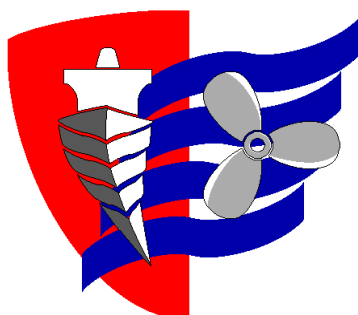


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO DE MEDIDAS A
IMPLEMENTAR PARA AUMENTAR LA
SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE
MARÍTIMO DE LA CARGA RODADA**

**Analysis of measures to improve safety in
Ro - Ro maritime transport**

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y TRANSPORTE
MARÍTIMO**

Autor: Álvaro Cabrera Cosano

Director: Emma Díaz Ruiz De Navamuel

Julio - 2025

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO DE MEDIDAS A
IMPLEMENTAR PARA AUMENTAR LA
SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE
MARÍTIMO DE LA CARGA RODADA**

**Analysis of measures to improve safety in
Ro - Ro maritime transport**

Para acceder al Título de Grado en
**INGENIERÍA NÁUTICA Y TRANSPORTE
MARÍTIMO**

Julio - 2025

Índice:

Índice:.....	3
Índice de ilustraciones:.....	5
Resumen.....	6
Palabras clave.....	7
Abstract	7
Keywords	8
Planteamiento del problema:.....	9
Metodología	11
Desarrollo.....	13
1.- La carga rodada y su transporte por vías marítimas.....	13
1.1.- Buques Ro - Ro	15
1.1.1.- Definición de buques Ro – Ro	15
1.1.2.- Clasificación de buques Ro – Ro	15
1.1.3.- Características y equipos de carga de los buques Ro – Ro.....	18
1.1.3.1.- Rampas Externas	19
1.1.3.2.- Rampas Internas	24
1.1.3.3.- Car decks y bodeguines.....	25
1.1.3.4.- Plataformas de carga	27
1.1.3.5.- Elementos de estiba y sujeción de la carga	28
2.- Accidentes significativos de buques Ro – Ro	32
2.1.- MS Estonia	32
2.2.- Herald of Free Enterprise.....	37
2.3.- Golden Ray	40
2.4.- Hoegh Osaka	44

2.5.- Felicity Ace.....	47
3.- Normativa aplicable a buques Ro – Ro	50
3.1.- Convenio SOLAS (Safety of Life at Sea).....	50
3.2.- Código ISM (International Safety Management Code)	51
3.3.- Código de estabilidad para buques Ro – Ro (Acuerdo de Estocolmo)	52
3.4.- Código FSS (Fire Safety Systems Code).....	52
3.5.- Convenio MARPOL: Anexo I y Anexo V.....	52
3.6.- Regulaciones de la Unión Europea (Directiva 2003/25/CE).....	53
4.- Análisis de factores causantes de accidentes en buques Ro – Ro	54
4.1.- Estabilidad y efecto de superficies libres.....	55
4.2.- Errores en la estiba y sobrecarga.....	56
4.3.- Fallos mecánicos o estructurales.....	56
4.4.- Falta de formación y errores humanos	56
4.5.- Falta de preparación frente a incendios eléctricos	57
5.- Medidas a implementar para una mayor seguridad en el transporte de la carga rodada	58
Conclusiones	63
Bibliografía	65
Anexo V: AVISO DE RESPONSABILIDAD.....	67

Índice de ilustraciones:

Ilustración 1: Buque PCTC. Fuente: Björn Wylezich / Alamy Stock Photo	16
Ilustración 2: Buque Con - Ro. Fuente: vadebarcos.net.....	17
Ilustración 3: Buque Ro - Pax. Fuente: ferryhopper.com	18
Ilustración 4: Rampa de popa. Fuente: J.L. Estrada.....	20
Ilustración 5: Rampa lateral de buque Ro - Ro. Fuente: dreamstime.com	21
Ilustración 6: Rampa de proa de ferry con compuertas de almeja. Fuente: Brittany Ferries.....	22
Ilustración 7: Ferry con yelmo. Fuente: wikiwand.com	24
Ilustración 8: Car deck. Fuente: seanetgroup.ch	26
Ilustración 9: Plataforma de carga. Fuente: Danny Cornelissen	27
Ilustración 10: Punto de anclaje. Fuente: lashingpro.com	28
Ilustración 11: Cadenas de trinca. Fuente: tr.made-in-china.com.....	29
Ilustración 12: Tensor de sable. Fuente: lashingequipment.com	30
Ilustración 13: Cinchas de amarre. Fuente: ams-accesorios.com	30
Ilustración 14: Calzos. Fuente: divetis.es.....	31
Ilustración 15: Caballete. Fuente: zavamarine.com	31
Ilustración 16: MS Estonia. Fuente: dw.com	33
Ilustración 17: Visera de proa recuperada del MS Estonia. Fuente: Informe Oficial	36
Ilustración 18: Herald of Free Enterprise. Fuente: puentedemandando.com.....	39
Ilustración 19: Golden Ray. Fuente: Manuel Casal Pita	43
Ilustración 20: Hoegh Osaka. Fuente: Getty Images	46
Ilustración 21: Felicity Ace. Fuente: Jalopnik	49
Ilustración 22: Tabla resumen de los accidentes.....	62

Resumen

El transporte marítimo de carga rodada representa un pilar fundamental del comercio internacional en la actualidad. No obstante, este tipo de navegación presenta una serie de riesgos operativos y estructurales particulares que lo convierten en uno de los segmentos más vulnerables en materia de seguridad marítima. El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo analizar una serie de accidentes ocurridos en buques tipo Ro-Ro en las últimas décadas, estudiar los factores que los provocaron y evaluar qué medidas pueden implementarse para evitar que vuelvan a repetirse.

Con este propósito, se ha llevado a cabo un estudio detallado de cinco siniestros representativos: *MS Estonia*, *Herald of Free Enterprise*, *Hoegh Osaka*, *Golden Ray* y *Felicity Ace*. Cada uno de estos casos pone de manifiesto una combinación de factores desencadenantes tales como errores humanos, fallos estructurales, sobrecarga, problemas de estabilidad, incendios no controlados y deficiencias en el mantenimiento. No se trata de casos seleccionados al azar, sino de accidentes que han tenido un importante impacto técnico y normativo, llegando en algunos casos a impulsar reformas dentro del marco legislativo de la Organización Marítima Internacional (OMI).

A partir del análisis de estos casos, se identifican las principales causas de siniestralidad en este tipo de buques, permitiendo establecer una base sólida para proponer medidas eficaces de mejora. Entre las recomendaciones planteadas se incluyen: una estiba adecuada de la carga, una gestión más rigurosa del sistema de lastre, una formación especializada y continua para las tripulaciones, y una mejora tanto en la normativa como en su cumplimiento a bordo.

El objetivo principal de este trabajo es ofrecer propuestas realistas y fundamentadas que contribuyan a reducir el número de accidentes, a salvaguardar la vida humana en el mar y a proteger el entorno marino, fomentando así un transporte marítimo de carga rodada más seguro, eficiente y sostenible.

Palabras clave

- Ro – Ro
- Seguridad
- Accidente
- Estabilidad

Abstract

Ro-Ro shipping represents one of the main keys of international trade today. However, this type of shipping presents a series of operational and structural risks that make it one of the most vulnerable segments in terms of maritime safety. The aim of this Final Degree Project is to analyse a series of accidents that have occurred on Ro-Ro vessels in recent decades, to study the factors that caused them and to evaluate what measures can be implemented to prevent their recurrence.

For this purpose, a detailed study of five representative casualties has been carried out: *MS Estonia*, *Herald of Free Enterprise*, *Hoegh Osaka*, *Golden Ray* and *Felicity Ace*. Each of these cases reveals a combination of triggering factors such as human error, structural failure, overloading, stability problems, uncontrolled fires, and maintenance deficiencies. These are not randomly selected cases, but accidents that have had a significant technical and regulatory impact, in some cases leading to reforms within the legislative framework of the International Maritime Organisation (IMO).

Based on the analysis of these cases, the main causes of accidents in this type of ship are identified, enabling a solid basis to be established for proposing effective measures for improvement. Among the recommendations put forward are proper stowage of cargo, more rigorous management of the ballast system, specialized and ongoing training for crews, and improved regulations and compliance on board.

The main objective of this work is to offer realistic and well-founded proposals that contribute to reducing the number of accidents, safeguarding human life at sea, and protecting the marine environment, thus promoting safer, more efficient, and sustainable ro-ro maritime transport.

Keywords

- Ro – Ro
- Safety
- Accident
- Stability

Planteamiento del problema:

Numerosos vehículos son los que toda persona de a pie puede ver por la calle en cualquier momento, ya sean motos, coches, autobuses, camiones, remolques, etc. Todos estos vehículos forman parte de nuestra vida cotidiana ya que son utilizados prácticamente a diario, ya sea para nuestro propio transporte, o también, para el transporte de mercancías. Es por esto por lo que desarrollan un rol esencial en el comercio global.

Gracias al transporte marítimo, estos vehículos y cualquier tipo de carga rodada, como plataformas con mercancías, pueden ser trasladados entre diferentes países, e incluso entre los distintos continentes, facilitando así el comercio internacional y el desarrollo de diferentes sectores, empresas o industrias.

Aunque la carga rodada puede ser transportada en diferentes tipos de barcos, como por ejemplo buques portacontenedores o buques de carga general, existe un tipo de barco diseñado específicamente para ser el medio de transporte general de carga rodada por vía marítima. Estos buques se denominan buques de transbordo rodado o buques Ro - Ro y presentan una serie de ventajas para el transporte de carga rodada sobre el resto de los buques que los convierte en el medio más utilizado para realizar este tipo de fletamentos.

A pesar de sus ventajas, que ya serán comentadas detalladamente a lo largo de este proyecto, el transporte de carga rodada presenta una serie de riesgos que pueden afectar notablemente a la seguridad, tanto de la carga, como de la tripulación, generando daños materiales, humanos y/o económicos.

Uno de los mayores riesgos que pueden experimentar este tipo de buques es la pérdida de estabilidad, que puede ser ocasionada por diferentes motivos como, por ejemplo, el desplazamiento de la carga ya sea por una mala sujeción o por condiciones meteorológicas adversas, o una distribución incorrecta de la misma.

Además, el efecto que puede llegar a tener la carga sobre las superficies libres en este tipo de buques juega un papel crucial, ya que las bodegas son espacios considerablemente amplios, llegando a medir prácticamente lo mismo que la eslora total de la nave.

Accidentes históricos como el caso del *Herald of Free Enterprise* o el de *MS Estonia* son claros ejemplos de los peligros relacionados que pueden ocasionar una inadecuada gestión de la carga en los buques de transbordo rodado.

A partir de estos desastrosos sucesos, queda en evidencia que la seguridad a bordo de los buques Ro - Ro debería ser estudiada y mejorada para prevenir la pérdida de estabilidad y también, para evitar este tipo de tragedias que pueden afectar a la tripulación, a los pasajeros y a la carga.

¿Qué impacto supuso en el transporte marítimo de carga rodada el hecho de que ocurrieran tragedias como las ya mencionadas? ¿Se realizó un cambio o una mejora de la normativa internacional con respecto a la seguridad de los buques de transbordo rodado? ¿Son suficientes las medidas de seguridad para los buques Ro - Ro hoy en día? ¿Necesitan implementarse actualmente medidas nuevas para incrementar esta seguridad?

Este proyecto tiene como propósito analizar toda clase de riesgo que pueda suponer un peligro para el transporte marítimo de carga rodada, para posteriormente realizar una investigación de las medidas de seguridad implementadas y también, proponer nuevas medidas que puedan resultar de gran ayuda, haciendo así que este tipo de transporte sea cada vez más seguro y eficiente, con el objetivo de intentar evitar desastres como los ya ocurridos a lo largo de la historia.

Metodología

Para realizar el estudio de medidas que han supuesto una mejora para la seguridad del transporte marítimo de la carga rodada y cumplir así con el objetivo de este proyecto, he debido realizar una búsqueda y una recolecta exhaustiva de información. Dicha información ha sido adquirida mediante diferentes tipos de fuentes, tanto teóricas como experimentales.

