and equipment under all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.
- 41.10 The electrical system shall not be affected by any EMC interference and shall not cause interference to other systems within the UMS and external to it for all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.
- 41.11 Any penetrations in watertight and weathertight boundaries due to the electrical system shall be designed in accordance with the requirements of *Ch 3 Stability*.
- 41.12 Suitable protection arrangements shall be provided for the use of portable and mission specific equipment.
- 41.13 Portable and mission specific equipment shall not have a detrimental effect upon the electrical distribution system.
- 41.14 Exposed metal parts of electrical machines or equipment which are not intended to be live but which are liable under fault conditions to become live shall be earthed.
- 41.15 A means to detect and alert in the case of insulation breakdown with respect to earth within equipment and distribution systems shall be provided.
- 41.16 Equipment is to be designed and installed to minimise the effects of arc flash.
- 41.17 Where applicable, protection arrangements from the ingress of solids, dusts, liquids and gases shall be provided for electrical equipment and distribution systems.
- 41.18 Protection shall be provided against damage to UMS systems from excess current.
- 41.19 Suitable arrangements for the protection of mechanically connected equipment due to the effects of electrical overloads shall be provided.
- 41.20 Suitable arrangements for the protection of electrical equipment due to the effects of mechanical overloads shall be provided.
- 41.21 Electrical equipment and distribution systems shall be suitably protected from mechanical damage.
- 41.22 Suitable security arrangements to prevent unauthorised access to live electrical connections and electrical systems shall be provided.
- 41.23 Suitable protection arrangements for lightning strikes shall be provided.
- 41.24 Suitable arrangements shall be provided to minimise the effects of radiation hazards to personnel on other vessels, Operators and maintainers.
- 41.25 The categorisation of hazardous areas with potentially flammable atmospheres shall be in accordance with a national or international standard.
- 41.26 Where machinery or electrical equipment is required to be fitted in a space with a potentially flammable atmosphere:
- (a) it shall be of a type suitable for the environment for which it will be operated;

- (b) a means shall be provided to detect and alert the Operator of any abnormal parameters which may lead to ignition of the atmosphere.
- 4127 The integrity of the boundary of the hazardous area shall not compromise the safety of the adjacent space.
- 4128 Suitable arrangements for the safe installation, use and maintenance of energy storage devices shall be provided.
- 4129 Ageing effects on the performance of energy storage devices shall be considered over the lifetime of the UMS.
- 4130 Where necessary the launch, recovery and stowage system shall ensure the equipotential bond between the UMS and cradle or recovery device.
- 4131 Electrical power generation required for propulsion and manoeuvring systems are to meet the requirements of *Ch 7 Propulsion and Manoeuvring*.
- 4132 System diagrams and instructions shall be provided for maintenance of the electrical system in a language and format that can be understood.
- 4133 To allow inspections and maintenance tasks to be safely performed the following shall be provided:
 - (a) Suitable arrangements for the isolation and switching of distribution circuits;
 - (b) Protection from the risk of static electricity;
 - (c) Indication of the nature of the potential hazards at the entrance(s) to the space, and on the equipment where applicable.

Chapter 6 Navigation Systems

■ Section 1 Scope

1.1 Scope

1.1.1 This Chapter covers the systems required for safe navigation of the UMS. This includes systems on board and off-board for the identification and avoidance of navigational hazards and the communication between these, and systems for communication with other vessels to relay intentions. It does not include control of the navigation system itself or the control of systems to carry out avoidance of navigational hazards, which are covered in *Ch 4 Control Systems*.

■ Section 2 Goal

2.1 Goal

2.1.1 The navigation system shall be designed with a level of integrity sufficient to enable the UMS to be operated and maintained safely as and when required within its design or imposed limitations in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

■ Section 3 Functional objectives

3.1 Functional objectives

3.1.1 Navigational systems shall identify all navigation hazards, fixed or mobile, and measure and interpret environmental data.

3.1.2 The UMS shall be able to navigate to minimise risk of grounding, collision and environmental impact.

3.1.3 The UMS shall be able to communicate its limitations and navigational intentions to other vessels.

3.1.3 The navigational systems shall be designed and constructed to:

- (a) Enable their operation in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions;
- (b) Operate in a predictable manner with a level of integrity commensurate with operational and safety requirements;
- (c) Meet requirements for watertight, weathertight and fire integrity;
- (d) Minimise the risk of initiating fire and explosion;
- (e) Enable the maintenance and repair in accordance with the maintenance philosophy.

