

Transporte de Vehículos Eléctricos - Híbridos en Buques Ro-Ro Pax

Trabajo Fin de Máster
Máster en Gestión en Náutica y Transporte Marítimo
Enero de 2024

Autor:
Juan Jesús Marrero García
45.730.741W

Tutor/a:
Prof. Rodolfo A. Oval García

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería
Sección Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval
Universidad de La Laguna; Escuela de Doctorado y Estudios de Posgrado

D. Rodolfo A. Oval García, Profesor de la UD de Marina Civil, perteneciente al Departamento de Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna:

Expone que:

D. **Juan Jesús Marrero García** con **DNI 45730741-W**, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de máster titulado: **Transporte de Vehículos Eléctricos-Híbridos en Buques Ro-Ro pax**.

Revisado dicho trabajo, estimo reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente documento.

En Santa Cruz de Tenerife a 16 de enero de 2024.

Fdo.: Rodolfo A. Oval García

Tutor del trabajo.

Marrero García, JJ. (2024). *Transporte de Vehículos Eléctricos - Híbridos en Buques Ro-Ro pax*. Trabajo de Fin de Máster. Universidad de La Laguna.

RESUMEN

En esta investigación-análisis se aborda una problemática que presenta en la actualidad el transporte marítimo de carga rodada, debido a que el incremento de vehículos eléctricos- híbridos, está en auge.

El propósito de esta investigación es observar desde un punto analítico y con visión de futuro, el problema actual que tenemos con respecto a el transporte de vehículos eléctricos / híbridos en buque de tipo Roll on - Roll off pax.

Para comenzar, se ha realizado un acopio documental de la situación actual. En la primera parte se realiza un análisis del desarrollo de este tipo de vehículos, para continuar con la investigación de accidentes donde han estado involucrados las baterías de iones de litio las cuales llevan estos vehículos prácticamente en su totalidad. Por otra parte, el conocimiento de la legislación actual en esta materia junto a la identificación y evaluación de riesgos que con lleva este tipo de transporte.

Concluyendo con la escenificación de los protocolos de gestión actuales, con el posterior análisis y discusión de los mismos, obteniendo como resultado unas propuestas de mejora, con el fin de poner en situación el enorme problema que debemos afrontar cuanto antes para un presente-futuro, que augura "*mala mar*" para el transporte marítimo, si no se toman medidas por parte de las autoridades marítimas, navieras, sociedades de clasificación, y de todos los involucrados en materia de transporte marítimo.

Palabras claves: [Transporte, baterías, eléctricos, riesgo, actualidad].

Marrero García, JJ. (2024). *Transporte de Vehículos Eléctricos - Híbridos en Buques Ro-Ro pax*. Trabajo de Fin de Máster. Universidad de La Laguna.

ABSTRACT

This analytic investigation tackles the problems that wheeled cargo sea transport currently presents as the rise of electric and hybrid vehicles is at its peak.

The purpose of this investigation is observing the current problems we are having from an analytic point as well as a future view as regard the electric and hybrid vehicle hauling on the Roll on -Roll off pax type of ships.

To start off, an up-to-date document collecting about the existing situation has been carried out. On the first part an analysis of the development of this type of vehicles has been made, to continue with research of accidents involving lithium-ion battery sets which practically every vehicle of this kind carry inside. On the other hand, the registration of effective legislation on this matter along with the identification and hazard evaluation of this kind transportation has also been included.

To finish off, a reproduction of the current protocols of management are added alongside a subsequent analysis and discussion about them. As a result, some improvement proposals are obtained in order to bring up the huge present-time and oncoming problems we must confront the earlier the better. Undoubtedly “rough sea” are foreseen for maritime transport if due measures are not taken on account of maritime authorities, shipping companies or rating companies in addition to each and every constituent involved in maritime transport.

Keywords: [Transport, battery, electric, risk, timeliness].

AGRADECIMIENTOS

Hago uso de este apartado para agradecer a todas las personas que me han ayudado en esta travesía, empezando por los profesionales que me he tropezado a lo largo de mi carrera profesional.

Al personal de la Universidad de La Laguna, al profesorado del Máster, que han hecho una gran labor tanto por conseguir impartirlo en esta Facultad como en la docencia impartida durante el mismo.

A la compañía Fred Olsen Express por darme todas las facilidades para mi crecimiento personal y profesional.

A mi familia y amigos por siempre estar a mi lado.

Y por último con un especial reconocimiento a mi mujer y mis hijas que son las que han hecho que todo esto sea posible, ese apoyo incondicional día tras día, esto es por y para ellas.

Índice del TFM

1. Introducción.....	12
2. Objetivos.....	13
2.1 Objetivo principal	13
2.2 Objetivos específicos	13
3. Metodología	14
4. Resultados	15
4.1 Definición y evolución de vehículos eléctricos.....	15
4.2 Antecedentes de incidentes relacionados con baterías de vehículos eléctricos en buques.....	15
4.3 Normativa y regulaciones actuales	18
4.3.1 Internacional	18
4.3.2 Nacional.....	20
4.4 Análisis y evaluación de riesgos	21
4.4.1 Peligros asociados a las baterías de iones de litio	22
4.4.2 Resultados del análisis baterías de iones de litio	25
4.5 Protocolo actual para vehículos eléctricos-híbridos.....	27
4.5.1 Embarque	27
4.5.2 Estiba a bordo.....	28
4.5.3 Medidas preventivas a bordo	28
4.5.4 Procedimiento de actuación en caso de emergencia	29
4.6 Análisis y discusión.....	31
4.6.1 Análisis de las limitaciones y deficiencias del protocolo actual.....	31
4.6.2 Desarrollo de recomendaciones y propuestas de mejora.....	33
5. Conclusiones.....	37
6. Bibliografía.....	38

1. Introducción

El transporte marítimo de vehículos está en constante evolución, ya sea por los tipos de buques o por los vehículos transportados, los vehículos han ido cambiando de tamaño, tipo de combustible, al igual que los demás medios de transporte.