Gran parte de la información y conocimientos aplicados en este proyecto nace de todo lo aprendido a lo largo de estos cuatro cursos en diferentes asignaturas pertenecientes al Grado en Ingeniería Náutica y Transporte Marítimo como Teoría del Buque, Seguridad Marítima, Carga y Estiba, etc.

En estas asignaturas se nos ha nombrado y hemos conocido todos y cada uno de los diferentes tipos de Códigos y Convenios que, nosotros, como marinos, debemos conocer. Dependiendo del tipo de buque en el que navegamos, o de la carga que estemos transportando en cualquier momento, nos hará falta consultar uno u otro. Así que, me he ceñido a buscar los que involucran el transporte marítimo de carga rodada para leer y buscar información que me sea de ayuda para realizar este análisis. Algunos de estos manuales son: SOLAS, Código IMDG, Código ISM, Código de prácticas de seguridad para la estiba y sujeción de la carga, etc.

También me resultó muy útil buscar informes realizados por JAIC (*Joint Accident Investigation Comission*) de los accidentes marítimos ocurridos que supusieron un impacto en el transporte de la carga rodada por vía marítima.

Además, existen varios profesionales del sector, ya sean marinos, militares, investigadores o economistas, que se dedican a escribir artículos en Internet o en revistas de investigación con impacto, ya sean comentando los accidentes, datos de cómo afecta el transporte Ro - Ro al comercio global o simplemente curiosidades generales de este tipo de buque y carga, que siempre conviene leer e informarse ya que van a proporcionar conocimientos de un ámbito que desconocíamos o simplemente un punto de vista distinto al que teníamos, por lo que también, me ha sido de gran ayuda para desarrollar este proyecto.

Y, por último, pero no menos importante, otra de las fuentes utilizadas, tanto teórica como práctica, para la recolecta de información de este trabajo, ha sido mi aprendizaje durante doce meses de formación como Oficial Alumno de Puente en tres buques de transbordo rodado diferentes, en los tres casos tipo Ro - Pax.

Durante este año como Alumno he tenido acceso y he podido consultar los diferentes manuales de todos los equipos de cada barco y eso me ha sido de gran ayuda para poder entender mejor el mundo del transporte rodado. También, he tenido la suerte de coincidir con grandes profesionales, desde capitanes hasta marineros, pasando por oficiales y contramaestres, que nunca han dudado en transmitirme sus conocimientos y siempre me han explicado todo lo posible de manera clara y concisa, tanto en la forma teórica, como en la práctica, como, por ejemplo, dejándome a mí realizar varias cargas y descargas según el plan propuesto.

Desarrollo

1.- La carga rodada y su transporte por vías marítimas

Desde los inicios de la civilización, el ser humano utilizó sus piernas como medio de desplazamiento, y sus brazos, acompañados de sus manos, como medio principal de carga. Debido a las expansiones que estaban experimentando los poblados y ciudades de entonces, se requería de un invento o de una mejora que fuera capaz de ayudar a la sociedad a transportar cargas más pesadas y en distancias más largas. Es por esto por lo que el hombre fue evolucionando por sus necesidades de supervivencia y creando objetos, que supondrían un avance de gran importancia para la historia de la humanidad, tales como la rueda.

Se cree que la invención de la rueda se dio entre el tercer y cuarto milenio antes de Cristo, debido a que la rueda de madera más antigua descubierta hasta el día de hoy data del año 3200 a.C., que fue encontrada cerca de Liubliana, la capital eslovena.

A raíz de esta creación, fueron diversas civilizaciones las que la utilizaron para la evolución de su existencia y para cubrir sus necesidades de manera más eficiente, consiguiendo crear edificaciones majestuosas como, por ejemplo, teatros romanos, o simplemente crear carros para que fueran remolcados por uno o varios animales, y transportar así, víveres o diferentes materiales.

Gracias a la evolución de los humanos, a los descubrimientos realizados y a la ciencia, a medida que pasaban los siglos, se iban implementando mejoras, siendo una de las más destacadas la evolución del transporte. Dicha evolución inició con los carros primitivos creados con las primeras ruedas hasta los vehículos que conocemos hoy en día.

Además, la globalización, el crecimiento del comercio y la necesidad constante del ser humano por avanzar, han sido algunos de los factores que nos han impulsado a la búsqueda de medios de transporte más eficientes y capaces de trasladar grandes volúmenes de mercancías entre diferentes países, o incluso, entre diferentes continentes. Tras años de mejoras, tecnología, construcción, investigación, desarrollo

y estudios, el transporte marítimo es el medio más rentable para realizar traslados de grandes cantidades de carga y para realizar largas distancias, siendo este uno de los eslabones más importantes dentro del comercio internacional.

Los buques ofrecen una mayor autonomía en los desplazamientos, permitiendo cubrir largas distancias entre puntos geográficos separados por mares y océanos. Estas características resultan fundamentales en el mundo globalizado actual, donde el transporte marítimo se ha consolidado como un medio clave para el traslado masivo de mercancías y personas de forma eficiente, segura y económica. Además, permite reducir costes y tiempos logísticos, superando muchas de las limitaciones que presentan otros modos de transporte, como el terrestre o el aéreo.

Dentro de los buques pertenecientes a la marina mercante se pueden encontrar diferentes tipos de embarcaciones y no todas tienen las mismas características ni objetivos. Cada una de estas naves han sido diseñadas y construidas para el correcto transporte de ciertas mercancías, haciendo así que sea la forma más segura y rentable. Siendo, según el tipo de carga que puedan transportar, la forma de clasificar los buques mercantes.

Una de las cargas más destacadas en el transporte marítimo hoy en día, tanto en largas como cortas distancias, es la carga rodada. Se conoce como carga rodada a toda aquella mercancía compuesta por ruedas, es decir, que puede embarcar y desembarcar en los diferentes tipos de buques Ro - Ro mediante sus propios medios, sin necesidad de grúas, a través de las rampas y equipos de carga que estos barcos disponen

Siendo uno de los primeros vehículos en utilizar la rueda los carros remolcados por animales, como se ha comentado previamente, a medida que pasaba el tiempo, la tecnología mejoraba y las necesidades de los humanos aumentaban, se ha logrado mejorar tanto estos vehículos primitivos, hasta conseguir todos aquellos de los que disponemos hoy en día, como camiones, coches, motos, autobuses, remolques, etc.

Todos estos vehículos, y muchos más no mencionados, son considerados carga rodada, y para transportarlos en grandes cantidades o entre diferentes países o ciudades que se encuentren separadas por océanos o mares, el medio más eficiente, económico y

posiblemente con menor impacto ambiental, es el transporte marítimo a través de los buques Ro-Ro.

Otra característica muy importante del transporte de carga rodada es que al no necesitar grúas o equipos especiales para embarcar o desembarcar estos vehículos, como acceden con sus propios medios, hace que el tiempo de las operaciones en puerto disminuya y sea todo más fluido, versátil y llevadero.

Es por eso por lo que el transporte marítimo de carga rodada se ha convertido en un imprescindible para el comercio internacional, debido a su capacidad para movilizar grandes cantidades de vehículos, maquinaria y otra clase de mercancía rodada en cortos periodos de tiempo debido a la facilidad de acceso y salida del buque.

1.1.- Buques Ro - Ro

1.1.1.- Definición de buques Ro – Ro

Los buques encargados de transportar la carga rodada son los denominados buques transbordadores de carga rodada, o como se conoce más comúnmente, buques Ro - Ro. Ro - Ro es un acrónimo que procede de la expresión inglesa *Roll – on / Roll – off*, y se refiere que todos los vehículos o carga que embarque o desembarque del buque lo hace mediante sus propios medios sin necesidad de utilizar grúas o cualquier equipo de carga y descarga externo, solamente utilizando sus ruedas.

1.1.2.- Clasificación de buques Ro – Ro

Dentro de los propios buques transbordadores de carga rodada, en función de su utilidad, la carga que transportan y su diseño, pueden dividirse en diferentes clases.

- **Car Carriers:** También conocidos en español como buques cocheros, y son aquellos que han sido diseñados para transportar solo vehículos. Dentro de ellos, se pueden encontrar dos tipos diferentes, los *Pure Car Carriers (PCC)*, que son aquellos dedicados a transportar exclusivamente automóviles, como coches y motos, y no otro tipo de vehículos. También, dentro de los Car Carriers, encontramos los *Pure Car and Trucks Carriers (PCTC)*, que son aquellas embarcaciones con capacidad y destinadas a transportar, además de coches, diferentes tipos de vehículos pesados, como pueden ser los camiones, las plataformas, los autobuses, etc.



Ilustración 1: Buque PCTC. Fuente: Björn Wylezich / Alamy Stock Photo

- **Con - Ro:** Este tipo de buque Ro - Ro está capacitado y diseñado para transportar simultáneamente carga rodada y también carga en contenedores. Además de ser un buque Ro - Ro, algunos también pueden ser considerados como buques tipo Lo - Lo.

Lo - Lo es otra expresión proveniente del inglés que significa *Lift – On / Lift – Off*, y sirve para designar a aquellos buques que disponen de grúas a bordo y las utilizan para bajar y subir la mercancía realizando así las operaciones de carga y descarga.

Los buques Con - Ro disponen de rampas, como cualquier buque Ro-Ro, por las que carga rodada accede a las bodegas destinadas para este tipo de mercancías y, además, disponen de una bodega o zona habituada para la carga de contenedores. Como se ha mencionado anteriormente, algunos al

ser también un buque tipo Lo – Lo, los medios que utilizan para la carga y descarga de contenedores son las grúas de las que disponen a bordo. Existen buques Con - Ro que no son considerados buques Lo - Lo, ya que no disponen de grúas a bordo y los contenedores son cargados mediante grúas externas situadas en las terminales de cada puerto.



Ilustración 2: Buque Con - Ro. Fuente: vadebarcos.net

- **Ro - Pax:** Los buques Ro - Pax, aunque más conocidos como Ferries, son los destinados al transporte de carga rodada y también de pasajeros. Normalmente operan en rutas cortas o medias, siendo lo más común que operen entre islas, o entre ciudades, del mismo o de diferentes países, que estén situadas a una distancia cercana una de la otra.

Además de disponer de las bodegas para la carga rodada, disponen de zonas habilitadas para los pasajeros, como pueden ser, camarotes, butacas, restaurantes, bares, piscina, cine, etc.

Una de las ventajas que ofrecen este tipo de embarcaciones es que los pasajeros pueden embarcar con su vehículo personal para poder tener

transporte en la ciudad de destino, es decir, en las bodegas no solo se transportan camiones o plataformas con mercancías, vehículos nuevos o de importación, sino que también los vehículos personales y privados de los pasajeros.



Ilustración 3: Buque Ro - Pax. Fuente: ferryhopper.com

1.1.3.- Características y equipos de carga de los buques Ro – Ro

Los buques Ro - Ro, al estar específicamente diseñados para el transporte de carga rodada, requieren la incorporación de infraestructuras especializadas que permitan operaciones eficientes de carga, descarga, distribución y sujeción de los vehículos a bordo. Estas infraestructuras son esenciales para garantizar tanto la seguridad de la carga como la estabilidad del buque durante la navegación.

Una herramienta fundamental en este proceso es el plan de estiba o plan de carga, un documento elaborado una vez se conoce la naturaleza, cantidad y destino de la mercancía. Su finalidad es distribuir la carga de forma adecuada en las distintas cubiertas, minimizando el riesgo de escora y preservando la seguridad a bordo, tanto para la tripulación como para los pasajeros, si los hubiera.

Además de una correcta distribución, es crucial asegurar la carga mediante sistemas de trincaje eficaces que eviten su corrimiento durante la travesía. Dichos desplazamientos pueden ser provocados por condiciones meteorológicas adversas o

por maniobras bruscas, como giros cerrados a alta velocidad en situaciones de emergencia.

Una carga mal sujeta puede comprometer seriamente la estabilidad del buque, generando daños materiales, humanos o medioambientales, e incluso llevando al buque a zozobrar, como ha ocurrido en casos documentados.

En esta sección se describen los principales equipos utilizados para la carga y descarga de mercancía en buques Ro-Ro, así como los distintos medios de sujeción empleados, cuya correcta utilización permite garantizar operaciones seguras y eficientes, evitando cualquier tipo de incidencia a lo largo de la travesía.