3.1.4 Additional systems or equipment not directly covered by this Chapter, shall not affect the navigation systems.

3.1.5 Operators shall be provided with adequate access, information and instructions for the safe operation and maintenance of the navigation system.

■ Section 4 Performance requirements

4.1 General

4.1.1 The navigation system shall be designed and arranged to meet the required level of integrity established by the process in *Ch 1 General*, considering the Autonomy Level, equipment type, function and the effect of flood or fire.

4.1.2 The UMS shall be provided with sufficient sensors and systems to determine, display and record its present time, position, orientation and movement in relation to the earth and the rate of change of the parameters measured at an appropriate interval and accuracy to ensure safe navigation to its required level of integrity.

4.1.3 Ambient conditions shall be controlled, where required, to suit the operating environment and the navigation system requirements.

- 4.1.4 The UMS shall be provided with appropriate sensors and processing equipment to adequately measure, analyse, assess, display and record fixed and mobile hazards in its physical environment for the conduct of safe navigation.
- 4.1.5 The UMS shall have a means to measure its depth (where applicable), direction and speed in accordance with *Ch 4 Control Systems*.
- 4.1.6 The UMS shall have a means to display its manoeuvring limitations.
- 4.1.7 The UMS shall have a means to control its illuminated appearance.
- 4.1.8 The UMS shall have a means to communicate with other vessels.
- 4.1.9 The UMS shall have a means to alert other vessels that it is in distress.
- 4.1.10 The UMS shall be fitted with systems in order to receive, transmit, record and analyse navigation data, in recognised formats, relevant to safe navigation, for the duration of the mission. These systems shall be protected against unauthorised access.
- 4.1.11 Surfaced UMS shall be able to exhibit, by day and night, in all weathers, appropriate lights and shapes in order to indicate size, orientation, activity and limitations so as to facilitate the determination of risk of collision by other mariners. The Operator is to be aware of the conditions in which the UMS is operating and which lights and shapes are being displayed at any time.
- 4.1.12 Surfaced UMS shall be able to generate, by day and night, in all weathers, sound signals, in order to indicate its orientation, activity and limitations to facilitate the determination of risk of collision by other mariners. The Operator is to be aware of the conditions in which the UMS is operating and which sound signals are being broadcast at any time.
- 4.1.13 The UMS, by day and night, in all weathers, shall be able to detect the presence of nearby vessels, monitor their speed and direction and take measures as required to avoid a collision.
- 4.1.14 The UMS shall always have sufficient power and a means of manoeuvring available to ensure proper control in accordance with *Cha 7 Propulsion and Manoeuvring*.
- 4.1.15 Any penetrations in watertight and weathertight boundaries due to the navigation systems shall be designed in accordance with the requirements of *Ch 3 Stability*.
- 4.1.16 Equipment necessary for the safety of navigation shall be capable of being safely accessed for the purpose of repair and routine maintenance.
- 4.1.17 Operators shall be provided with adequate information and instructions for the safe and effective navigation of the UMS. These shall be presented in a language and format that can be understood by the Operator in the context in which it is required.
- 4.1.18 It shall be possible to disable and isolate the Navigation system to allow inspection and maintenance tasks to be safely performed on the UMS.
- 4.1.19 System diagrams and instructions shall be provided for maintenance of the Navigation system in a language and format that can be understood.

Chapter 7 Propulsion and Manoeuvring

■ Section 1 Scope

1.1 Scope

1.1.1 This Chapter covers all equipment and components relating to the propulsion and manoeuvring system and the hazards that these create. This does not include control of the propulsion and manoeuvring system, which is covered in *Ch 4 Control Systems*, and does not include auxiliary systems, which are covered in *Ch 9 Auxiliary Systems*.

■ Section 2 Goal

2.1 Goal

2.1.1 The propulsion and manoeuvring systems shall be designed with a level of integrity sufficient to enable the UMS to be operated and maintained safely as and when required within its design or imposed limitations in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

■ Section 3 Functional objectives

3.1 Functional objectives

3.1.1 The propulsion and manoeuvring system shall be sufficient to enable effective control.

3.1.2 The propulsion and manoeuvring systems shall be designed and constructed to:

- (a) Enable their operation in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions;
- (b) Operate in a predictable manner with a level of integrity commensurate with operational and safety requirements;
- (c) Meet requirements for watertight, weathertight and fire integrity;
- (d) Minimise the risk of initiating fire and explosion;
- (e) Enable the maintenance and repair in accordance with the maintenance philosophy.