Los buques Ro-Ro han sido fundamentales en el transporte de una amplia variedad de vehículos a lo largo de los años. En los orígenes eran trenes, después fueron vehículos militares, posteriormente, vehículos civiles junto a camiones, pero llega una nueva era, en la cual se empiezan a sustituir los combustibles fósiles en los vehículos por baterías, la pregunta es *¿Están preparados nuestros buques Ro-Ro para transportar este tipo de vehículos ?, ¿somos conscientes de los riesgos que acarrear ?, ¿son iguales los vehículos de combustibles fósiles que los vehículos eléctricos - híbridos ?, una serie de cuestiones que debemos analizar.*

En este trabajo de investigación y desarrollo lo que se pretende es poner en conocimiento los pros y los contras del transporte de vehículos eléctricos-híbridos en buques Ro-Ro Pax.

El transporte de estos vehículos a nivel internacional está teniendo un crecimiento exponencial con una gran celeridad, con lo que implica que las diferentes organizaciones marítimas, ya sean navieras, entidades aseguradoras, sociedades de clasificación, etc, se hayan tenido que ponerse manos a la obra para comenzar a construir normativa, procedimientos y todo lo que esté relacionado con este tipo de transporte con el fin de presentar garantías a los posibles riesgos.

Durante el desarrollo de este análisis abordaremos la evolución del transporte marítimo, enfocándolo especialmente en los buques Ro-Ro pax, se hará referencia a los accidentes ocurridos con este tipo de transporte de vehículos.

Por otra parte, se expondrá como se encuentra la normativa a día de hoy y como están siendo transportados.

Se realizará un desarrollo técnico de los riesgos que suponen estos vehículos. Analizaremos las limitaciones y deficiencias del protocolo actual y propondremos recomendaciones para mejorar la situación.

2. Objetivos

2.1 Objetivo principal

Se plasmará desde una perspectiva analítica, la actual situación del transporte de vehículos eléctricos-híbridos en buques de carga rodada con pasajeros. El desarrollo de este análisis se fundamenta en los desafíos que presentan este tipo de vehículos, al ser transportados en buques.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar el desarrollo de los vehículos eléctricos- híbridos y su evolución en el transporte marítimo.
- Investigar incidentes ocurridos relacionaos con las baterías de los vehículos eléctricos-híbridos en buques.
- Conocer la legislación actual.
- Identificar y evaluar los riesgos que con llevan el transporte de estos vehículos.
- Protocolos de gestión para vehículos eléctricos-híbridos.
- Analizar las limitaciones y deficiencias del protocolo actual.
- Desarrollar recomendaciones y propuesta de mejoras.

3. Metodología

Con el fin de conseguir los objetivos de esta tesina, la metodología general de trabajo se ha organizado en dos secciones.

La primera se centra en investigar fuentes documentales, fundamentalmente a través de legislación, documentos relevantes y artículos, consultados en la red, adquiridos de organismos oficiales como la Organización Marítima Internacional, Agencia Europea de Seguridad Marítima, sociedades de clasificación, etc. La segunda sección se enfoca analizar la información recopilada y proponer mejoras.

La base sobre la que se fundamenta este análisis es, una primera parte, donde se engloban necesariamente aspectos referentes a conceptos generales, legislación actual, protocolos de las sociedades de clasificación, investigación de accidentes, análisis de evaluaciones de riesgos.

Tras plantear los objetivos, la justificación y el estado actual, en la segunda parte, prima un análisis a la investigación documental de las fuentes primarias, con el fin de observar deficiencias en las limitaciones de los protocolos para finalizar con un desarrollo de recomendaciones y propuestas de mejora.

4. Resultados

Los resultados de esta investigación, basados en el acopio documental, han sido procesados y organizados, de forma que ha dado producto a una serie de apartados. A continuación, se presentan los temas que se han abordado.

4.1 Definición y evolución de vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos han experimentado una evolución significativa en las últimas décadas. Han pasado de ser una novedad para convertirse en una parte importante de la industria del transporte. Estos vehículos utilizan baterías eléctricas para almacenar y proporcionar energía a motores eléctricos, en lugar de los tradicionales motores de combustión interna. Además, en algunos casos, se produce una interacción entre ambos sistemas.

La tecnología de los vehículos eléctricos se ha desarrollado con el objetivo de reducir las emisiones de gases efecto invernadero y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles en el sector transporte. Esa transición hacia la movilidad eléctrica es fundamental para lograr un futuro más sostenible.

La creciente popularidad de estos vehículos, junto con los cambios normativos relacionados con las emisiones, ha llevado a una expansión en los diferentes modos de transporte, incluyendo tanto vehículos terrestres como marítimos. Eso implica que el incremento de vehículos-híbridos en el transporte marítimo es notable, lo que plantea una serie de desafíos específicos en términos de seguridad, almacenamiento y manejo de baterías.

4.2 Antecedentes de incidentes relacionados con baterías de vehículos eléctricos en buques

Los accidentes marítimos han tenido un impacto significativo en la regulación y las normativas. Desde la trágica historia del Titanic, hasta accidentes medioambientales como el Prestige, cada incidente ha llevado a una revisión exhaustiva y a la implementación de nuevas reglas.

Es fundamental aprender de estos eventos para mejorar la seguridad y prevenir futuros accidentes. La investigación detallada y la comprensión de las causas subyacentes son esenciales para impulsar cambios normativos efectivos.

La adopción creciente de vehículos eléctricos/híbridos es notable, representa un cambio significativo en el transporte marítimo, impulsado por la búsqueda de sostenibilidad medioambiental. Sin embargo, en los últimos años, hemos presenciado un aumento alarmante de incendios a bordo de buques, muchos de los cuales se atribuyen a las baterías de iones de litio utilizadas en estos vehículos.

Las baterías de iones litio, representan un avance tecnológico importante en términos de almacenamiento de energía, pero también presentan riesgos significativos en cuanto a incendios. El análisis detallado de los accidentes en los que están involucradas estas baterías es esencial para establecer regulaciones y procedimientos adecuados.

A continuación, se plasman los accidentes más relevantes:

Fremantle Highway

El 25 de julio 2023, el buque PCC (Pure Car Carriers) *Fremantle Highway*, que había salido de Bremerhaven (Alemania), con destino final Singapur, cuando se encontraba a 16 kilómetros de la isla de Schiermonnikoog y Ameland en el Mar del Norte, se detectó un incendio en sus bodegas, el cual intentaron apagar utilizando todos los medios disponibles a bordo, pero les fue imposible, el buque fue devorado por las llamas.