1.1.3.1.- Rampas Externas

Uno de los elementos fundamentales de los equipos de carga de los buques Ro – Ro, por no decir el más fundamental o principal, son las rampas externas. Estas, consisten en unas rampas móviles y son los medios de acceso o de salida de la carga desde el muelle a bordo del buque o viceversa. Normalmente, a excepciones de los buques Ro – Pax, que suelen disponer de portalones donde se conectan las pasarelas situadas en las terminales de pasajeros, y facilitar así la entrada y salida de las personas directamente desde el puerto hasta la zona habilitada a bordo para el pasaje, las rampas externas constituyen el único medio de acceso y de salida para las personas (tripulación, inspectores, técnicos, etc.).

Dependiendo del diseño de cada buque, podemos diferenciar tres tipos de rampas externas móviles:

- **Rampas de popa:** en todos los buques Ro - Ro, en sus popas, se encuentran situadas las rampas móviles de embarque y desembarque de la carga. Según la construcción de cada buque, este acceso a bordo puede ser mediante una rampa, que esté más o menos centrada y de anchura algo menor a la manga de la embarcación que la posee, o también, existen embarcaciones que disponen de dos o más rampas móviles en su popa.

He de destacar que para poder realizar la operativa de carga y descarga de buques que dispongan de estas rampas deben atracar en muelles que dispongan de tacón y estén habilitados para posicionar este tipo de rampas.



Ilustración 4: Rampa de popa. Fuente: J.L. Estrada

- **Rampas laterales:** son aquellas rampas móviles externas que se encuentran ubicadas en los costados del buque, permitiendo el atraque en cualquier terminal, ya que se despliegan hacia el muelle lateralmente y hace que sea posible la operativa de carga y/o descarga en incluso aquellos muelles que no disponen de tacón.



Ilustración 5: Rampa lateral de buque Ro - Ro. Fuente: dreamstime.com

- **Rampas de proa:** en los buques tipo Ro - Pax, o los que se conocen como ferries, además de disponer de las rampas de popas, suele ser bastante común que dispongan también de una rampa móvil en la proa. Esto es debido a que el propósito de estos barcos es realizar escalas en puerto de no muy larga duración, prácticamente el tiempo que se tarde en realizar el desembarque y posterior embarque de la carga y de los pasajeros. Gracias a la disposición de estas rampas de proa, se consigue que esto sea viable y las operativas en puerto sean más dinámicas y eficaces. La ventaja principal de que un buque presente una rampa móvil en la proa es que evita que parte de la carga, como pueden ser camiones, autobuses, o incluso, vehículos con remolque, realicen maniobras complejas en el muelle para posteriormente acceder al buque marcha atrás, que

es una de las partes de las operativas de carga y descarga que hace que más se retarde la estancia en puerto.

Al acceder la carga a bordo por una de las rampas directamente de frente, es decir sin realizar ningún tipo de maniobra, en el puerto de destino para realizar la descarga se utilizaría la rampa contraria a la que se utilizó para realizar la carga, encontrándose toda la carga preparada para salir de frente, y siendo posible realizar así la descarga en corto periodo de tiempo, y aprovechando el tiempo ahorrado en realizar mantenimiento o cualquier tarea necesaria hasta que comience de nuevo la carga.



*Ilustración 6: Rampa de proa de ferry con compuertas de almeja.
Fuente: Brittany Ferries*

Dependiendo del tamaño y peso de estas rampas móviles, existen rampas que se tratan de una pieza única, pero también se pueden observar buques que disponen de rampas que se dividen en dos o más secciones, que, para el correcto cierre y trincado de la rampa, estas secciones han de plegarse unas sobre otras.

La mayoría de estos sistemas de rampas móviles funcionan mediante sistema hidráulicos compuesto por diferentes cilindros, que permiten, en función de la marea o de las condiciones del muelle, ajustar las rampas a las alturas que nos sean necesarias

para poder realizar la operativa sin que la carga sufra ningún daño y agilizando el proceso.

También se pueden encontrar rampas que funcionen por sistemas electromecánicos, y en vez de utilizar cilindros hidráulicos utilizan pequeños motores y cables para su apertura o cierre.

Es de vital importancia que, para no comprometer la seguridad del buque, sobre todo durante la navegación, que, al cerrar estas rampas, el casco del buque sea totalmente estanco, es decir, que el agua sea incapaz de penetrar en las bodegas de carga, ya que, en este tipo de buques, el efecto que puede producir la entrada de un fluido, como es el agua, en espacios amplios o en los que se denominan superficies libres, puede ser fatal.

Esta estanqueidad se consigue gracias a unas gomas que al cerrar las rampas quedan comprimidas realizando así el completo sellado de la rampa e impidiendo la entrada de agua a bordo del buque. Estas gomas se denominan juntas de estanqueidad. Sin embargo, existen buques donde las rampas no cumplen también como el elemento estructural que permite la total estanqueidad del casco, sino solo como elemento principal de carga. Esto no significa que el buque salga a navegar incumpliendo las normativas pertinentes sobre la estanqueidad a bordo, sino que estos buques disponen de otros elementos que se denominan tambuchos o compuertas, cuya función es únicamente la de asegurar la estanqueidad del buque durante la navegación. Estas compuertas, según su diseño y construcción, pueden abrirse vertical u horizontalmente. También suele equipar sistemas hidráulicos para su operación, aunque con cilindros y menores equipos que los de las rampas.

Suele ser común encontrar estos tambuchos en la proa, ya que la rampa de proa, debido a su tamaño, construcción, forma del casco y el espacio que tiene para plegarse no suele ser estanca.

Los Ro - Pax que disponen de rampa en la proa, debido a la forma de la propia proa y el perfil que tiene para que la navegación sea efectiva, la rampa no se encuentra a la intemperie, sino que está albergada por el yelmo o por unas compuertas, denominadas coloquialmente como “almeja”. Estos elementos deben asegurarse también la

estanqueidad del casco además de la propia rampa, o si la rampa no fuera estanca, del tambucho mencionado anteriormente

El yelmo o visera de proa es prácticamente una estructura abatible, que para poder desplegar la rampa debe abrirse, abatiéndose hacia arriba, y poder así realizar las operaciones en puerto.

Por otro lado, las compuertas tipo almeja consiste en la división de la proa en dos partes verticales que realizan una apertura lateral, simulando a una almeja, y dejando así espacio para poder desplegar la rampa y comenzar con la carga y/o descarga.



Ilustración 7: Ferry con yelmo. Fuente: wikiwand.com

1.1.3.2.- Rampas Internas

Además de las rampas externas, cuya función principal es permitir el acceso o salida de la carga entre el buque y el muelle, los buques Ro - Ro disponen de rampas internas que permiten comunicar las distintas cubiertas de carga y, con ello, aprovechar al máximo el espacio disponible a bordo.

En función de su diseño y operatividad, estas rampas pueden ser de dos tipos: rampas fijas, que permanecen en una posición constante durante toda la operación, y rampas móviles o rampas *tilting*, que son rampas inclinables capaces de abatirse o desplegarse

en función de las necesidades operativas. Estas últimas pueden orientarse hacia proa o hacia popa, según el diseño del buque y la lógica de circulación interna.

En buques tipo ferry o Ro - Pax, su uso es especialmente útil, ya que, cuando no se requiere la conexión entre cubiertas, las rampas pueden replegarse, liberando así espacio adicional para la carga o facilitando las maniobras de los vehículos. Estas rampas, al igual que las externas, funcionan mediante sistemas hidráulicos o electromecánicos, aunque suelen ser de menor tamaño y peso, lo que permite una operación más rápida y precisa.

1.1.3.3.- Car decks y bodeguines

En los buques Ro - Ro existe un tipo de cubierta diseñada específicamente para la estiba de vehículos de menor tamaño y reducida altura, como turismos o motocicletas, conocida como *car - deck*. Estas cubiertas, cuyo nombre deriva del inglés "cubierta de coches", pueden ser fijas o móviles, dependiendo del diseño del buque.

Su principal función es optimizar el espacio de carga cuando no se requiere la altura libre necesaria para vehículos de gran volumen, como camiones o remolques.

En los buques equipados con *car - decks* móviles, estas estructuras pueden elevarse o descenderse mediante sistemas de cables o mecanismos hidráulicos, permitiendo subdividir la altura de una cubierta principal en dos niveles útiles. Esto resulta especialmente ventajoso cuando, al elaborar el plan de estiba, se prevé un número elevado de vehículos ligeros y poca carga pesada, ya que permite maximizar el aprovechamiento volumétrico del espacio disponible sin comprometer la operativa ni la seguridad de la carga.



Ilustración 8: Car deck. Fuente: seanetgroup.ch

En algunos buques Ro - Ro existen compartimentos de altura limitada, situados por debajo de las cubiertas principales e incluso, en ocasiones, bajo la línea de flotación, conocidos como bodeguines. Estos espacios están destinados a la estiba de vehículos y unidades de carga de reducido volumen, como automóviles, motocicletas, furgonetas, plataformas o remolques bajos. La accesibilidad y utilidad de los bodeguines dependerá del diseño y construcción de cada buque, en particular de la altura libre disponible y de los accesos habilitados.

Una vez completada la carga en estos compartimentos, se procede al cierre mediante la denominada tapa del bodeguín, un elemento estructural que actúa como cubierta móvil, cuya función principal es garantizar la estanqueidad del compartimento inferior y restablecer la continuidad de la cubierta principal para continuar con las operaciones de carga en niveles superiores. Esta tapa suele operarse mediante sistemas hidráulicos y forma parte integral del sistema de cubiertas internas del buque.

1.1.3.4.- Plataformas de carga

Debido a las limitaciones estructurales y de diseño de ciertos buques Ro - Ro, en algunas zonas de carga no es posible instalar rampas, ya sean fijas o móviles. Para permitir el acceso de los vehículos a estas cubiertas situadas a distintos niveles, como bodegas inferiores o bodeguines, se emplean plataformas elevadoras, también conocidas como plataformas de carga. Estos dispositivos funcionan de forma similar a un ascensor industrial, desplazando verticalmente los vehículos entre cubiertas según lo requiera la operativa de carga o descarga.

Su principal ventaja frente a una rampa fija es que optimiza el aprovechamiento del espacio, al no ocupar una superficie inclinada constante que limite la capacidad de estiba. No obstante, su uso puede ralentizar la operativa, ya que solo permite el movimiento de un número reducido de vehículos por cada ciclo de elevación o descenso. Aun así, constituyen una solución eficaz y versátil para garantizar la accesibilidad a zonas de carga de difícil acceso sin comprometer la eficiencia del espacio disponible.