3.1.3 Additional systems or equipment not directly covered by this Chapter, shall not affect the propulsion and manoeuvring systems.

■ Section 4 Performance requirements

4.1 General

4.1.1 The propulsion and manoeuvring system shall be designed and arranged to meet the required level of integrity established by the process in *Ch 1 General*, considering equipment failure rates and the effect of flood or fire.

4.1.2 For all propulsion and manoeuvring systems installed, the choice of materials and components of construction as well as the design, location and installation shall be made according to the environmental, maintenance and operating conditions in order to ensure the continued function of the equipment during all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

4.1.3 Ambient conditions shall be controlled, where required, to suit the operating environment and the propulsion and manoeuvring system requirements.

4.1.4 The propulsion system shall be designed to meet the required operating speed in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

4.1.5 The manoeuvring system shall be designed to meet the required manoeuvring requirements in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

- 4.1.6 The supply of energy source shall be sufficient to meet operational requirements with adequate reserve.
- 4.1.7 The energy source for the propulsion and manoeuvring system shall also meet the required level of integrity.
- 4.1.8 Any penetrations in watertight and weathertight boundaries due to propulsion and manoeuvring systems shall be designed in accordance with the requirements of *Ch 3 Stability*.
- 4.1.9 Pressure vessels and associated piping systems and fittings shall be of a design and construction adequate to safely contain media and safely release pressure. This is to take account of the anticipated internal and external pressure and temperature profiles and the service for which they are intended.
- 4.1.10 The propulsion and manoeuvring system shall be designed to minimise the risk of initiating a fire, including consideration of the following:
- (a) Surface temperatures of systems shall not become a source of ignition in case of flammable fluid leaks;
 - (b) Failure of a joining arrangement shall not pose a further risk (e.g. due to atomisation of hydrocarbons, leakage of water onto electrical equipment etc.);
 - (c) Suitable arrangements to prevent the ignition of vapours in a tank shall be provided.
- 4.1.11 Suitable precautions against the build-up of electrostatic charges shall be provided.
- 4.1.12 The propulsion and manoeuvring system shall be designed such that it will not unduly affect any other system including under failure conditions.
- 4.1.13 The propulsion and manoeuvring system shall be protected against damage by fire in accordance with *Ch 8 Fire*.
- 4.1.14 Safe access shall be provided to the propulsion and manoeuvring system including means of isolation and access provision in the event of equipment failure or for maintenance.
- 4.1.15 Information and instructions shall be supplied to the Operator to ensure the safe operation, fault finding and maintenance of machinery, under all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

Chapter 8 Fire

■ *Section 1* **Scope**

1.1 **Scope**

1.1.1 This Chapter covers all structure, equipment and components relating to fire safety and the hazards that these create and minimising the risk of ignition. This includes all automated and remotely operated fixed systems and does not include any portable or other fire-extinguishing equipment provided for use by personnel on board.

■ *Section 2* **Goal**

2.1 **Goal**

2.1.1 The fire safety systems shall be designed to detect and extinguish a fire with a level of integrity sufficient to enable the UMS to be operated and maintained safely and to protect the UMS in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

■ *Section 3* **Functional objectives**

3.1 **Functional objectives**

3.1.1 The UMS shall be designed and constructed to minimise the risk of initiating a fire.

3.1.2 The UMS shall be designed and constructed to detect, contain and extinguish a fire.

3.1.3 Fire safety systems shall be designed to:

- (a) Enable their operation in all Foreseeable Operating Conditions;
- (b) Operate in a predictable manner with a level of integrity commensurate with operational and safety requirements;
- (c) Meet requirements for watertight, weathertight and fire integrity;
- (d) Enable maintenance and repair in accordance with the maintenance philosophy.

■ *Section 4* **Performance requirements**

4.1 **Risk of ignition and growth**

4.1.1 Means shall be provided to control leaks of flammable liquids.

4.1.2 Means shall be provided to limit the accumulation of flammable gases, vapours and dust.

4.1.3 The use of combustible materials shall be minimised and consideration shall be given to selecting materials with lower ignitability.