La causa principal que se achaca a este accidente, sin todavía tener una resolución definitiva de la investigación, va encaminada a que se incendiara la batería de unos de los coches eléctricos que eran transportados. El buque transportaba unos 3800 vehículos, de los cuales 500 eran eléctricos. A la espera del informe final del accidente, todo indica que el fuego fue iniciado por un cortocircuito en una batería de un coche eléctrico. (Schuler, 2023) (Lepic, 2023)

Felicity Ace

El buque *Felicity Ace*, que navegaba el 17 de febrero de 2022 en el Atlántico, a la altura de Azores, fue sorprendido por un incendio en sus bodegas. Este buque transportaba unos 4,000 vehículos, en su mayoría del grupo Volkswagen, una valoración de la carga de 300-400m\$, la gran mayoría eran vehículos de lujo.

El incendio según la investigación llevada a cabo por las autoridades portuguesas en colaboración con las de la propia bandera del buque (Panamá), concluyeron que el incendio se originó en una batería de iones de litio de un vehículo eléctrico, no se ha podido llegar a esclarecer con exactitud, debido a que el buque zozobró. (Lorenzo, 2023) (Verona, 2022)

Höegh Xiamen

El día 04 de junio de 2020, el buque *Höegh Xiamen*, atracado en Horizon de Blount Island en Jacksonville, Florida. Preparado para salir rumbo a Baltimore, los tripulantes se

percatan que sale humo de uno de los conductos de ventilación, alertando a toda la tripulación que, en busca del incendio, notaron que en la cubierta 8, la cual fue cargada con vehículos usados. La tripulación lanzo todos sus esfuerzos para luchar contra el fuego, recibieron el apoyo de los bomberos, pero no había forma de sofocarlo. En ese momento el capitán lanzó el CO2 en la cubierta 7 y 8.

Según las conclusiones de la investigación llevada a cabo, el fuego se originó en los coches usados que estaban cargados en esa bodega ya que se habían estado cargando sus baterías los días anteriores, no llevándose a cabo un exhaustivo procedimiento de verificación de que las baterías estaban correctamente desconectadas, propiciando que el riesgo de arco eléctrico fuera mayor, desencadenado el fuego en dicha bodega. Los procedimientos por parte de la compañía Grimaldi y SSA Atlantic, deben de ser revisados. A esto debemos añadir que el capitán del buque tardó en activar el procedimiento con los bomberos de tierra. (National Transportation Safety Board, 2020)



Ilustración 1. Incendio buque Höegh Xiamen, atracado en Blount Island. Fuente: [Fire aboard Roll-on/Roll-off Vehicle Carrier Höegh Xiamen \(maritimesafetyinnovationlab.org\)](https://maritimesafetyinnovationlab.org)

Estos accidentes subrayan el reto creciente que representan la seguridad en el transporte marítimo de vehículos, donde se han perdido vidas humanas, grandes cuantías de dinero, contaminación medioambiental considerable, interrupción en la cadena de suministro, aumento considerable de las primas de seguro, etc. Las soluciones propuestas abogan a una necesidad crítica de innovación y desarrollo en materia de seguridad, para una adaptación eficaz a la nueva realidad. Algunas navieras están tomando medidas en cuanto a procedimientos, implementación de nuevos equipos, protocolos de estiba diferentes, etc., pero aún estamos al principio de la travesía.

4.3 Normativa y regulaciones actuales

La normativa en materia de regulación de transporte de vehículos eléctricos se encuentra sujeta a una serie de normativas y regulaciones, tanto a nivel internacional como nacional.

En estos momentos no podemos hablar de marco normativo específico que regule el transporte de vehículos eléctricos en sentido estricto, sino hablamos de regulaciones, directrices y recomendaciones aplicables para la realización de un transporte seguro y eficaz.

Tanto los organismos internacionales como nacionales han ido publicando recomendaciones y normativa, las cuales están en período de discusión internacional, no teniendo aplicación obligatoria.

4.3.1 Internacional

(i) **SOLAS** (Safety of Life at Sea)

La regulación más importante en materia marítima a nivel Internacional es el SOLAS, es la carta magna, la cual es emitida y regulada por la OMI (Organización Marítima Internacional), esta normativa está en constante evolución, de momento en materia de transporte de vehículos eléctricos / híbridos, no hay nada concreto, se habla de manera general de la seguridad en buques Ro-Ro / Ro-Ro pax, aunque existe un Proyecto llamado LASH FIRE, que está impulsando una regulación específica en esta materia, con el fin de minimizar riesgos en el transporte de este tipo de vehículos.

El proyecto denominado LASH FIRE (Legislative Assessment for Safety Hazards of Fire Innovations in RO-RO ship Environment), es una iniciativa que está respaldada por la Unión Europea. Este proyecto tiene como objetivo principal promover un transporte más seguro y eficiente, tanto en materia de seguridad como en materia medioambiental, está asociado a el proyecto Fit For 55. (CFIS 2023, 2023)

En el caso de la seguridad en el transporte de vehículos, ya sea en buques Ro-Ro Cargo y/o Ro-Ro pax, esta va encaminada a la nueva realidad. Esa nueva realidad viene dada por aportar un mayor conocimiento para prevenir los incendios en la carga, debido a que, en las estadísticas, el 90% de los accidentes en este tipo de buques, es por un incendio en la carga transportada, donde nos encontramos con un incremento significativo en estos últimos años, teniendo como factor común las baterías de iones de litio. A través de los accidentes se ha comprobado que no tenemos ni medios, ni entrenamiento para combatirlos.

Esta normativa no tiene como objetivo prohibir el embarque de este tipo de vehículos, sino que está enfocada en aspectos técnicos como pueden ser: detección de puntos calientes, herramientas para poder segregarse esos vehículos y estibarlos de manera segura, arcos en las

terminales con sensores de temperatura, drones en las grandes explanadas de los muelles para su control mediante mediciones de temperatura, directrices para su desconexión.

El proyecto se encuentra en fase de consenso por parte de las autoridades marítimas internacionales. (Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, 2023)

(ii) **IMDG** (International Maritime Dangerous Goods)

El Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG) es la regulación internacional que establece directrices y disposiciones con respecto al transporte marítimo de mercancías peligrosas. La última enmienda del código 36-12, incluye disposiciones específicas relacionadas con el transporte de vehículos eléctricos y equipos accionados por baterías de electrolito líquido, baterías de sodio, baterías de metal litio, baterías de iones de litio.