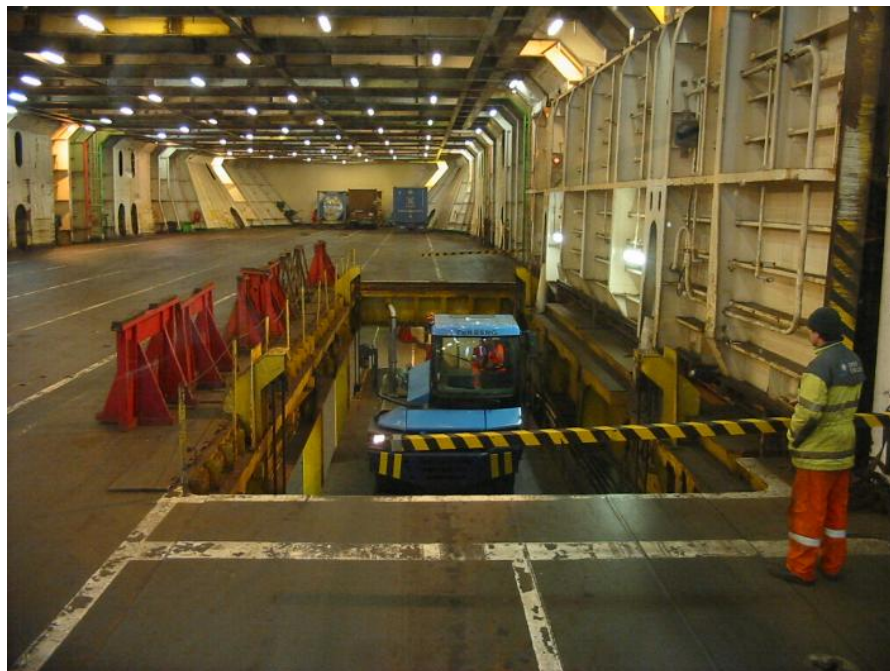


Ilustración 9: Plataforma de carga. Fuente: Danny Cornelissen

1.1.3.5.- Elementos de estiba y sujeción de la carga

En los buques Ro - Ro, es de vital importancia que la estabilidad del buque no se vea comprometida durante la navegación. Como se ha mencionado anteriormente, esto depende en gran parte de dos factores clave: un correcto plan de carga y el uso adecuado de los medios de sujeción de la carga. Estos sistemas están diseñados para evitar el desplazamiento de los vehículos embarcados debido al movimiento del buque provocado por el oleaje, el viento o las maniobras en puerto. A continuación, se detallan los elementos básicos y principales de sujeción:

- **Puntos de anclaje:** son elementos estructurales situados en la cubierta del buque, normalmente alineados en los laterales de las calles de carga. Actúan como base de amarre para fijar los sistemas de sujeción (cadenas, cinchas, etc.) al buque. Existen diferentes tipos: los más comunes están empotrados en la cubierta para facilitar el paso de vehículos, aunque también pueden sobresalir ligeramente. Su correcta distribución a lo largo de la cubierta permite una sujeción versátil y segura de todo tipo de cargas



*Ilustración 10: Punto de anclaje.
Fuente: lashingpro.com*

- **Cáncamos:** son otro tipo de anclaje fijo, generalmente en forma de anillo o argolla, que se encuentra en ciertas cubiertas, especialmente en aquellas destinadas a vehículos ligeros como automóviles o motocicletas.
Están pensados para trabajar con sistemas de trincaje más ligeros, como las cinchas textiles, y permiten una fijación rápida y efectiva en espacios reducidos.
- **Cadenas de trinca:** son el principal medio de sujeción de cargas pesadas a bordo, como camiones, semirremolques, plataformas o maquinaria. Están fabricadas en acero de alta resistencia y presentan, en cada uno de sus extremos, ganchos o un gancho combinado con un “pie de elefante” (un dispositivo de enganche específico para los puntos de anclaje del buque). Estas cadenas proporcionan una sujeción robusta, pero su manejo puede ser laborioso debido a su peso y rigidez.



Ilustración 11: Cadenas de trinca. Fuente: tr.made-in-china.com

- **Tensores:** son dispositivos mecánicos que trabajan juntamente con las cadenas para mantenerlas tensas en todo momento. Su función es evitar que las cadenas presenten holguras, lo que comprometería la estabilidad de la carga. Existen varios tipos, pero los más comunes a bordo son los tensores de tornillo, que permiten un ajuste fino mediante roscado, y los tensores de sable, que operan con una palanca de acción rápida. Su uso correcto es fundamental para asegurar la efectividad del trincaje.



Ilustración 12: Tensor de sable. Fuente: lashingequipment.com

- **Cinchas o correas textiles:** fabricadas generalmente en poliéster o nailon de alta resistencia, son utilizadas para el trincaje de vehículos ligeros. Estas correas incluyen un sistema de carraca o trinquete que permite ajustar la tensión fácilmente. Son mucho más ligeras y manejables que las cadenas, lo que las hace ideales para operaciones frecuentes en cubiertas de coches o motos.



Ilustración 13: Cinchas de amarre. Fuente: ams-accesorios.com

- **Calzos:** son elementos pasivos de sujeción que se colocan frente y detrás de las ruedas de los vehículos para evitar el movimiento longitudinal. Están fabricados habitualmente en goma antideslizante o en madera resistente, y son indispensables en vehículos sin freno de mano, averiados o posicionados sobre superficies con inclinación.



Ilustración 14: Calzos. Fuente: divetis.es

- **Caballetes:** son soportes metálicos que se colocan debajo de la parte delantera de remolques o plataformas cuando estos se estiban sin cabeza tractora. Su función es mantener estable el vehículo durante la navegación, distribuyendo su peso y evitando que se desplace o vuelque. Se trata de una medida de seguridad esencial en cubiertas destinadas a carga rodada sin tracción propia.



Ilustración 15: Caballete. Fuente: zavamarine.com

2.- Accidentes significativos de buques Ro – Ro

A lo largo de las últimas décadas, los buques Ro - Ro han sido protagonistas de diversos accidentes marítimos cuyas consecuencias, en algunos casos, han sido trágicas tanto en términos materiales como humanos. Estos siniestros han servido como promotores para la mejora de normativa y técnica en materia de seguridad marítima.

En este apartado se analizan cinco de los accidentes más representativos en la historia reciente de los buques Ro - Ro: el *MS Estonia*, el *Herald of Free Enterprise*, el *Golden Ray*, el *Hoegh Osaka* y el *Felicity Ace*.

Cada uno de estos casos permite identificar diferentes factores de riesgo, fallos operativos y lecciones aprendidas que han influido en la evolución de los estándares de seguridad y en la conciencia del sector respecto a la necesidad de una planificación y supervisión más rigurosa en la carga, estabilidad y operación de este tipo de buques.

2.1.- MS Estonia

En la tarde del 27 de septiembre de 1994, el ferry *MS Estonia* zarpó, como de costumbre, desde el puerto de Tallin con destino a Estocolmo. No obstante, aquel trayecto habitual se transformó en una tragedia, ya que, el buque nunca alcanzó su destino.

Durante la travesía por el Mar Báltico, el *MS Estonia* naufragó, convirtiéndose en uno de los desastres marítimos más graves ocurridos en aguas europeas. Este suceso no solo conmocionó a la comunidad marítima internacional, sino que también dejó al descubierto importantes deficiencias en materia de seguridad a bordo de los buques Ro - Ro y marcó un antes y un después en la normativa del transporte marítimo de pasajeros y vehículos.

El *MS Estonia* era un buque tipo Ro - Pax cuya construcción se llevó a cabo en 1980 en los astilleros alemanes Meyer Werft, en Papenburg. Inicialmente navegó bajo el nombre de *Viking Sally*, aunque a lo largo de su trayectoria útil cambió de nombre en diferentes ocasiones y también, fue propiedad de distintos armadores, hasta adoptar el nombre de *MS Estonia* en el año 1993 y formar parte de la flota de la compañía estonia llamada *EstLine*.

Con una eslora total de 155,40 metros y una manga de unos 24,20 metros, el buque tenía un calado máximo de 5,6 metros. Su arqueo bruto era de 15598 GT, y tenía capacidad para transportar hasta un máximo de 2000 pasajeros, además de un número considerable de vehículos repartidos en sus cubiertas habilitadas para ellos.

El buque estaba propulsado por cuatro motores diésel que accionaban dos hélices, alcanzando una velocidad de servicio de aproximadamente 21 nudos. En cuanto a su distribución, contaba con un total de ocho cubiertas, de las cuales dos estaban destinadas al embarque de vehículos, ya fueran turismos, camiones o remolques.



Ilustración 16: MS Estonia. Fuente: dw.com

El acceso a las cubiertas para vehículos se realizaba mediante rampas móviles situadas en proa y en popa. En la proa, el buque contaba con un yelmo, tras el cual se encontraba la rampa abatible, y cuya finalidad de diseño fue la de facilitar operaciones portuarias y hacer posible que fuesen más dinámicas, siempre y cuando las instalaciones de las terminales de los puertos lo permitieran.

No obstante, al encontrar otra vía de acceso o salida del buque, se duplicaba el riesgo, ya que cualquier fallo de estanqueidad del conjunto podía comprometer seriamente la seguridad del buque, especialmente en condiciones meteorológicas adversas, como posteriormente quedó demostrado.

Desde años atrás hasta hoy en día, una de las rutas más transitadas y solicitadas en el Mar Báltico, tanto por ciudadanos locales como turistas, es aquella que une las ciudades de Tallin y Estocolmo. Precisamente, en el año 1994, uno de los ferries encargados de hacer que la unión de esas dos capitales fuera posible fue el *MS Estonia*, siendo así la travesía regular que realizaba a diario. Tenía un horario fijo para realizar sus escalas en puerto que consistía en salir de Tallin un día a las 1900 horas de la tarde (hora local), y llegar a Estocolmo a las 0900 horas de la mañana siguiente (hora local), ayudando así a conciliar el sueño de los pasajeros debido al horario nocturno. Durante la tarde del mismo día de llegada a Estocolmo se realizaría la maniobra de salida de puerto para regresar a Tallin a la mañana siguiente.

Como se ha mencionado, el buque partió de Tallin el día 27 de septiembre de 1994, aunque con unos quince minutos de retraso respecto a la hora programada. Según el manifiesto de carga, y, por consiguiente, la documentación ofrecida por aduanas, a bordo viajaban un total de 803 pasajeros, una tripulación consistente en 186 miembros, y una mercancía, cuyo peso estimado rondaba las mil toneladas, formada por 38 tráileres, 25 camiones rígidos, 11 furgonetas y 26 coches, los cuales pertenecían a parte de los pasajeros.

La previsión, según el parte meteorológico, para esa zona y madrugada era de vientos fuertes, de fuerza 7/8 en la escala *Beaufort*, y se esperaban olas de aproximadamente cuatro metros. Desde la salida de puerto, la navegación transcurría con normalidad, sin deficiencias aparentes, con visibilidad de aproximadamente diez millas. Dicha normalidad empezó a desaparecer cuando sobre las 00:45 horas algunos sonidos metálicos no habituales fueron escuchados por varios testigos. Nadie sabía que ocurría hasta que el oficial de máquinas de guardia observó, alrededor de las 01:15 horas, en el monitor de las cámaras de seguridad que estaba entrando agua por la visera de proa.

El diseño del sistema de trincaje del yelmo (o visera de proa), consistía en varias trincas, las cuales tenían como misión hacer firme el yelmo al casco del buque, y garantizar la estanqueidad de la nave en cualquier circunstancia. Estas trincas estaban situadas en los laterales, tanto en babor como en estribor, y la trinka principal, se localizaba en el eje de crujía, un poco por encima de la roda. Esta trinka principal, se conoce normalmente en inglés como *Atlantic Lock*.

Estas trincas no fueron capaces de soportar los golpes de mar debido a las olas, que, combinados con el estado de los mecanismos, la velocidad y el rumbo, tuvieron una fuerza mayor. Esta sobrecarga fue la causante de que en las orejetas donde se acoplaban las trincas laterales se generasen deformaciones y posteriores roturas, facilitando así al libre movimiento del yelmo. El constante movimiento del yelmo, moviéndose libremente, chocándose con el casco, fue el autor del ruido metálico que despertó la curiosidad de varios.

El yelmo, con un peso de aproximadamente 55 toneladas, golpeaba cada vez más fuerte el casco del buque hasta que finalmente se desprendió, con la mala suerte que al caer dañó la rampa y causó una apertura de esta, dejando vía libre a la entrada de agua a las cubiertas de carga donde se encontraban los vehículos.



Ilustración 17: Visera de proa recuperada del MS Estonia. Fuente: Informe Oficial

Debido al efecto de superficies libres, que se vio afectado por cada vez más toneladas de agua, el buque empezó a escorarse a estribor, hasta que, a las 0135 horas, se el puente ya estaba sumergido, encontrándose el buque escorado unos 90 grados prácticamente.

El *MS Estonia* se hundió por completo el 28 de septiembre de 1994 a las 0148 horas, cobrándose la vida de 852 personas, dejando solo 137 supervivientes.

El buque cumplía con la normativa vigente de su época, aunque cuando se recuperó el yelmo del fondo marino, se hizo un análisis y se demostró que la resistencia real que tenían los mecanismos de cierre, eran insuficientes para las condiciones de esa noche.

Según el informe redactado por la Comisión Conjunta de Investigación de Accidentes (*Joint Accident Investigation Comission, JAIC*) de Estonia, Finlandia y Suecia sugiere que las especificaciones del fabricante no eran muy detalladas. Esto demuestra que los requisitos de diseño de antes eran menos exigentes que los de hoy, y se ha avanzado y mejorado estas condiciones gracias al cambio de normativa elaborado ocasionado por accidentes, como el del *MS Estonia*.