4.1.4 Ignition sources shall be minimised.

4.1.5 Ignition sources shall be separated from combustible materials and flammable liquids.

4.1.6 Storage of flammable liquids and gasses shall be appropriately located and restricted to the minimum.

4.1.7 A margin is to be maintained between the foreseeable maximum ambient temperature of a space, and the minimum flashpoint of flammable liquids contained within the space.

4.1.8 Means shall be provided for the control of air supply and flammable liquids to a space or group of spaces.

4.1.9 Pressure systems for flammable liquids and gasses shall be designed to minimise any potential effects caused by fire.

4.2 Detection and alerts

4.2.1 The fire detection system shall meet the required level of integrity established by the process in *Ch 1 General*.

4.2.2 An effective means of detecting and locating fires and alerting the Operator is to be provided. This shall be designed in accordance with the appropriate Sections of *Ch 4 Control Systems*.

4.2.3 Fire and gas detection systems shall be suitable for the nature of the space, fire growth potential and potential generation of smoke and gases.

4.3 Containment and structural integrity

4.3.1 The structure shall be constructed of non-combustible or fire-resisting materials, or provided with suitable protection from fire or other sources of ignition, to meet the required level of integrity established by the process in *Ch 1 General*.

4.3.2 The primary structure of the UMS, when subjected to fire for a defined period of time and after a fire, shall not:

- Threaten the structural integrity of the UMS through loss of structural members e.g. bulkhead strut or pillar, in or adjacent to a compartment which has a fire;
- Threaten or degrade structure supporting the Propulsion and Manoeuvring System and the Electrical and Control System.

4.3.3 Where required by the Owner, the fire, should not threaten or degrade structure supporting portable and mission specific equipment.

4.3.4 Fittings that preserve external watertight integrity when subject to fire shall remain effective for a defined period of time and after a fire.

4.3.5 Where required to meet the level of integrity established by the process in *Ch 1 General*, the UMS shall be subdivided by thermal and structural boundaries. Active and/or passive containment arrangements may be used.

4.3.6 Fire containment at boundaries shall have due regard to the fire risk of the space, function of the space, and function of adjacent spaces.

4.3.7 The fire integrity of the boundary shall be maintained at openings and penetrations.

4.4 Extinction

4.4.1 For all foreseeable fire hazards there shall be defined effective and proportionate means of extinguishing each such fire.

4.4.2 Fire-extinguishing systems shall be installed, having due regard to the risk of ignition, fire growth potential and operational importance of the protected spaces.

4.4.3 Fire-extinguishing systems are to be suitable for application at the initiation of a fire and for all stages through to the maximum potential escalation.

4.4.4 Control and activation of fire-extinguishing systems shall be designed in accordance with the appropriate Sections of *Ch 4 Control Systems*.

4.4.5 Automatic activation of fire-extinguishing systems shall have due regard for the function of the space and / or equipment protected.

4.4.6 Selection of fire-extinguishing media shall have due regard to potential environmental impact, toxicity of the agent and its fire breakdown products and potential short- and long-term effects on space recovery.

4.4.7 Means shall be provided to safely exhaust spaces and remove combustion products.

4.4.8 Fixed systems shall not endanger stability nor pressurise compartments.

4.4.9 Status of extinguishing systems shall be provided to the Operator.

4.4.10 The fire-extinguishing systems shall have appropriate margin and level of redundancy to meet the required level of integrity established by the process in *Ch 1 General*.

4.5 Maintenance

4.5.1 Safe access shall be provided to the fire safety systems including access provision in the event of equipment failure or for maintenance.

4.5.2 System diagrams and instructions shall be provided for maintenance of the fire safety systems in a language and format that can be understood.

Chapter 9 Auxiliary Systems

■ Section 1 Scope

1.1 Scope

1.1.1 This Chapter covers all auxiliary equipment and components required to support mission equipment and mission functions and the hazards that these create. This does not include equipment and components for Control System, Electrical Systems, Navigation Systems or Propulsion and Manoeuvring Systems, which are covered in *Ch 4 Control System*, *Ch 5 Electrical Systems*, *Ch 6 Navigation Systems*, and *Ch 7 Propulsion and Manoeuvring* respectively.