En virtud de esta disposición especial, se aplica regulación específica a los vehículos/híbridos y equipos accionados por baterías anteriormente mencionadas.

Una parte importante de esta regulación implica la protección de cualquier equipo accionado por baterías. Esa protección hace que estos vehículos o mecanismos accionados por una batería como pueden ser bicicletas eléctricas, patinetes eléctricos, etc., estén protegidos, en áreas donde la exposición al calor sea la menos posible durante su transporte y que obtengan una ventilación adecuada durante el mismo.

Este código busca la prevenir la descomposición exotérmica a altas temperaturas que pueden acarrear una fuente de ignición, especialmente en las baterías de iones de litio. (MINISTERIO DE ASUNTOS EXTERIORES, UNIÓN EUROPEA, 2022)

(iii) **EMSA** (European Maritime Safety Association)

La agencia europea de seguridad marítima ha publicado una guía de recomendaciones "*Guidance on the carriage of AFVs in Ro-Ro Spaces*", la cual realiza un estudio dando unas pautas de procedimientos, en la forma la cual debemos actuar con respecto al transporte de vehículos AFVs (Alternative Fuel Vehicles), en los cuales no solo engloba a vehículos eléctricos e híbridos, sino que también hace referencia a vehículos de hidrógeno, gas licuado. (EMSA (European Maritime Safety Agency), 2023)

(iv) **ABS** (American Bureau of Shipping)

La sociedad de clasificación ABS, una de las sociedades de clasificación internacional más importante en el mundo marítimo, sobre todo en América. Ha publicado unas prácticas en relación con el transporte de vehículos eléctricos, "*Best Practices for the Transport of Electric Vehicles on board Vessels*". En esta guía-recomendaciones, analiza una serie de normativa internacional, comenzando por el código IMDG. Adquiriendo como referencia

también la guía anteriormente nombrada realizada por la EMSA. Esta guía se basa en una serie de puntos llamados buenas prácticas, las cuales fueron adquiridas basándose en un examen, en el cual, se realizaban preguntas a técnicos especialistas y con esas respuestas, se redactó esa guía de buenas prácticas. (ABS (American Bureau of Shipping), 2023)

(v) **Class NK** (Society Classification Nippon Kaiji Kyokai)

Esta sociedad de clasificación internacional, la cual hoy en día tiene algo más de 8.000 buques clasificados en servicio, siendo un 7% buques de carga rodada, lo que la hace ser una sociedad importante. Por su parte, han publicado una guía para la seguridad con respecto al transporte de vehículos eléctricos (*Guidelines for the Safe Transportation of Electric Vehicles edition 1.0*), que engloba a los híbridos, debido a la existencia de baterías en los mismos. Esta guía ha sido publicada en agosto de 2023, con lo cual, es una de las últimas recomendaciones internacionales, en la que destaca, sus procedimientos de contingencias ante las emergencias. (Class NK, 2023)

(vi) **IATA** (International Airport Association)

Esta regulación está destinada al transporte aéreo. Teniendo en cuenta que el transporte aéreo y marítimo en diversas ocasiones van de la mano, debido a que cuando hablamos de logística multimodal, involucra a los dos transportes. Por otra parte, debemos observar que llevan tiempo prohibiendo y controlando las baterías, esto quiere decir que van un paso por delante. Esto viene dado por los acontecimientos que han sufrido. Han trabajado y siguen trabajando para que la regulación del transporte de este tipo de mercancías sea lo más seguro posible. Aspecto el cual debemos tener como referencia en cuanto a la realización de normativa en el ámbito marítimo. (IATA, 2021)

4.3.2 Nacional

En cuanto a la normativa nacional, en este caso España, no tiene nada definido en materia de transporte de vehículos eléctricos / híbridos en buques, debido a que se nutre de la legislación internacional.

Un ejemplo es United Kingdom, el cual ha emitido unas directrices en materia de transporte de vehículos eléctricos /híbridos en buques Ro-Ro Pax. Esa guía/recomendaciones *MGN 653 Amendment 1 Electric Vehicle on board passenger Ro-Ro Ferries*. En esta guía nos encontramos con una serie de puntos como son, identificación y estiba de vehículos, medios de prevención y detección de incendios, carga y estiba de vehículos eléctricos grandes (furgonetas, camiones, etc), ubicación de estos vehículos y medios de ventilación, consideración del estado del vehículo eléctrico/híbrido antes de cargar, vigilancia permanente, CCTV térmicas, etc. (Maritime and Coastguard Agency, 2023)

4.4 Análisis y evaluación de riesgos

Los factores críticos de seguridad en el transporte de vehículos eléctricos/híbridos, presentan desafíos específicos en términos de seguridad durante el transporte. Estos riesgos deben gestionarse en el marco existente del código ISM (Código Internacional de la Gestión de la Seguridad), para proteger la vida humana, la seguridad de la embarcación y el medio ambiente. El resultado de la evaluación de riesgo debe ser un procedimiento específico para el tipo de buque y su operativa.

La realización de un análisis y evaluación de riesgos adecuada debe desarrollarse de inmediato para tratar de mitigar los problemas que podemos encontrar en este tipo incidentes. Estas medidas deben combinarse con la instalación de mejoras de equipos de identificación y extinción de incendios y un mayor control logístico.

El conocimiento de la evaluación de riesgos y la comprensión, aunque no son suficientes, constituyen unos de los objetivos primordiales para paliar los daños. En el análisis de las situaciones de peligro a bordo, se debe tener en cuenta las causas potencialmente peligrosas que podría tener un buque en caso de un fallo en términos de riesgo de incendio. A la hora de evaluar los efectos, se debe considerar las instalaciones y las medidas habituales de protección contra incendios, detección de incendios/gas y lucha contra incendios que se exigen hoy en día en los buques tipo Ro-Ro/ Ro-pax.

El riesgo asociado a la aparición de un fallo y el escenario el cual se plantea se deriva de la probabilidad de que se produzca el fallo y el escenario resultante, se debe valorar la gravedad de los efectos sobre el buque y las personas, así como los efectos hacia la carga.