2.2.- Herald of Free Enterprise

El *Herald of Free Enterprise* era un buque tipo Ro – Pax cuya zona de operación era normalmente el Canal de la Mancha o el Mar del Norte. El 6 de marzo de 1987, este ferry sufrió un naufragio catastrófico frente al puerto belga de Zeebrugge, a tan solo unos minutos de haber zarpado rumbo a Dover, en la costa inglesa. El accidente resultó en la muerte de más de 188 personas, convirtiéndose en uno de los mayores desastres marítimos en aguas británicas.

Este suceso marcó un punto de inflexión en la industria marítima europea, revelando graves fallos tanto humanos como estructurales y organizativos, y derivando en cambios sustanciales en la legislación sobre seguridad marítima.

Construido en 1980 en los astilleros *Schichau Unterweser AG*, en Alemania, el *Herald of Free Enterprise* era propiedad de la compañía *Townsend Thoresen*. Tenía una eslora de 131,9 metros, una manga de 22,7 metros y su arqueo bruto alcanzaba las 7951,44 GT.

La embarcación podía transportar más de 1.300 pasajeros, además de una gran variedad de vehículos, desde turismos hasta camiones pesados. Estaba equipado con rampas de carga tanto en proa como en popa, lo que permitía realizar operaciones de carga y descarga con rapidez, un factor clave en rutas comerciales tan transitadas y de corta distancia.

La tragedia se desencadenó a causa de un error humano que afectó a un punto crítico para la estanqueidad del buque: la compuerta de proa. En los buques Ro - Ro, como ya se ha comentado en diferentes ocasiones, la correcta estanqueidad de las rampas es esencial para evitar que el agua entre en las cubiertas de carga. En el caso del *Herald of Free Enterprise*, la compuerta de proa no fue cerrada al zarpar de Zeebrugge, lo que permitió que el agua de mar accediera libremente a la cubierta inferior del buque a través de la compuerta abierta.

Este error fue responsabilidad directa del contraamaestre, quien debía cerrar las compuertas, pero que en el momento de la salida se encontraba descansando en su camarote. El puente de mando no disponía de visibilidad directa ni de un sistema de monitoreo que indicara si las compuertas estaban cerradas, por lo que el capitán desconocía que el buque estaba navegando con la proa completamente abierta.

Poco después de zarpar, el ferry tomó velocidad y se enfrentó a una pequeña ola de aproximadamente 1,5 metros. En condiciones normales, esto no hubiera supuesto ningún peligro. Sin embargo, al no estar cerrada la compuerta de proa, el agua comenzó a entrar rápidamente en la cubierta de vehículos, provocando un efecto devastador. También, se debe considerar que el tanque de proa de agua de lastre aún seguía descargándose, ya que previamente lo habían llenado para poder cargar la cubierta superior *E* con facilidad. Por este motivo, la proa estaba más hundida de lo que debería, a lo que, si se añade el movimiento de las olas, y la velocidad que alcanzó al salir de puerto, facilita aún más la entrada de agua.

El fenómeno conocido como efecto de superficies libres, como ocurrió en el *MS Estonia*, hizo que el agua que se acumulaba en la cubierta provocase una pérdida repentina de estabilidad. A los cuatro minutos de la salida, el buque ya escoraba bruscamente a babor. La situación fue tan rápida que la mayoría de los pasajeros y tripulantes no tuvieron tiempo de reaccionar. En menos de 90 segundos, el *Herald of Free Enterprise* se volcó completamente y quedó parcialmente sumergido en aguas poco profundas, con gran parte del casco por encima del nivel del mar.

El naufragio ocurrió en una zona cercana al puerto, lo que facilitó los trabajos de rescate y evitó que el número de víctimas fuese aún mayor. Sin embargo, muchos pasajeros quedaron atrapados en el interior del buque, especialmente en los salones inferiores, donde la inclinación repentina les impidió escapar.

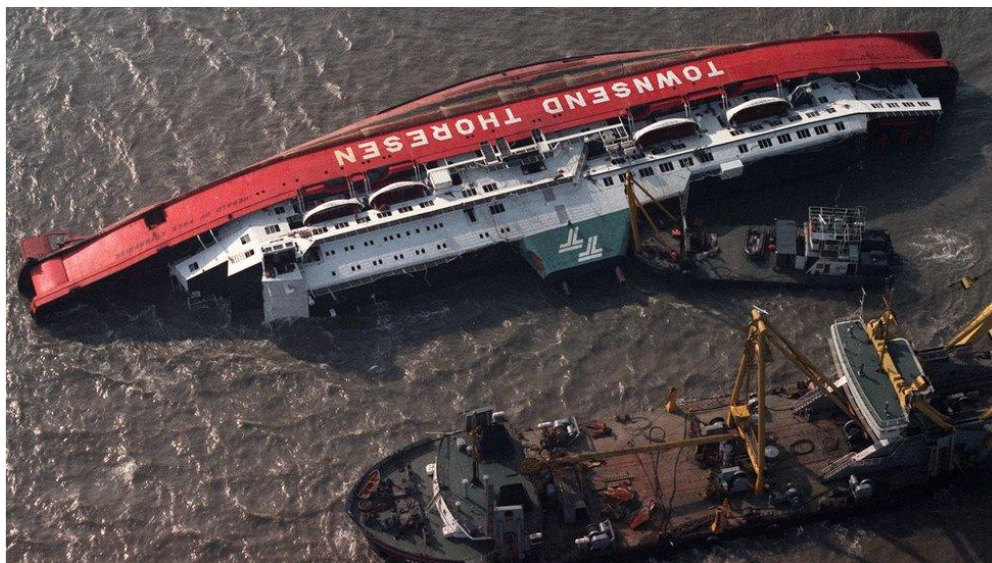


Ilustración 18: Herald of Free Enterprise. Fuente: puentedemando.com

Las investigaciones posteriores determinaron que, de las 539 personas a bordo, 188 o más fallecieron por ahogamiento o hipotermia. Más de 300 fueron rescatadas con vida gracias a la rápida intervención de los servicios belgas de emergencia, la guardia costera británica y pescadores locales.

El informe oficial concluyó que la causa directa del naufragio fue la navegación del buque con la compuerta de proa abierta. Sin embargo, el análisis también puso de relieve una cadena de responsabilidades y una cultura organizativa deficiente. La compañía operadora, *Townsend Thoresen*, fue duramente criticada por sus prácticas laxas en materia de seguridad, la presión constante para reducir tiempos de escala y la ausencia de sistemas de control o alarmas que advirtieran al puente si las compuertas estaban abiertas.

Como en todos los buques existe una cadena de mandos, en la que se encuentran los superiores u oficiales, y los subalternos, y las responsabilidades, aunque en este caso, fue un subalterno el que no cerró las compuertas por encontrarse dormido en su camarote, caen sobre sus superiores. Al primer oficial se le canceló la licencia por dos años, por no haber comprobado que las compuertas estuvieran cerradas, seguramente por las prisas y la presión comentada anteriormente, y al capitán, se le castigó un año sin licencia por no tener un protocolo que confirmase que las compuertas estaban cerradas y el buque estaba listo para zarpar.

El accidente del *Herald of Free Enterprise* tuvo consecuencias profundas. Supuso un cambio en la percepción de la seguridad en los buques Ro - Ro, conocidos por su vulnerabilidad estructural en caso de inundación de sus cubiertas inferiores. A raíz del suceso, se introdujeron modificaciones técnicas en los buques, como la instalación de sensores de cierre en las compuertas, refuerzos estructurales, mejora de sistemas de drenaje, y se promovieron entrenamientos más rigurosos para las tripulaciones.

Además, se implementaron nuevas normativas internacionales bajo el amparo de la Organización Marítima Internacional (OMI), como parte del Convenio SOLAS, para mejorar la seguridad de los buques de pasaje.

2.3.- Golden Ray

El *Golden Ray* fue un buque tipo PCTC construido en el año 2017 en Corea del Sur, exactamente en los astilleros de *HD Hyundai Mipo*. Se trataba de un buque de grandes dimensiones y por lo tanto grandes garajes para poder transportar altos números de vehículos. Su eslora era de 191,57 metros y su manga de 35,4 metros, lo que permitía, gracias a que el espacio destinado a la carga estaba dividido en varias cubiertas, transportar hasta un máximo de 7742 vehículos. Contaba con un arqueo bruto de 71178 GT y con una tripulación formada por 23 personas, aunque en el momento del accidente se encontraban a bordo 24 personas, debido a que el práctico aún seguía en el buque.

Fue el 8 de septiembre de 2019, a primeras horas de la mañana, cuando el *Golden Ray* llegó a su fin después de sufrir un grave accidente tras zarpar del puerto de *Brunswick*, en el estado de Georgia, EE. UU., con destino al puerto de Baltimore. Aproximadamente a las 01:40 horas, mientras transitaba por el canal de salida de St. Simons Sound, el buque comenzó a escorarse bruscamente hacia babor hasta acabar completamente volcado, quedando recostado sobre su costado en aguas poco profundas. Al encontrarse el práctico a bordo, porque se estaba realizando la maniobra de salida del puerto, el número de personas a bordo incrementó a 24 durante los hechos,

como ya se ha comentado anteriormente, aunque de esas 24, veinte pudieron ser evacuadas en las primeras horas, mientras que otras cuatro quedaron atrapadas en el interior del casco durante casi 40 horas, siendo finalmente rescatadas con éxito en una compleja operación.

Este accidente no fue causado por condiciones meteorológicas adversas ni por colisiones con otros buques o elementos externos. Según el informe oficial redactado por los Guardacostas de los Estados Unidos de América, la causa principal fue una deficiencia en la planificación y verificación de la estabilidad del buque antes de la salida.

Antes de la salida, el Primer Oficial empezó a deslastrar y a transferir cierta cantidad de agua de lastre de un tanque a otro con el fin de corregir la escora y los calados, lo que no tuvo en cuenta para corregir la altura metacéntrica, ocurriendo así un error principal en los cálculos de estabilidad proporcionando un GM de 2,45 metros, cuando posteriormente se estimó un GM real de 1,73 metros. Esto dejó al buque con una estabilidad transversal insuficiente para soportar las fuerzas generadas por una maniobra de giro a velocidad elevada en el canal.

Además, la distribución de los vehículos en las cubiertas superiores elevó significativamente el centro de gravedad, aumentando el momento de escora en el giro. La falta de una verificación completa del cálculo de estabilidad tras los cambios en el lastre hizo que no se detectara este peligro potencial. Como resultado, en una curva relativamente cerrada del canal, el buque se inclinó de forma repentina y no logró recuperar el equilibrio, terminando completamente volcado.

Sin embargo, el fallo en los cálculos de estabilidad no fue el único causante de esta tragedia. El capitán, a pesar de sus aproximadamente 39 años de experiencia navegando, no tenía mucha experiencia al mando de buques de carga rodada, ya que había realizado la transición de buques graneleros a ro-ro recientemente.

Debido a esta falta de experiencia, se cometieron errores como no darse cuenta del fallo del Primer Oficial en los cálculos de estabilidad, o de la estabilidad inestable que presentaba el buque en los giros, la cual si percibió el Práctico.

Además, otro factor, que se añadió al error de cálculo, que fue la principal causa que hizo que el buque consiguiera una escora de casi 60 grados en un minuto y se inundara prácticamente en muy poco tiempo, fue la antelación con la que el capitán mando a la tripulación abrir la puerta de embarque y desembarque de práctico para preparar la escala. Dicho portalón se encontraba en la banda de babor, en la cubierta cinco. Misma cubierta y banda donde se encontraban los dos accesos o salidas de la sala de máquinas y de la sala de control de máquinas.

Al empezar el buque a escorarse a babor, y encontrarse la puerta de práctico abierta, facilitó la entrada de agua en las cubiertas de carga, facilitando la escora y dándole más velocidad hasta que inundó parte del buque.

Dichos accesos a la sala de máquinas se encontraban abiertos por lo que el agua llegó hasta ese punto, dejando atrapados ahí a cuatro tripulantes. Estos tripulantes son los que han sido mencionados anteriormente que tardaron unas 40 horas en rescatarlos debido a la compleja maniobra.