■ Section 2 Goal

2.1 Goal

2.1.1 The auxiliary systems shall be designed to support mission equipment and mission functions with a level of integrity sufficient to meet the operational requirements and be operated and maintained safely as and when required within its design or imposed limitations in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

■ Section 3 Functional objectives

3.1 Functional objectives

3.1.1 The auxiliary systems shall be designed and constructed to:

- (a) Enable their operation in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions;
- (b) Operate in a predictable manner with a level of integrity commensurate with operational and safety requirements;
- (c) Meet requirements for watertight, weathertight and fire integrity;
- (d) Minimise the risk of initiating fire and explosion;
- (e) Enable the maintenance and repair in accordance with the maintenance philosophy.

3.1.2 Additional systems or equipment not directly covered by this Chapter, shall not affect the auxiliary systems.

■ Section 4 Performance requirements

4.1 General

4.1.1 The auxiliary systems shall be designed and arranged to meet the required level of integrity established by the process in *Chapter 1 General*, considering equipment failure rates and the effect of flood or fire.

4.1.2 For all auxiliary systems installed, the choice of materials and components of construction as well as the design, location and installation shall be made according to the environmental, maintenance and operating conditions in order to ensure the continued function of the equipment during all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

4.1.3 Ambient conditions shall be controlled where required to suit the operating environment and auxiliary systems requirements.

4.1.4 Auxiliary systems shall be designed to meet the mission equipment and mission function requirements in all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

4.1.5 The supply of energy source shall be sufficient to meet operational requirements with adequate reserve.

4.1.6 The energy source for auxiliary systems shall also meet the required level of integrity.

4.1.7 Any penetrations in watertight and weathertight boundaries due to auxiliary systems shall be designed in accordance with the requirements of *Ch 3 Stability*.

4.1.8 Pressure vessels and associated piping systems and fittings shall be of a design and construction adequate to safely contain media and safely release pressure. This is to take account of the anticipated internal and external pressure and temperature profiles and the service for which they are intended.

4.1.9 Auxiliary systems shall be designed to minimise the risk of initiating a fire including consideration of the following:

- (a) Surface temperatures of systems shall not become a source of ignition in case of flammable fluid leaks;
- (b) Failure of a joining arrangement shall not pose a further risk (e.g. due to atomisation of hydrocarbons, leakage of water onto electrical equipment etc.);
- (c) Suitable arrangements to prevent the ignition of vapours in a tank shall be provided.

4.1.10 Suitable precautions against the build-up of electrostatic charges shall be provided.

4.1.11 Auxiliary systems shall be designed such that they will not unduly affect any other system including under failure conditions.

4.1.12 Where appropriate to meet the defined operational requirement, auxiliary systems shall be protected against damage by fire in accordance with *Ch 8 Fire*.

4.1.13 Safe access shall be provided to the auxiliary systems including means of isolation and access provision in the event of equipment failure or for maintenance.

4.1.14 Information and instructions shall be supplied to the Operator to ensure the safe operation, fault finding and maintenance of machinery, under all Reasonably Foreseeable Operating Conditions.

ANNEX A CONCEPT OF OPERATIONS<If appropriate,
official seal of the
Recognised
Organisation>**Particulars of the UMS**

UMS Name

*(pennant number and name)*Type e.g.
(Surface/Semi/Submarine)

Date last updated

*(date)***The Owner**

Defines the ship details, role and extreme threat survivability, and agrees the foreseeable damage survivability, maintenance philosophy and environmental conditions.

Signed

Name

Position

Address

Date of Signature

Official Seal

Primary and secondary roles

Primary Roles

*(high level overview of primary roles in sufficient detail for
standards to be selected and the design completed)*

Secondary Roles	<p><i>(high level overview of secondary roles in sufficient detail for standards to be selected and the design completed)</i></p>
-----------------	---

Unmanned System Attributes

Design Life	<i>(years)</i>
Level of Autonomy	<i>e.g. AL3, AL4, AL5 or AL6</i>
Length Overall	<i>(m)</i>
Breadth Overall	<i>(m)</i>
Lightweight	<i>(te)</i>
Displacement	<i>(te)</i>
Minimum Draught	<i>(m)</i>
Maximum Draught	<i>(m)</i>
Speed (maximum)	<i>(surface/sub-surface) (knots)</i>
Endurance	<i>(surface/sub-surface) (mission length in days)</i>
Area of Operation	<i>(restricted by range and range to refuge {links time, speed, sea state}, restricted to sheltered waters, max operating depth)</i>
Payload	Fluids in tanks: Dry weights: Hazardous materials: <div style="text-align: right;"><i>(weights, volumes and locations)</i></div>

Required Integrity Levels*

Description of Owners required level of integrity according to *Chapter 1 General*.