Este análisis está basado en las directrices FSA (*Formal Safety Assessment*) de la OMI que propone es de tres categorías de frecuencia: frecuencia razonablemente probable, remota y extremadamente remota.

En el análisis se debe distinguir entre:

- Vehículos eléctricos de batería (BEV) estos vehículos funcionan totalmente con baterías, para su recarga necesitan estar conectados a la red eléctrica.
- Vehículos eléctricos híbridos (HEV) estos vehículos utilizan dos o más sistemas de energía, normalmente una batería y un motor de combustión interna los híbridos convencionales la batería se carga mediante frenado regenerativo y el motor de combustión interna también realiza las funciones de carga con poca autonomía cuando solo se dispone de lo eléctrico.

- Vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV) funcionan generalmente con una batería, pero también están equipados con un motor de combustión interna que impulsa el vehículo cuando se agota la batería, esta es recargada mediante la conexión eléctrica.

- Vehículos de pila de combustible (Vehículo FC) estos vehículos son poco comunes debido a que generan la energía a partir de hidrógeno o metano mediante una pila de combustible. La batería almacena la energía generada.

- Vehículos equipados con una unidad de refrigeración (UF) estas unidades de refrigeración no tienen ninguna vinculación con la propulsión de este, sino que garantiza que la mercancía no se dañe, es decir que se mantenga a la temperatura ideal debe ser incluido en el análisis debido a que está conectado a la corriente eléctrica, una carga muy habitual en los buques Ro-Ro.

El objetivo del análisis permite verificar la magnitud de los incendios de vehículos eléctricos / híbridos a bordo.

Actualmente, existen varios tipos de tecnología de baterías para su uso en vehículos híbridos y eléctricos. La batería de ion-litio es la más común en los vehículos eléctricos, pero dentro de este grupo de productos hay variaciones en cuanto a las tecnologías, los materiales y los tipos de electrolitos utilizados.

Las dos formas más comunes de baterías de tracción son las de iones-litio y las de NiMH (Níquel-Metalhidruro), dado que las de NiMH no arden la evolución de riesgos se centra en las de iones-litio.

4.4.1 Peligros asociados a las baterías de iones de litio

Las baterías de iones de litio son hoy en día un gran avance tecnológico, ya que pueden almacenar grandes cantidades de energía en espacios reducidos y altas densidades energéticas, aunque plantean numerosos problemas de seguridad. Hoy en día existen numerosas investigaciones que están extremadamente documentadas, poniendo en conocimiento que las baterías pueden fallar de forma peligrosa, provocando incendios, explosiones, emisiones de gases tóxicos y otros riesgos asociados. Los riesgos que presentan las baterías pueden clasificarse en tres: Daños mecánico, eléctrico o térmico.

- Daños mecánicos: son los daños locales externos en las baterías de iones de litio, como pueden ser impactos, hendiduras o perforaciones, etc.

Si se daña la carcasa, puede entrar aire a la batería y reaccionar con los componentes activos y el electrolito. Estas reacciones generan calor. Los daños mecánicos que deformen la carcasa pueden provocar graves daños o roturas de

componentes internos, la rotura en el colector de corriente y el separador pueden permitir que los electrodos entren en contacto, provocando un cortocircuito.

En el caso de vehículos eléctricos / híbridos las baterías suelen estar integradas en el chasis, con lo que cualquier impacto medianamente considerable pueden poner las baterías en peligro. En este sentido a la hora de transportar este tipo de vehículo es muy difícil saber si el vehículo ha sufrido algún tipo de daño al ser cargado o el estado de este, al no ser que el vehículo empiece a desprender gases o se caliente. Al no ser un elemento externo visible es muy complicado de predecir.

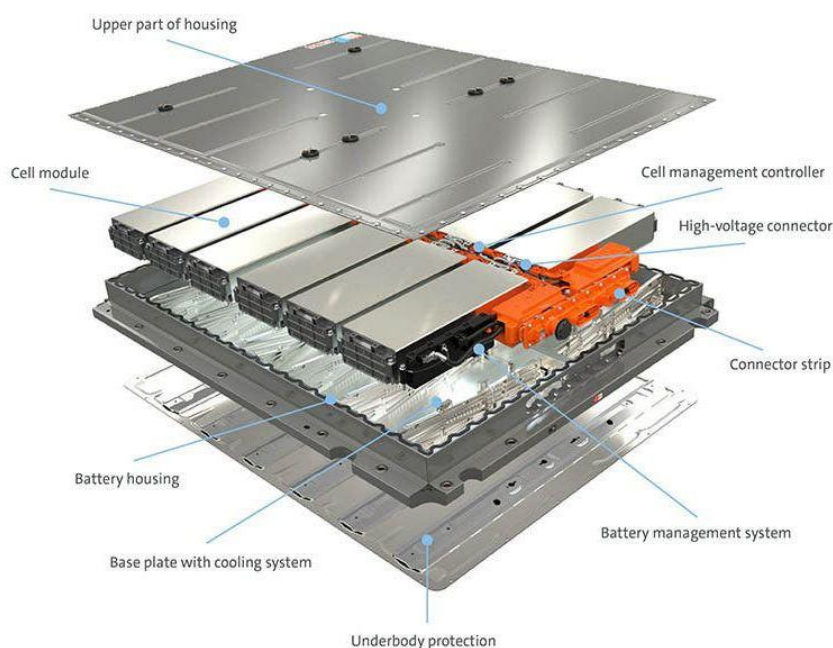


Ilustración 2. Partes de una batería de un vehículo de iones de litio Fuente: <https://www.vwcanarias.com/es/blog/duracion-bateria-coches-electricos.html>

- Daños eléctricos la sobrecarga o sobre descarga de la batería. Normalmente, las baterías se cargan en una tensión que corresponde a un estado de carga determinado. Pueden producirse reacciones electroquímicas no deseadas debido a la sobrecarga o sobre descarga, tanto una como la otra pueden ser fallos de fábrica o daños en las celdas de las baterías.

La sobre descarga de las baterías provoca la descomposición del electrolito en la superficie del cátodo, lo que aumenta la temperatura de la batería, sin embargo, la sobrecarga es la migración excesiva de iones de litio desde el cátodo haciendo que se vuelva inestable.