El *Golden Ray* permaneció en esa posición durante meses, debido a la complejidad de las operaciones necesarias para su retirada. Al tratarse de un buque de grandes dimensiones y con carga en su interior, se optó por realizar su desmantelamiento in situ, cortándolo en secciones con herramientas especializadas. Esta operación fue una de las más costosas y técnicas de la historia reciente en EE. UU., y generó gran atención mediática por los riesgos medioambientales asociados y la logística que implicaba trabajar con un buque tan grande en una posición inestable.

El accidente del *Golden Ray* tuvo repercusiones importantes en la industria del transporte marítimo, especialmente en el ámbito de la gestión del lastre y la verificación de estabilidad en buques Ro-Ro. Puso en evidencia que incluso los buques más modernos y avanzados tecnológicamente pueden verse comprometidos si no se

siguen procedimientos rigurosos de seguridad operativa. También destacó la necesidad de mejorar los protocolos de control y los sistemas de verificación cruzada en la preparación para la navegación, particularmente en buques con centros de gravedad elevados como los Ro-Ro, que son especialmente vulnerables a escoras repentinas.

En definitiva, el caso del *Golden Ray* constituye un ejemplo claro de cómo errores humanos, en combinación con prácticas de control inadecuadas, pueden desencadenar situaciones críticas en muy poco tiempo. Afortunadamente, el incidente no dejó víctimas mortales, pero sí sirvió como lección para el sector en cuanto a la importancia de respetar estrictamente los principios básicos de la estabilidad naval y la planificación de carga.



Ilustración 19: *Golden Ray*. Fuente: Manuel Casal Pita

2.4.- Hoegh Osaka

El Hoegh Osaka fue un PCTC perteneciente al armador Hoegh Autoliners Shipping Pte y que navegaba bajo la bandera de Singapur. Fue construido en el año 2000, y sus dimensiones consistían en 179,9 metros de eslora y una manga de alrededor de 32 metros. Su arqueo bruto era de 51770 GT y su calado máximo de 10,5 metros. Diseñado para ser gobernado con seguridad por un mínimo de 12 personas, aunque en el momento de la tragedia la lista de la tripulación estaba formada por 24 personas.

Empezando la noche, alrededor de las nueve, el día tres de enero del 2015, el Hoegh Osaka se encontraba iniciando la salida del puerto de Southampton, en el Reino Unido. Una vez fuera del puerto, y navegando por el canal para abandonar la ciudad y dirigirse al puerto de destino, el buque navega a 10 nudos y realiza un cambio de rumbo sin ninguna incidencia. Posteriormente, aumenta la velocidad a 12 nudos, realiza otro giro, aunque desgraciadamente ahora empieza a ser notable una escora inusual cada vez mayor a la banda de estribor. Al escorarse, la hélice y la pala del timón quedaron libres del agua, ocurriendo también un *blackout* dificultando la situación aún más.

El práctico, que aún se encontraba a bordo, con buen criterio, intentó embarrancar el buque en el Banco de *Bramble* y observó en el inclinómetro que la escora del buque a las 2115 horas era de 40 grados y no aumentaba, suponiendo que estaría parcialmente varado.

El primer remolcador llegó sobre las 2154 horas y ayudó inmediatamente a meter la popa del Hoegh Osaka en el banco para evitar que la situación fuera a peor, si es que eso era posible.

Según el informe redactado por parte de la MAIB (Marine Accident Investigation Branch), conocido en español como la Rama de Investigación de Accidentes Marinos de Reino Unido, el buque partió de puerto con una altura metacéntrica que no cumplía los requisitos exigidos por la Organización Marítima Internacional (OMI), ya que este era demasiado bajo.

Fueron varias las condiciones que se dieron para que el buque al zarpar tuviera esa incorrecta estabilidad. Para empezar, el capitán días antes recibió un correo electrónico notificándole de un cambio de planes de última hora. El puerto de Southampton iba a ser el último, pero ahora pasó a ser la siguiente escala. Debido a esto el plan de carga original no fue válido. Esta noticia ocasionó que la carga estuviera estibada de forma errónea, ya que el primer oficial había llenado las cubiertas superiores al máximo debido a que, siguiendo el plan de carga original, las cubiertas inferiores iban a ser llenadas en los siguientes puertos. Al haber cambio de planes, las cubiertas inferiores quedaron parcialmente vacías, y las cubiertas superiores llenas de vehículos, influyendo de forma negativa a la estabilidad del barco.

Por otro lado, los pesos de cada vehículo que se notificaron para realizar el plan de carga eran incorrectos. Se dieron pesos genéricos para diferentes vehículos, sin importar su tamaño. Se estimó que el buque llevaba 265 toneladas más de carga que la obtenida inicialmente en los documentos.

Otro aspecto, y de los más destacables, desencadenante de este accidente fue en relación con el sistema de aguas de lastre. Los indicadores de los tanques de agua de lastre hacía meses que estaban averiados, haciendo imposible saber con exactitud la cantidad de agua en los tanques, ya que el registro diario de sondeo se demostró que fue falsificado.

El Primer Oficial operaba con el sistema de lastre “a ojo”, ya que controlaba el tiempo que estaba funcionando la bomba y calculando, según su criterio, cuanto se lastraba o deslastraba, siendo un método totalmente inexacto. Quedó demostrado que el agua de

lastre a bordo en la hora del accidente fue de 635 toneladas menos de lo previsto, aumentando así el efecto de superficies libres, debido al llenado parcial y no completo de los tanques de lastre, siendo este otro facto fatal para la estabilidad del buque.

Al exceso de confianza y la falta de mantenimiento se añadieron las prisas, ya que se zarpó y el nuevo plan de carga se estaba finalizando una vez navegando. Todo ello culminó en una pérdida crítica de estabilidad durante la navegación, causada por una cadena de errores humanos, técnicos y de gestión operacional. A pesar de la magnitud del accidente, no hubo víctimas mortales, y aunque el buque fue reflotado, se consideró pérdida constructiva total.

El caso del *Hoegh Osaka* puso de relieve importantes fallos en la planificación de carga, el control del lastre y el cumplimiento de normas internacionales, derivando en recomendaciones para reforzar los procedimientos de seguridad en este tipo de buques.



Ilustración 20: *Hoegh Osaka*. Fuente: Getty Images

2.5.- Felicity Ace

El *Felicity Ace* fue un buque tipo PCTC especializado en el transporte de vehículos de alta gama y maquinaria pesada, construido en el año 2005 por el astillero japonés *Shin Kurushima Dockyard Co. Ltd.* Navegaba bajo bandera panameña y estaba gestionado por la compañía *Mitsui O.S.K. Lines (MOL)*.

Con unas dimensiones que comprendían una eslora total de 199,9 metros, una manga de 32,26 metros y un calado máximo de 9,7 metros, el buque tenía un arqueo bruto de más de 60.000 GT y capacidad para albergar alrededor de 4.000 vehículos distribuidos en varias cubiertas interiores. Su diseño incorporaba rampas laterales y de popa, así como plataformas internas ajustables que facilitaban una estiba flexible y segura, y estaba propulsado por un motor diésel principal que le permitía alcanzar velocidades superiores a los 20 nudos.

En febrero de 2022, el *Felicity Ace* realizaba una travesía transatlántica desde el puerto de Emden, en Alemania, hacia Davisville, en la costa este de Estados Unidos, transportando una valiosa carga de automóviles de marcas como Porsche, Audi, Bentley y Lamborghini, muchos de ellos personalizados para clientes privados. La ruta atravesaba el Mar del Norte, bordeaba el Canal de la Mancha y cruzaba el Atlántico Norte en dirección suroeste, pasando cerca de las Azores, donde finalmente se produjo el incidente que transformó el viaje en una catástrofe marítima.

El día seis de febrero, mientras el tercer oficial y el capitán se encontraban en el puente, saltó una alarma del sistema de detección de humo que procedía de unas de las cubiertas de carga. Como se debe hacer en esta situación, se mandó al marinero de guarida a que comprobase que estaba ocurriendo en la zona donde procedía la alarma.

Una vez que el tripulante llega a la zona, reporta por VHF que hay mucho humo negro, haciendo imposible la visión, y muchas llamas, provenientes de la zona de babor. El marinero cogió un extintor e intentó actuar para combatir el fuego, pero su esfuerzo fue en vano y la tarea estaba empezando a resultar peligrosa. El siguiente paso fue mandar a los tripulantes que formaban la brigada contraincendios, según el cuadro orgánico, a actuar contra el incendio e intentar extinguirlo mediante mangueras y otros equipos. Esta alternativa tampoco fue de gran ayuda, puesto que el fuego cada vez iba a más y la visión se hacía imposible debido al denso humo negro.

La última alternativa antes del abandono del buque fue la del uso del sistema fijo contraincendios de espuma de alta expansión. El sistema comenzó a funcionar, pero llamó la atención de los ingenieros que el panel mostraba que los ventiladores, cuya misión era expandir la espuma para que tuviera más alcance, no se había encendido, y estos, debían accionarse automáticamente una vez iniciado el sistema.

Posteriormente, en el análisis, se llegó a la conclusión que los cables que utilizaban estos ventiladores pasaban muy cerca del área del incendio, y posiblemente, el calor y las llamas acabaron por destruirlos haciendo que no fueran capaces de activarse y cumplir su función.

A medida que iban pasando los minutos, la situación iba siendo cada vez más incontrolable, por lo que el capitán tomó la dura decisión, aunque la más acertada, de abandonar el buque. Gracias a la rápida actuación de la marina portuguesa, los 22 miembros que conformaban la tripulación fueron evacuados y no habiendo ninguna víctima entre ellos.

El buque ardió durante días sin parar, pero finalmente, el uno de marzo de 2022 el buque se escoró de forma repentina, y acabó hundiéndose, con toda la carga, en una zona donde las profundidades podían llegar a los 3000 metros, dejando así una pérdida millonaria.

La carga total del buque consistía exactamente en 3965 vehículos de los cuales 574 eran eléctricos. Se cree que el origen del incendio se dio en la batería de un coche eléctrico, exactamente en un *Porsche Taycan*. Aunque es imposible de averiguar por qué se dio esta situación, si fue un fallo del fabricante, una avería posterior, etc.

La fuga térmica es un proceso crítico que puede presentarse en este tipo de baterías, en el que el calor generado internamente desencadena una reacción en cadena. A medida que la batería se calienta, se producen reacciones químicas que liberan aún más calor, lo que intensifica el aumento de temperatura. Este ciclo puede avanzar rápidamente hasta provocar incendios o explosiones, como ha quedado demostrado.

Se concluyó que tanto el diseño de los buques como la preparación de las tripulaciones aún presentan importantes deficiencias frente al creciente transporte de vehículos eléctricos. El caso del *Felicity Ace* evidenció que ni las embarcaciones están completamente adaptadas para gestionar este tipo de carga, ni las tripulaciones están suficientemente formadas para afrontar emergencias asociadas a incidentes como incendios originados por baterías de alta energía.



Ilustración 21: Felicity Ace. Fuente: Jalopnik

3.- Normativa aplicable a buques Ro – Ro

Que ocurrieran accidentes como los del *MS Estonia*, *Herald of Free Enterprise*, *Golden Ray*, *Hoegh Osaka* o *Felicity Ace* desencadenó una profunda revisión del marco normativo internacional marítimo, así como una mayor conciencia de los riesgos específicos que presentan los buques tipo Ro - Ro.

Estos siniestros pusieron en evidencia que la normativa vigente en sus respectivos momentos no era suficiente para garantizar la seguridad en operaciones con carga rodada y pasajeros, especialmente en situaciones de emergencia, condiciones meteorológicas adversas o fallos humanos.

La normativa que aplica a los buques tipos Ro – Ro, como a prácticamente el resto de los buques, se regula a través de convenios y códigos internacionales, en concreto aquellos que son emitidos por la Organización Marítima Internacional, también conocida como OMI. También existen otro tipo de legislaciones que los buques deben seguir, como aquellas redactadas por organismos como la Unión Europea.

A continuación, se estudiará cómo ha evolucionado esta normativa, observando cómo afecta la misma a los buques Ro – Ro de hoy en día y que puntos deben cumplir. Se mencionará de forma clara y concisa cada parte de cada código y/o convenio.