	Safety	Operational
--	---------------	--------------------

Structure		
-----------	--	--

Stability		
Control Systems		
Electrical Systems		
Navigation Systems		
Propulsion & Manoeuvring		
Fire		
Auxiliary Systems		

***Add sub-level systems as required**

Environment

A - Meteorology and climatology (above surface)	
Wind	<i>(maximum Beaufort Force or speed for operation and for survival)</i>
Precipitation	<i>(if specifically required, e.g. Tropical Storm)</i>
Air temperature – high	<i>(specify e.g. Maximum mean daily max)</i>
Air temperature – low	<i>(specify e.g. Minimum mean daily min)</i>
Air humidity	<i>(if not 100 per cent relative humidity at all air temperatures)</i>
Ice accretion	<i>(if specifically required)</i>
Visibility	<i>(if specifically required, e.g. night operations)</i>
Atmospheric pressure	<i>(if specifically required)</i>
Solar radiation	<i>(if specifically required, e.g. equatorial)</i>
Electro-magnetic discharge	<i>(if specifically required)</i>
Air quality	<i>(if specifically required, e.g. operations in coastal waters near deserts)</i>
Flora and fauna	<i>(if specifically required, e.g. in waters of known high activity)</i>
B - Sea surface, Bathymetry and oceanography (below surface)	
Waves	<i>(Sea State, significant wave height, maximum wave height)</i>
Waves - other situations	<i>(if specifically required, e.g. operations in surf, tidal bore)</i>

Sea temperature – high	<i>(specify e.g. Maximum mean daily max)</i>
------------------------	--

Sea temperature – low	<i>(specify e.g. Minimum mean daily min)</i>																															
Tide	<i>(range (height) and maximum speed (relevant to berthing))</i>																															
Green seas and spray	<i>(area affected, frequency)</i>																															
Ice navigation	<i>(if specifically required, e.g. icebreaking)</i>																															
Sea surface quality (floating objects, pollution)	<i>(if specifically required, e.g. operations in estuaries)</i>																															
UMS motions	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Maximum from equilibrium</th> <th style="text-align: center;">Period</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Roll</td> <td style="text-align: center;">degrees</td> <td style="text-align: center;">seconds</td> </tr> <tr> <td>Pitch</td> <td style="text-align: center;">degrees</td> <td style="text-align: center;">seconds</td> </tr> <tr> <td>Yaw</td> <td style="text-align: center;">degrees</td> <td style="text-align: center;">seconds</td> </tr> <tr> <td>Heave</td> <td style="text-align: center;">metres</td> <td style="text-align: center;">seconds</td> </tr> <tr> <td>Surge</td> <td style="text-align: center;">metres</td> <td style="text-align: center;">seconds</td> </tr> <tr> <td>Sway</td> <td style="text-align: center;">metres</td> <td style="text-align: center;">seconds</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Submerged</td> </tr> <tr> <td>Roll</td> <td style="text-align: center;">degrees</td> <td style="text-align: center;">seconds</td> </tr> <tr> <td>Pitch</td> <td style="text-align: center;">degrees</td> <td style="text-align: center;">seconds</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;"><i>(design values for deviations from the static position)</i></p>		Maximum from equilibrium	Period	Roll	degrees	seconds	Pitch	degrees	seconds	Yaw	degrees	seconds	Heave	metres	seconds	Surge	metres	seconds	Sway	metres	seconds	Submerged			Roll	degrees	seconds	Pitch	degrees	seconds	
	Maximum from equilibrium	Period																														
Roll	degrees	seconds																														
Pitch	degrees	seconds																														
Yaw	degrees	seconds																														
Heave	metres	seconds																														
Surge	metres	seconds																														
Sway	metres	seconds																														
Submerged																																
Roll	degrees	seconds																														
Pitch	degrees	seconds																														
Vibration	<i>(motion induced and wave induced)</i>																															
Pressure (depth)	<i>(for specific features in head of sea water)</i>																															
Ocean currents	<i>(if specifically required, e.g. drift)</i>																															
Water quality	<i>(salinity/visibility) (if specifically required, e.g. operations in estuaries)</i>																															
Flora and fauna	<i>(if specifically required, e.g. in waters of know high activity)</i>																															
D – Geotechnical																																
Bottom/Ground conditions	<i>(if specifically required)</i>																															
Banks (including canals)	<i>(dimensions, bottom conditions if specifically required)</i>																															
E – Human Caused Environment																																
Berthing	<i>(maximum speed of contact)</i>																															