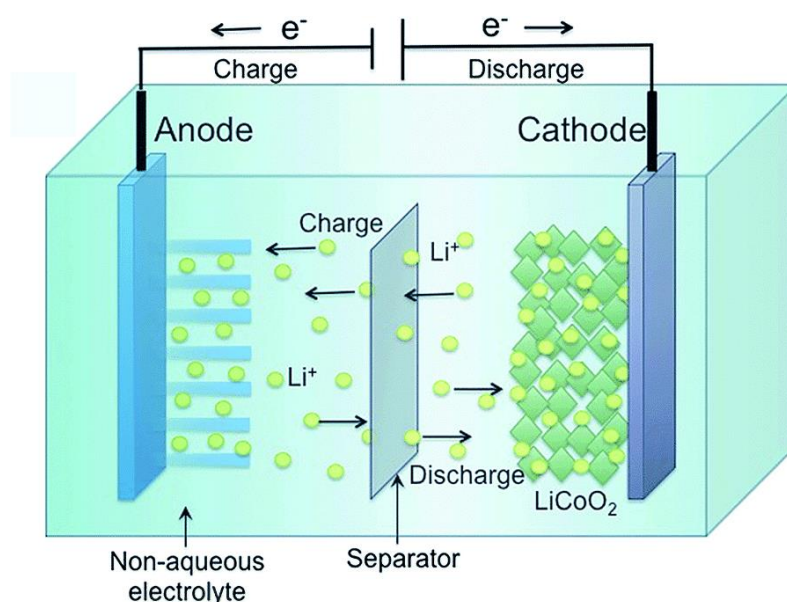


Ilustración 3. Proceso de sobre descarga y/o sobrecarga. Fuente: <https://limitsinx.tistory.com/11>

- Daños térmicos: este peligro asociado, no es más que someter las baterías a temperaturas extremas. Las temperaturas extremas pueden darse, de dos formas, como consecuencia de una temperatura externa elevada o cuando la temperatura local (dentro de la propia batería) es demasiado alta.

Las altas temperaturas localizadas dentro de la propia batería pueden ser, por un mal diseño o fabricación. Ya que los ciclos de funcionamiento normal no deberían de producir accidentes de seguridad. Sin embargo, cuando las tasas de liberación de calor del electrodo son superiores a las tasas de enfriamiento, el estrés térmico o los choques pueden provocar un aumento de la presión, que con el paso del tiempo pueden conducir a una explosión.

Se ha comprobado que en su mayoría la temperatura crítica, está por encima de los 60°C , con esas temperaturas, las baterías de iones de litio son propensas a fallar. No todas las baterías tienen ese hándicap de temperatura, depende de su composición química. Sabiendo que la temperatura en un contenedor (recipiente cerrado), puede ser dos veces más alta que la temperatura exterior. Si hacemos una puesta en escena y nos trasladamos a un día de verano, con temperaturas elevadas, en una explanada de un muelle, el calor del asfalto podría estar irradiando unos $35/40^\circ\text{C}$. Si como bien se hizo referencia en el párrafo anterior, esa temperatura del asfalto la multiplicamos por dos, tendremos una temperatura dentro de un contenedor de baterías, recipiente donde se alojan las baterías en un coche eléctrico,

alrededor de unos 75/80°C, aumentando considerablemente el riesgo de daño térmico. (Miller, 2022)

4.4.2 Resultados del análisis baterías de iones de litio

Sea cual sea el fallo producido, puede tratarse de un acontecimiento pequeño o grande, pero una vez que se inicia el fallo puede producirse un exceso térmico tremendamente difícil de detener.

Exceso o desbordamiento térmico (*Thermal runaway*) ocurre cuando el calor generado por la batería de iones de litio alcanza una fase en la se vuelve autónoma. El exceso térmico hace que la temperatura de la batería aumente exponencialmente esto puede deberse al calor, impactos, aplastamientos, penetración, sobrecarga, defectos, fallos de fábrica y diseño o contaminación. El primer signo de desbordamiento térmico es el aumento de temperatura, esto hace que se provoquen roturas dentro de las celdas, lo que da lugar a la liberación de gases tóxicos, explosiones, incendio, etc. (Imad, 2023)

Riesgo de explosión, durante el exceso térmico se producen gases tóxicos, inflamables y potencialmente explosivos, con lo que puede producirse una explosión en cualquier momento, si las condiciones de ventilación en caso de tener un desbordamiento térmico se reducen, la atmósfera se vuelve altamente explosiva.

Las baterías de iones de litio liberan una nube de vapor que a veces se confunde con humo, pero esta, está formada por una serie de gases tóxicos/explosivos. Ver tabla 1.

Tabla 1. Gases tóxicos / explosivos

Hidrogeno (c. 30%-50%)	Explosivo
Monóxido de Carbono	Tóxico
Fluoruro de Hidrógeno	Tóxico
Cloruro de Hidrógeno	Tóxico
Cianuro de Hidrógeno	Tóxico
Gotas de disolventes agónicos	Explosivo
Etano, metano y otros hidrocarburos	Explosivo

NOTA: Gases emitidos por las baterías de iones de litio, en un desbordamiento térmico (*Therman Runaway*)

Según investigaciones y fuentes de la industria, durante un fallo de una batería pueden liberarse hasta 6000 l/kWh de vapores. Una parte significativa de los vapores

liberados están compuestos por fluoruro de hidrógeno y gases fluorados relacionados. Estos gases están identificados como peligro tóxico y corrosivo, ejemplo el fluoruro de hidrógeno se convierte en ácido fluorhídrico en contacto con el agua. Si realizamos una regla de tres directa, partiendo de la base que una batería puede liberar 200 g por kWh de fluoruro de hidrógeno, una batería de 100 kWh puede liberar 20 kg. Una batería de 100 kWh es la que nos podemos encontrar en un coche eléctrico de largo alcance, como pueden ser el Tesla Roadster, Tesla Model X, Volvo EX90, BMW i4, Audi Q8 e-tron, Ford Mustang Match-E, Mercedes EQS, Mercedes EQE, una gran variedad como se puede observar que pasan de los 100 kWh. Los otros coches eléctricos / híbridos que se encuentran actualmente en el mercado están cerca de esa cifra o mucho por arriba, con lo cual quiere decir que la emanación de gases será muy parecida. Esta inhalación de gases es especialmente peligrosa, llegando a producir la muerte.