3.1.- Convenio SOLAS (Safety of Life at Sea)

Es la normativa principal que rige la seguridad en los buques mercantes. Dentro del SOLAS destacan varios capítulos aplicables directamente a los Ro - Ro:

- **Capítulo II-1 (Estabilidad, estructura y estanqueidad):**

Después del accidente del *Herald of Free Enterprise* (1987), este capítulo fue modificado para exigir puertas estancas más resistentes, detectores de apertura y alarmas en puertas de proa y popa.

Tras el caso del *MS Estonia* (1994), se aumentaron los requisitos de estabilidad residual tras avería en ferris de pasaje, especialmente en rutas europeas. Se exigió que los buques pudieran resistir ciertas cantidades de agua en las cubiertas de carga sin volcar.

- **Capítulo II-2 (Protección contra incendios):**

Tras casos como el del *Felicity Ace* (2022), en el que se sospecha que el incendio fue originado por baterías de vehículos eléctricos, este capítulo ha sido revisado para mejorar los sistemas de detección temprana, extinción fija y formación de la tripulación para hacer frente a incendios en cubiertas de vehículos.

- **Capítulo III (Medios de salvamento) y Capítulo V (Seguridad de la navegación):**

También son aplicables, ya que regulan procedimientos de evacuación y equipos de navegación.

3.2.- Código ISM (International Safety Management Code)

Nació tras el desastre del *Herald of Free Enterprise*, ya que quedó demostrado que había una falta de procedimientos y se cometían diversos errores de factor humano bastante graves, y es de obligado cumplimiento desde el año 1998.

Este código obliga a las navieras a implementar sistemas de seguridad a bordo, y también en tierra, mediante procedimientos, auditorías, formación y control del mantenimiento.

3.3.- Código de estabilidad para buques Ro – Ro (Acuerdo de Estocolmo)

Adoptado por la OMI en 1995 tras el naufragio del *MS Estonia*, este código impone requisitos más exigentes sobre la estabilidad en condiciones de avería, particularmente en ferris de pasaje operando en el norte de Europa. Incluye cálculos que simulan el embarque de agua en la cubierta de carga (efecto de superficies libres), un factor clave en dicho naufragio.

3.4.- Código FSS (Fire Safety Systems Code)

Aplica al diseño e instalación de sistemas contra incendios. En casos como el *Felicity Ace*, donde el incendio se descontroló en una cubierta de vehículos, se evidencia la necesidad de sistemas más eficaces, como niebla de agua, ventilación controlada y sensores térmicos.

3.5.- Convenio MARPOL: Anexo I y Anexo V

Regula la prevención de la contaminación por hidrocarburos (Anexo I) y basura (Anexo V). En buques como el *Golden Ray*, que volcó con cientos de coches a bordo, la prevención del vertido de aceites y restos fue clave. MARPOL obliga a tener planes de contingencia y equipos de contención.

3.6.- Regulaciones de la Unión Europea (Directiva 2003/25/CE)

Tras el desastre del *MS Estonia*, la Unión Europea adoptó normas adicionales para buques Ro - Pax, imponiendo:

- Requisitos reforzados de estabilidad.
- Inspecciones periódicas por el Estado rector del puerto.
- Equipos de evacuación rápidos.
- Mayor control sobre el mantenimiento y certificación de la tripulación.

Aunque estos códigos y convenios son lo más afectados tras algunos de los accidentes, obligando así a una mejora de la normativa para el aumento de la seguridad como ya se ha explicado, existen otros de códigos que para los buques Ro – Ro no son indiferentes.

Uno de estos códigos es el Código para el transporte de mercancías peligrosas, o más conocido como Código IMDG. Este código recoge disposiciones detalladas para cada tipo de mercancía peligrosa, clasificándolas por clases según su naturaleza y riesgo, y estableciendo cómo deben ser correctamente transportadas, estibadas y señalizadas a bordo. Por ejemplo, existen sustancias que, por su peligrosidad, no pueden ser transportadas bajo cubierta y deben ir obligatoriamente en espacios al aire libre; en otros casos, si el buque transporta pasajeros, el número de estos debe reducirse para permitir la carga de ciertas mercancías. Estas normas específicas son de obligado cumplimiento y tienen como objetivo evitar siniestros a bordo, especialmente en buques Ro - Ro, cuya configuración y operativa presentan características particulares que aumentan la vulnerabilidad ante este tipo de riesgos.

La normativa que rige los buques Ro - Ro se ha ido construyendo a base de tragedias, y hoy combina un marco internacional sólido con regulaciones regionales más estrictas. Las exigencias sobre estabilidad, control de incendios, vigilancia de puertas estancas, planes de carga y formación de tripulaciones son hoy el resultado de aprender de accidentes pasados. Aun así, el transporte marítimo de carga rodada y vehículos sigue enfrentando retos nuevos (como el auge de los coches eléctricos) que requieren seguir adaptando las normativas para estar un paso por delante del riesgo.

4.- Análisis de factores causantes de accidentes en buques Ro – Ro

Los accidentes que se han comentado detalladamente a lo largo de este proyecto no han sido seleccionados al azar. He escogido estos cinco siniestros concretos por diversos motivos relevantes. En primer lugar, en prácticamente todos ellos se identifica el factor humano como una de las principales causas del accidente. Este patrón, repetido en distintos contextos, demuestra que el error humano sigue siendo uno de los elementos más determinantes en la seguridad marítima, por lo que merece una atención especial para su análisis y prevención. Además, cada uno de los casos seleccionados representa una tipología distinta de fallo o causa del siniestro, como incendios a bordo, falta de mantenimiento preventivo, exceso de confianza, errores en la planificación de la carga, escasa formación o decisiones precipitadas. Esta diversidad permite ofrecer una visión más completa y representativa de los riesgos reales a los que se enfrentan los buques Ro - Ro en la práctica.

Otro motivo de peso para la elección de estos accidentes es que varios de ellos marcaron un punto de inflexión en la historia de la seguridad marítima, siendo el detonante para la revisión y endurecimiento de la normativa vigente en su momento. Tal y como se ha desarrollado en el apartado anterior, siniestros como los del *Herald of Free Enterprise* o el *MS Estonia* impulsaron reformas normativas internacionales que hoy siguen en vigor y han contribuido significativamente a mejorar la seguridad a bordo.

Este análisis no se ha basado únicamente en la revisión documental y técnica de los accidentes, sino también en la experiencia profesional que he adquirido durante mi etapa como Alumno de Puente. A lo largo de doce meses de embarque en buques Ro - Pax, he podido observar de primera mano prácticas reales, rutinas operativas y posibles deficiencias que, en ocasiones, se alinean con los factores de riesgo descritos en los siniestros estudiados. Además, gracias a las conversaciones mantenidas con capitanes y oficiales de dilatada trayectoria, he recibido información muy valiosa sobre situaciones vividas, decisiones operativas y aprendizajes que refuerzan los puntos aquí tratados.

Los buques tipo Ro - Ro, y en particular los Ro - Pax que además de carga transportan pasajeros, han evidenciado a lo largo de las últimas décadas una vulnerabilidad estructural y operativa específica. La sucesión de accidentes graves, como los analizados, ha dejado en evidencia patrones comunes en sus causas.

A continuación, se procederá a analizar de forma detallada las principales causas identificadas, teniendo en cuenta tanto los casos presentados como la experiencia práctica acumulada, con el objetivo de aportar una visión integral que permita extraer conclusiones útiles para la mejora de la seguridad en este tipo de buques.

4.1.- Estabilidad y efecto de superficies libres

Una de las causas más repetidas en los accidentes de buques Ro - Ro es la pérdida de estabilidad transversal. Este tipo de buques presenta amplias cubiertas abiertas o semiabiertas donde se transportan los vehículos, lo que propicia el efecto de superficies libres cuando entra agua a bordo. Este fenómeno consiste en que el agua embarcada se desplaza libremente en las cubiertas, generando fuerzas que agravan rápidamente la escora del buque. Este fue el caso determinante en el accidente del *Estonia* y del *Hoegh Osaka*, donde la estabilidad inicial no era adecuada, y la entrada de agua o la distribución deficiente de la carga provocó una pérdida crítica del metacentro.

4.2.- Errores en la estiba y sobrecarga

La incorrecta distribución de la carga, combinada con el uso de valores estimados o erróneos para los pesos, ha sido otro factor clave. El *Golden Ray* y el *Hoegh Osaka* sufrieron accidentes directamente relacionados con una estiba deficiente y con la ausencia de una planificación precisa del peso y su distribución. La sobrecarga de cubiertas superiores sin compensación adecuada con lastre o carga en niveles inferiores puede generar momentos de escora que resultan imposibles de corregir en navegación.

4.3.- Fallos mecánicos o estructurales

El caso del *Estonia* es un ejemplo claro de fallo estructural en los mecanismos de cierre de la visera de proa, lo que causó la entrada de agua en las cubiertas de vehículos. Estos sistemas de acceso, si no están correctamente diseñados, mantenidos o monitorizados, se convierten en puntos críticos. Lo mismo ocurrió con el *Herald of Free Enterprise*, cuyo portalón de proa fue dejado abierto por error, permitiendo que el agua invadiera el buque a escasos minutos de zarpar.

4.4.- Falta de formación y errores humanos

Muchos de los accidentes investigados muestran una contribución significativa del factor humano. En el *Herald of Free Enterprise*, el fallo en la supervisión del cierre de la compuerta de proa fue responsabilidad directa de la tripulación.

En el *Hoegh Osaka*, se operaron sistemas esenciales “a ojo” debido a indicadores de los tanques de lastre averiados, lo que refleja una falta de control operativo básico. Además, la falta de formación especializada ante nuevas tecnologías, como el transporte de baterías de litio, también se evidenció en el *Felicity Ace*.

4.5.- Falta de preparación frente a incendios eléctricos

Los buques actuales transportan cada vez más vehículos eléctricos. Sin embargo, como reveló el caso del *Felicity Ace*, ni los sistemas de detección y extinción a bordo ni las dotaciones estaban preparadas para hacer frente a un incendio provocado por una fuga térmica en baterías de litio. La falta de normativas específicas para este tipo de carga ha generado una nueva preocupación en la industria naval.

Además de los casos analizados anteriormente, que representan los principales factores desencadenantes de accidentes graves en buques Ro - Ro con potencial de acabar en naufragio, existen otros riesgos relevantes relacionados con la seguridad de la tripulación durante las operaciones diarias a bordo, particularmente durante las maniobras de carga y descarga. Estas actividades, que se desarrollan con frecuencia bajo presión de tiempo, implican una exposición constante a peligros físicos. Uno de los más comunes es el riesgo de atropellos o aplastamientos entre vehículos, ya que en muchas ocasiones se trabaja en espacios reducidos con escasa visibilidad y un elevado número de movimientos simultáneos.

Otro factor de riesgo, a menudo subestimado, es el uso indebido del tabaco a bordo. Un simple cigarro mal apagado puede desencadenar un incendio, sobre todo si se enciende en zonas no autorizadas como las cubiertas de carga, donde existen materiales inflamables, o cerca de los tanques de almacenamiento de gas natural licuado (GNL), en aquellos buques que utilizan este tipo de combustible. Por este motivo, es fundamental que se respete estrictamente la normativa interna del buque sobre fumadores, limitando esta práctica exclusivamente a las zonas debidamente habilitadas, y reforzando la concienciación de la tripulación mediante campañas preventivas.

Todas estas causas, recurrentes en numerosos siniestros analizados, evidencian que la seguridad en los buques Ro-Ro no depende únicamente del diseño estructural o del equipamiento tecnológico, sino también de una correcta planificación operativa, de la

formación continua de las tripulaciones y de un marco normativo actualizado y adaptado a los nuevos desafíos.

La evolución del transporte marítimo, especialmente con la incorporación de vehículos eléctricos y nuevas tipologías de carga, exige una revisión constante de los protocolos de seguridad, así como el cumplimiento riguroso de las normas internacionales. En el siguiente apartado se abordarán las medidas a aplicar para prevenir al máximo los accidentes en los buques Ro – Ro y disminuir los riesgos presentes, aumentando así la seguridad del transporte de la carga rodada.

5.- Medidas a implementar para una mayor seguridad en el transporte de la carga rodada

Tras el análisis de los principales accidentes sufridos por buques de carga rodada y la identificación de los factores que los provocaron, se hace evidente la necesidad de adoptar medidas concretas que permitan prevenir este tipo de situaciones en el futuro.