Beaching	
Shipping/Storage	
Towing and salvage	
Acoustic fields	<i>(if specifically required)</i>
Electro-magnetic fields	<i>(if specifically required)</i>
Launching and recovery	<i>(assumptions for build)</i>
Noise and vibration	

Operating philosophy

Modes of Operation	Occasionally Manned Semi-Autonomous Fully-Autonomous Remotely Operated
Restrictions and limitations	Cargo restrictions: Loading restrictions: Structural limitations: Other: <i>(including all restrictions and limitations that are acceptable under the role of the UMS)</i>
Role Specific Operations	<i>(requirements relating to the specific role of the vessel, e.g. cargo handling, requirement for low flashpoint fuels including their stowage etc.)</i>
Anchoring and mooring	<i>(frequency of use, limitations due to sea conditions)</i>

Towing (other than for emergencies)	
-------------------------------------	--

	<i>(requirement for / being towed, operational scenarios, etc.)</i>
Lifting, launch and recovery, and Transport	<i>(how will the UMS be deployed, etc.)</i>
Management of hull strength	<i>(approach to management of structure, etc.)</i>
Buoyancy and stability	<i>(approach to management of stability, e.g. stability information book approval, loading instrument, damage control philosophy)</i>
Machinery and Electrical systems	Operating Philosophy:
	Equipment: Propulsion system: Manoeuvring system: Buoyancy and stability systems: Other machinery systems: Electrical storage systems Electrical generation system: HV power supply & distribution: LV power supply & distribution: Control systems: Communications systems Navigation systems Auxiliary Systems <i>(description of major equipment and systems)</i>

Fire safety	<ul style="list-style-type: none"> Fuel Payload <ul style="list-style-type: none"> Fuel in tanks Fuel cells Batteries Cargo Payload <ul style="list-style-type: none"> Fluids in tanks Mission equipment Operating Activities <ul style="list-style-type: none"> Anchoring Mooring Towing Other Situational Awareness <ul style="list-style-type: none"> Fire detection equipment Management <ul style="list-style-type: none"> Training Survey and Maintenance Containment Prosecution <ul style="list-style-type: none"> Fire-extinguishing equipment Recovery <ul style="list-style-type: none"> Damage extent (fire) Re-configuration and redundancy Post damage capability External Assistance <ul style="list-style-type: none"> Shore Connection Ship-to-UMS Connection
Navigation	<i>(operational requirements for navigation equipment and workstations, mission functionality, DP, ACP, Navigation and operational lighting)</i>
Carriage of dangerous goods	
Recoverability	<i>(means of recovering the UMS following system failure)</i>

Survey, Maintenance and Disposal philosophy

Survey philosophy	<i>(overview of survey and inspection philosophy)</i>
Survey schedule	<i>(survey cycle and scope of survey)</i>
Maintenance philosophy	<i>(overview of maintenance philosophy)</i>
Maintenance schedule	<i>(maintenance cycles and depth of planned maintenance)</i>
Disposal philosophy	<i>(overview of disposal philosophy)</i>

ANNEX B VERIFICATION METHODS

Verification Method Requirements (Draft)