La extinción de un incendio en baterías de iones de litio es larga y tediosa debido a que arde durante largos periodos y puede reavivarse en horas, días o incluso semanas lo que requiere grandes cantidades de agua para sofocarlo. Son mucho más difíciles de apagar que un incendio provocado, por ejemplo, en un motor de combustión interna o por muchos productos químicos. La espuma, el CO₂ y otros son totalmente ineficaces en la lucha contra el fuego de una batería de iones de litio.

Los incendios de baterías de iones de litio son difíciles de extinguir, entre los problemas asociados a la extinción de incendios se incluyen los siguientes:

- Generalmente están dentro de unidades selladas y su ubicación en un equipo o vehículo puede resultar difícil de acceder y penetrar con un medio de extinción.
- Se necesitan grandes cantidades de agua para extinguir este tipo de incendios, la estimación es de unos 136.000 litros de agua en cuatro horas si lo comparamos con los 10.000-15.000 litros en 30 min que se necesita para un motor de combustión, es un hándicap importante.
- Los incendios en baterías de iones de litio tienen una llama sostenida debido a que son autosuficientes.
- La reignición puede producirse un tiempo considerable después de la extinción del incendio.
- Los vapores tóxicos son inflamables, algunos más ligeros y otros más pesados que el aire en diferentes proporciones. Por lo tanto, no todos los vapores se elevarán y actuarán como humo.

Los retos que se pueden plantear en este tipo de incidentes se agravan aún más dependiendo de dónde ocurra y de qué se trate, por ejemplo, una fuga térmica que se produce

a bordo de un buque en alta mar, donde los vehículos están pegados a menos de treinta centímetros, es mucho más grave que el que se produce en un vehículo de estas características que está aislado en una carretera.

Cuando se produce un incendio en un buque, es probable que sea, a priori, difícil de localizar en caso de que sea una fuga térmica. Puesto que las cubiertas o los compartimento están cerrados, dando probabilidades que este espacio se llene rápidamente con los vapores tóxicos inicialmente. Esto ocurre en buques cuyas bodegas están completamente cerradas.

A continuación de que los vapores salgan, se generará gran cantidad de humo, a medida que el fuego se va desarrollando rápidamente en el vehículo. Cualquier retraso en la localización de un incendio dentro de una cubierta con vehículos conducirá sin duda a que el fuego se extienda a otros combustibles y a la propagación del incendio, hasta el punto, que será muy difícil extinguirlo, debido a los recursos limitados que se tiene a bordo de un buque. (Miller, 2022) (Class NK, 2023)

4.5 Protocolo actual para vehículos eléctricos-híbridos

Los protocolos actuales están basados en varias recomendaciones y guías realizadas por los diferentes estamentos del transporte marítimo esas recomendaciones/guías de buenas prácticas no dejan de ser como su propia palabra indica unas recomendaciones o guías, que de momento se carece de un protocolo legislado por la IMO (International Maritime Organization). A continuación, se hace referencia a una serie de guías/recomendaciones, mediante las cuales las navieras están basando sus procedimientos internos, siempre en cumplimiento del sistema de gestión de la seguridad.

4.5.1 Embarque

En este apartado cuando se habla de embarque, se hace referencia a la logística que se realiza antes de embarcar y durante el mismo.

Las navieras deben implementar la autoidentificación de los vehículos antes de embarcar, es decir a la hora que realizan la reserva para ser transportado, ya sea cuando se transporta en buques Ro-Ro / Ro-Ro pax o en buques PCC (Pure Car Carried) o PCTC (Pure Car and Truck Carried), tanto para vehículos nuevos como usados, con esto se pretende tener una identificación de la totalidad de vehículos eléctricos que se van a embarcar. Por otro parte el conductor deberá indicar si el coche tiene alguna deficiencia conocida por el mismo.

De esta manera se podrá realizar una segregación de vehículos, la utilización de marcadores o tarjetas de identificación en estos vehículos es parte de la recomendación, para tener un mayor control sobre ellos, una vez que ya estén estibados a bordo, podremos saber

a qué tipo de vehículo nos enfrentamos en el momento de actuar. (ABS (American Bureau of Shipping), 2023) (EMSA (European Maritime Safety Agency), 2023)

4.5.2 Estiba a bordo

La estiba a bordo se debe realizar de forma que los vehículos queden en zonas donde se encuentren ventilados, o lo más ventilado posible, atendiendo a zonas peligrosas. Otro aspecto es, no estibarlos donde se puedan realizar trabajos en caliente ni cerca de las mercancías peligrosas, debido a que, en caso de incendio, el peligro se multiplica.

En el caso de buques como los PCC o PCTCs la recomendación es que la estiba se realice en un área predeterminada para ello, siendo la primera opción la cubierta a la intemperie (Weather Deck).

Con respecto a los Ro-Ro y Ro-Ro pax, no es necesario tener un área determinado para ello, pero sí que estén identificados, para un mayor control de los mismo. Por operativa es bastante difícil realizar una estiba en un área concreta.

La conexión o carga de los vehículos a bordo no se recomienda, aunque en varias guías, hacen referencia a la carga de vehículos, con unas ciertas directrices como son, que las conexiones sean del propio buque no del usuario, que los puntos de electricidad puedan ser desconectado desde un punto remoto. (ABS (American Bureau of Shipping), 2023) (EMSA (European Maritime Safety Agency), 2023)

4.5.3 Medidas preventivas a bordo

Las medidas preventivas son todas aquellas que se deben aplicar a bordo, con el fin de minimizar riesgos en el transporte marítimo de vehículos eléctricos / híbridos, se ha puesto sobre la mesa la revisión de algunas medidas preventivas, las cuales hasta la fecha no se han tenido en cuenta y empiezan a ser de vital importancia.

La detección temprana de un incidente como puede ser el incendio en un vehículo eléctrico es fundamental. Ya lo era cuando se hablaba de un vehículo de combustión interna, pero en este caso debe ser aún mayor, esto ocurre, como bien se explica en el punto 4.2.2, en cual se describe el término *Thermal Runaway*, no es más que un desbordamiento térmico. Cuanto antes sea detectado, minimizaremos el impacto del posterior incendio. El principal problema en este tipo de situaciones es el aumento excesivo de temperatura y sobre todo la dificultad de reducirla.