La seguridad en los buques Ro-Ro debe abordarse desde una perspectiva integral, que incluya tanto aspectos técnicos y operativos, como también la formación y concienciación de la tripulación.

Este tipo de buques, debido a sus características particulares (como grandes espacios abiertos, estabilidad afectada por la distribución de carga y presencia de superficies libres), requiere de un enfoque especializado en la gestión del riesgo.

En este apartado se plantean una serie de buenas prácticas y sistemas preventivos que pueden implementarse para reducir de forma significativa los accidentes a bordo. Estas propuestas se basan tanto en el estudio de siniestros pasados como en experiencias reales recopiladas durante mis embarques, y tienen como objetivo reforzar la cultura de la seguridad, mejorar los procedimientos operativos, y optimizar la preparación ante

emergencias. Se abordan cuestiones como la correcta planificación de la carga, el uso eficaz del sistema de lastre, la gestión del riesgo de incendios, especialmente en vehículos eléctricos, y la importancia del factor humano en la prevención de accidentes.

En primer lugar, una de las áreas clave de mejora es la formación de la tripulación. Se ha demostrado que muchos accidentes tienen como origen decisiones erróneas tomadas por desconocimiento, falta de adiestramiento o exceso de confianza.

Por ello, es fundamental que las tripulaciones reciban formación continua en estabilidad del buque, control de incendios, evacuación de emergencia, manipulación de mercancías peligrosas y protocolos de carga/descarga, incluyendo procedimientos específicos para vehículos eléctricos, que cada vez están más presentes a bordo. Dicha formación debe estar homologada por organismos reconocidos internacionalmente como la OMI, y ser evaluada de forma periódica.

Otro punto de mejora imprescindible es el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos críticos. La falta de mantenimiento fue clave en siniestros como el del *Hoegh Osaka* o el *Golden Ray*, por lo que la implementación de programas de mantenimiento más estrictos, auditados por terceros y controlados digitalmente, se vuelve indispensable. Esto incluye sistemas de cierre de rampas y viseras, equipos de lastre, sistemas contra incendios, sensores de detección de gases y alarmas automáticas.

En lo referente al plan de carga, deben establecerse protocolos más estrictos para evitar errores de estiba que comprometan la estabilidad del buque. Es imprescindible contar con software certificado y actualizado que ayude a los oficiales en el reparto de pesos a bordo, contemplando los factores de superficie libre, peso real de cada vehículo y comportamiento del buque en diferentes condiciones de mar. Del mismo modo, los pesos reales de la carga deben ser verificados mediante básculas portuarias o

integradas en terminales, y no basarse únicamente en estimaciones o documentación del embarcador.

La implementación de nuevas tecnologías también ofrece un abanico de soluciones interesantes. El uso de cámaras térmicas, sensores de humo en cubiertas de carga y sistemas automáticos de extinción por gas inerte pueden marcar una gran diferencia en caso de incendios, especialmente en presencia de baterías de iones de litio. En este sentido, sería aconsejable que los buques adaptaran sus sistemas a normativas específicas para el transporte de vehículos eléctricos, que incluyan zonas de aislamiento, protocolos de vigilancia reforzada durante la travesía y equipamiento especializado para la extinción de fuegos generados por baterías.

Desde un enfoque normativo, deben reforzarse los controles de cumplimiento de la normativa del SOLAS, el Código ISM, y el Código de Estabilidad Intacta.

Las sociedades de clasificación también deben asumir un papel más activo en la verificación de las condiciones de seguridad operativa, no limitándose a inspecciones visuales rutinarias, sino validando la precisión del plan de carga, el estado de los sistemas de emergencia y los procedimientos de la tripulación.

A su vez, las compañías armadoras tienen una responsabilidad directa en fomentar una cultura de seguridad proactiva. Esto implica evitar las prisas por razones comerciales, promover la comunicación abierta entre departamentos y crear canales internos de denuncia para reportar fallos o riesgos sin temor a represalias.

Por último, se debe reforzar la infraestructura portuaria y su papel en la cadena de seguridad. La carga y descarga en los puertos deben estar coordinadas bajo estrictos procedimientos, asegurando la correcta sujeción de la carga y la disponibilidad de personal de vigilancia cualificado, evitando atropellos, caídas o aplastamientos, que siguen siendo causas comunes de accidentes laborales en buques Ro - Ro.

En definitiva, garantizar la seguridad en el transporte marítimo de carga rodada requiere una actuación integral que combine tecnología, formación, supervisión y compromiso por parte de la tripulación y de las navieras. Los accidentes analizados han evidenciado que no basta con cumplir la normativa mínima: es necesario anticiparse a los riesgos mediante medidas preventivas bien estructuradas, una formación rigurosa y una cultura de seguridad activa tanto a bordo como en tierra. Estas medidas, lejos de ser un gasto, deben entenderse como una inversión indispensable para la protección de vidas humanas, del medio ambiente marino y de la propia sostenibilidad del transporte marítimo Ro - Ro en el largo plazo.

A continuación, se ha diseñado una tabla que recoge de forma clara y concisa los datos más relevantes de los accidentes mencionados en este proyecto. Su objetivo es facilitar una visión comparativa entre los distintos casos, permitiendo identificar con claridad los aspectos técnicos de cada buque, las causas que desencadenaron los siniestros y las consecuencias derivadas.

Por tanto, la tabla actúa como una herramienta de síntesis que refuerza el análisis realizado y contribuye a una mejor comprensión de las medidas que deben implementarse para mejorar la seguridad en los buques Ro - Ro.

NOMBRE	GT	ESLORA (m)	CAUSA DEL ACCIDENTE	DAÑOS
<i>MS ESTONIA</i>	15598	155,4	Fallo en la estructura del yelmo de proa. Entrada de agua.	852 víctimas y hundimiento total del buque.
HERALD OF FREE ENTERPRISE	7951,44	131,9	Navegar con el portalón de proa abierto debido al error humano.	Alrededor de 190 víctimas y pérdida del buque.
GOLDEN RAY	71178	191,57	Estabilidad insuficiente y cálculo erróneo en el plan de carga.	Pérdida total del buque, sin víctimas, y daño medioambiental menor.
HOEGH OSAKA	51770	179,9	Estiba incorrecta, cálculos erróneos, exceso de confianza y falta de mantenimiento.	Varada controlada, sin víctimas, pérdida del buque.
FELICITY ACE	60118	199,9	Incendio posiblemente ocasionado por la batería de un vehículo eléctrico	Pérdida total del buque y sin víctimas.

Ilustración 22: Tabla resumen de los accidentes

Conclusiones

A lo largo de este trabajo se ha demostrado que, a pesar de los avances técnicos y normativos implementados durante las últimas décadas, el transporte marítimo de carga rodada continúa enfrentándose a importantes desafíos en materia de seguridad. La complejidad operativa de los buques Ro - Ro, unida a su particular configuración estructural y a la presión comercial a la que suelen estar sometidos, los convierte en plataformas especialmente sensibles a los errores humanos, a una deficiente planificación logística y a fallos técnicos evitables.

El análisis detallado de accidentes como los del *Herald of Free Enterprise*, *MS Estonia*, *Hoegh Osaka*, *Golden Ray* o *Felicity Ace* permite concluir que gran parte de estas tragedias podrían haberse evitado mediante una cultura de seguridad más rigurosa, una aplicación estricta de la normativa existente, y una formación más sólida y realista para las tripulaciones. Del mismo modo, queda patente la necesidad de adaptar continuamente las regulaciones a los nuevos retos del sector, como lo es el transporte de vehículos eléctricos, que conlleva riesgos adicionales que aún no están suficientemente abordados por las normas internacionales.

Este trabajo no pretende ser una mera recopilación de siniestros pasados, sino una llamada a la responsabilidad compartida entre navieras, organismos reguladores, astilleros, tripulaciones y el conjunto del sector marítimo. La seguridad no debe entenderse como un coste, sino como una inversión para garantizar la sostenibilidad, la eficiencia y la reputación del transporte marítimo. Porque cada accidente evitado no solo salva vidas y recursos, sino que refuerza la confianza en uno de los modos de transporte más estratégicos para el comercio mundial.

Me gustaría destacar el creciente riesgo que supone el transporte marítimo de vehículos eléctricos y los desafíos asociados a esta nueva realidad. Algunas compañías ya han optado por prohibir el embarque de este tipo de vehículos en sus buques debido al peligro que representa un posible fallo, el cual podría desencadenar consecuencias

catastróficas tanto a nivel económico como ambiental, sin descartar la posibilidad de pérdidas humanas.

Si bien la tecnología en torno a los vehículos eléctricos avanza a pasos agigantados, haciéndolos cada vez más eficientes, potentes y sostenibles, las infraestructuras y medios logísticos que intervienen en su cadena de transporte no evolucionan al mismo ritmo. Esta descompensación pone de manifiesto la urgente necesidad de adaptar los buques, los procedimientos operativos y la formación de las tripulaciones para garantizar una navegación segura en el contexto del transporte de nuevas tecnologías.

La mejora de la seguridad en los buques de carga rodada no pasa únicamente por incorporar nuevas tecnologías, sino también por revisar actitudes, reforzar el cumplimiento de los procedimientos y, sobre todo, mantener siempre presente que, en el mar, los errores no suelen dar segundas oportunidades.

Bibliografía

Court No. 8074. (1987, 24 de julio). *Report of Court No. 8074: Formal investigation: mv Herald of Free Enterprise*. Her Majesty's Stationery Office.

Dirección General de Marina Mercante. Subdirección General de Seguridad, Contaminación e Inspección Marítima. (2021). *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS)* (versión consolidada 2020, v.2021). Dirección General de Marina Mercante.

Dirección General de Marina Mercante. Subdirección General de Seguridad, Contaminación e Inspección Marítima. (2022). *Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL)* (versión consolidada 2022). Dirección General de Marina Mercante.

Joint Accident Investigation Commission (Estonia, Finland, & Sweden). (1995, abril). *Part-Report on the ESTONIA Disaster of 28 September 1994: Covering technical issues on the capsizing on 28 September 1994 in the Baltic Sea of the ro-ro passenger vessel MV ESTONIA*. Governments of Estonia, Finland, & Sweden.

Marine Accident Investigation Branch. (2016, marzo). *Report on the investigation into the listing, flooding and grounding of Hoegh Osaka Bramble Bank, The Solent, UK on 3 January 2015* (Report No. 6/2016).

Organización Marítima Internacional. (2018). *Código IGS: Código Internacional de Gestión de la Seguridad y directrices para su implantación* (ISBN 978-92-8013-159-8). OMI - Organización Marítima Internacional.

Organización Marítima Internacional. (2020). *Código Internacional de Sistemas de Seguridad contra Incendios (Código SSCI)*. Organización Marítima Internacional.

Panama Maritime Authority, General Directorate of Merchant Marine, Maritime Affairs Investigation Department. (2022, 16 de febrero). *M/V “FELICITY ACE” FIRE / EXPLOSION: Casualty Date: February 16th 2022, Casualty Place: Jurisdictional Waters of Portugal 90° from Azores Island, Very Serious Marine Casualty* (Report No. R-013-2022-DIAM).

Prácticos de Puerto. (s. f.). *La catástrofe que tenía que ocurrir*. <https://www.practicosdepuerto.es/es/colegio-federacion/publicaciones/articulos-luis-jar/la-cat%C3%A1strofe-que-ten%C3%ADa-que-ocurrir>

Unión Europea. (2003). *Directiva 2003/25/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de febrero de 2003 relativa a las prescripciones específicas de estabilidad aplicables a los buques de pasaje de transbordo rodado* (Diario Oficial L 123 de 17.5.2003, pp. 22–35). Diario Oficial de la Unión Europea.

United States Coast Guard. (2024, 2 de julio). *The capsizing of the Marshall Islands flagged Roll On - Roll Off vessel GOLDEN RAY (IMO 9775816) while outbound on the Brunswick River in St. Simons Sound, Georgia on September 8, 2019* (MISLE Activity No. 6807910; MISLE Case No. 1191160).



Anexo V: AVISO DE RESPONSABILIDAD

AVISO DE RESPONSABILIDAD:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado así como el profesor/a director no son responsables del contenido último de este Trabajo.