LEVEL OF INTEGRITY	HIGH	MEDIUM	LOW
PROCESS			
DESIGN REVIEW	<ul style="list-style-type: none"> System plans are to be appraised by LR 	<ul style="list-style-type: none"> System plans are to be reviewed by LR 	<ul style="list-style-type: none"> Statements of Compliance are to be issued by the Designer
COMPONENTS (all major components and items of equipment)	<ul style="list-style-type: none"> Statement of Compliance* issued (or validated) by an independent inspection authority (LR) 	<ul style="list-style-type: none"> Statement of Compliance* issued (or validated) by an independent QC department or 3rd Party 	Manufacturers Statement of Compliance*
	*Certification formats and levels to be agreed in accordance with the requirements of the reference standards used and required Level of Integrity.		
HULL CONSTRUCTION	<ul style="list-style-type: none"> To be constructed under LR survey in accordance with plans approved by LR and agreed Inspection & Test Plan 	<ul style="list-style-type: none"> To be audited whilst under construction by LR Statement of Compliance to be issued by the Manufacturer 	<ul style="list-style-type: none"> Construction premises and processes are to be audited by LR Statement of Compliance to be issued by the Manufacturer
SYSTEM INSTALLATION	<ul style="list-style-type: none"> To be installed under survey in accordance with plans approved by LR and agreed Inspection & Test Plan 	<ul style="list-style-type: none"> Final inspection of installed components in accordance with plans reviewed by LR 	<ul style="list-style-type: none"> Final inspection of installed components.
TRIALS	<ul style="list-style-type: none"> To be tested in accordance with specified performance criteria 	<ul style="list-style-type: none"> To be tested under normal working conditions 	<ul style="list-style-type: none"> To be tested under normal working conditions
IN SERVICE	<ul style="list-style-type: none"> Subject to survey by LR in accordance with the agreed periodic survey requirements. 	<ul style="list-style-type: none"> Subject to survey by LR in accordance with the agreed periodic survey requirements. 	<ul style="list-style-type: none"> General examination by LR in accordance with the agreed periodic survey requirements.
MODIFICATIONS	<ul style="list-style-type: none"> Details of modifications are to be approved by LR Construction, installation and trials are to be carried out under survey 	<ul style="list-style-type: none"> Details of any modifications are to be reviewed by LR Construction, installation and trials are to be carried out under survey 	<ul style="list-style-type: none"> Details of any modifications are to be recorded to enable review by LR Modifications are to be reviewed to ensure they do not change the Lol of the system

© Lloyd's
Register
Group
Limited 2017
Published by
Lloyd's
Register
Group
Limited
*Registered
office (Reg.
no.
08126909)*
71 Fenchurch
Street,
London,
EC3M4BS
United
Kingdom

Lloyd's Register is a trading name of Lloyd's Register Group Limited and its subsidiaries. For further details please see

<http://www.lr.org/entities>

Lloyd's Register Group Limited, its affiliates and subsidiaries and their respective officers, employees or agents are, individually and collectively, referred to in this clause as 'Lloyd's Register'. Lloyd's Register assumes no responsibility and shall not be liable to any person for any loss, damage or expense caused by reliance on the information or advice in this document or howsoever provided, unless that person has signed a contract with the relevant Lloyd's Register entity for the provision of this information or advice and in that case any responsibility or liability is exclusively on the terms and conditions set out in that contract.

© Lloyd's Register, 2017

NºTFG

BUQUES AUTÓNOMOS.
EVOLUCIÓN TÉCNICA Y RETOS A
SUPERAR PARA ALCANZAR LA
NAVEGACIÓN AUTÓNOMA 40

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer en primer lugar a mi tutor en esta asignatura, Joaquín Troya por el interés mostrado y por haber apostado por una idea arriesgada. También agradecer al resto de profesores de la ETS de Náutica y Máquinas de Coruña por inculcar los valores de perseverancia y superación en los alumnos, así como agradecer también a todo el personal que trabaja en la escuela el buen trato recibido en estos años.

A mi familia y a mis padrinos, en especial a mis padres Pilar y Manuel, y a mi abuela Pili por haberse involucrado en esta carrera de fondo que parecía que no iba a acabar.

A Marcos y a su familia. Gracias por las cuatro palabras “tranquila, concéntrate, tú puedes”.

A Antía por ser siempre el otro lado del teléfono en los buenos y malos momentos durante tantos años y por ser la diferencia entre ver y conocer.

A mis amigas de Santiago, con las que he pasado todas las etapas de mi vida y con las que seguiré pasando muchas más. A los viernes por formar una familia en una tarde. A mis compañeros de piso a quienes deseo lo mejor en el futuro. Y de forma especial a Miguel, Alberto, Nai y Rafa, que tienen las mejores ocurrencias.

Gracias a todos.