Las medidas preventivas son:

- Instalación o mejora del sistema de vigilancia por video (CCTV), para complementar el sistema de detección de incendio en las zonas de carga, si en el punto anterior se comentó que al estibar los vehículos en una zona determinada si eso fuera posible, pues esa vigilancia extra se debe colocar en ese lugar.

- Instalación de cámaras térmicas, es decir, un control de la temperatura zona de carga donde se pueda monitorizar la temperatura, haciendo hincapié en la zona destinada a estos vehículos.

- Mayor vigilancia de las patrullas de seguridad, es decir un aumento o mayor calidad de las rondas de seguridad.

- Dispositivos de imagen térmicos para las patrullas que realizan las rondas de seguridad.

- Formación específica para responder ante un incidente de vehículo eléctrico, añadiendo la capacidad de detección de un vehículo eléctrico, su identificación correcta para una mejor forma de actuar ante ello, hacerlos conocedores de los riesgos de explosión y de liberación de gases tóxicos. Deben tener familiarizaron con humos o calor emitido desde las partes de los vehículos donde están las baterías, sonido de estallidos de las celdas de las baterías por una fuga térmica, el llamado *Popcorn sound*.

- Sistema de diluvio de agua o nebulización para cubrir las zonas de los vehículos eléctricos.

- Aumentar los sistemas de drenaje de las cubiertas, debido a que se necesita una cantidad desmesurada de agua para poder enfriar este tipo de incendios, a parte de un aumento de los drenajes, también unas revisiones periódicas de los mismos, para comprobar su correcto funcionamiento.

- Corte del suministro eléctrico de a bordo, el cual suministra las zonas de carga de camiones o vehículos.

- Punzones para penetrar dentro del vehículo y aplicar el agua directamente dentro del alojamiento de las baterías o del propio vehículo. (ABS (American Bureau of Shipping), 2023) (EMSA (European Maritime Safety Agency), 2023) (Class NK, 2023) (Germanischer Lloyd, 2013)

4.5.4 Procedimiento de actuación en caso de emergencia

Con respecto al procedimiento de actuación debemos diferenciar las diferentes fases de este, esas fases son:

- Fase 1 Señal de alarma: en esta fase del procedimiento, se ha dado una señal de alarma, ya sea por un tripulante durante la ronda de seguridad o ha sido activado un sensor de calor/humo o llama en este caso se aplican una serie de pasos. Ver tabla 2.

Tabla 2. Fase 1 Señal de alarma

	Instrucciones
Riesgo de Incendio	<ul style="list-style-type: none">• Confirmar el tipo de vehículo que es, con esto se hace referencia a identificar si es un vehículo eléctrico o híbrido• Comprobar mediante una cámara térmica y comprobar la atmósfera con un detector• En caso de no poder acceder hasta el lugar, busque un lugar alternativo e informe al puente• La tripulación que no tenga protección debe mantener una distancia de un vehículo aproximadamente• Acercarse en caso de siempre velando de donde viene el aire para ponerse en el mismo sentido, nunca en sentido contrario puede ocasionar un peligro grave• Poner la extracción o informar para, intentar extraer el humo en la medida de lo posible• Evacuar el espacio de carga, si hay pasajeros o tripulantes sin equipamiento• Acudir con un extintor para aproximarse• Las patrullas / Brigadas contra incendios deben estar preparándose

NOTA: Instrucciones Fase 1 procedimiento de actuación en caso de emergencia con Vehículos Eléctricos / Híbridos

- Fase 2 Primera respuesta elemental: en esta fase la intención es obtener una respuesta lo más rápido posible ante un suceso menor o inicial por parte de los tripulantes que todavía no se encuentran equipados. Ver tabla 3.

Tabla 3. Fase 2 Primera respuesta elemental

	Instrucciones
Primera Respuesta Elemental	<ul style="list-style-type: none">• Si un vehículo eléctrico que se está cargando está en peligro detenga la carga, también si se encuentra cerca del peligro• Si se produce un conato, que no afecta a la batería de un vehículo eléctrico aplique un extintor• Si la situación afecta a un vehículo eléctrico, detenga la carga eléctrica de toda la zona, es decir de la cubierta• Si se detecta rápidamente que es un desbordamiento térmico (Thermal Runaway), considere que la zona no es segura• En cuanto detectamos que la zona no es segura, nos dirigimos a una zona segura y esperamos instrucciones.• A la espera de las patrullas / Brigadas contra incendios

NOTA: Instrucciones Fase 2 Primera Respuesta Elemental procedimiento de actuación en caso de emergencia con Vehículos Eléctricos / Híbridos,

Fase 3 Extinción del Incendio: fase en la cual se describirán la forma de actuar de en caso de un incendio, describiendo tanto los pasos generales para cualquier vehículo, como las particularidades para los vehículos eléctricos /híbridos. Ver tabla 4.

Tabla 4. Fase 3 Extinción de incendio

	Instrucciones
Extinción de Incendio	<ul style="list-style-type: none">• Activar los sistemas fijos, sprinklers, drencher, etc.• Movilizar a las patrullas C.I al lugar del incendio• Activar la ventilación y los dámperes en modo incendios, evacuando los gases en primera instancia si es posible, a continuación, cortando el suministro de oxígeno para intentado quitarle alimentación al fuego• Enfriar los límites del fuego para acotar su expansión.• Vigilar el desarrollo del incendio teniendo en cuenta el tipo y la ubicación del mismo, las temperaturas, su evolución, las condiciones de humo y las condiciones de estabilidad.• Si se observan signos significativos de bajada de la temperatura en los espacios adyacentes durante una 1 hora, hay que ir a graduar la estrategia.• Si se observan signos significativos de deterioro y crecimiento incontrolado del fuego, por ejemplo, en la segunda cubierta, se debe empezar a considerar el abandono del buque.

NOTA: Instrucciones Fase 3 Extinción del Incendio procedimiento de actuación en caso de emergencia con Vehículos Eléctricos / Híbridos.

En el caso de vehículos eléctricos se ha de tener en cuenta una serie de medidas tanto en el momento de la extinción del incendio como del enfriamiento de este o de la zona. (ABS (American Bureau of Shipping), 2023) (EMSA (European Maritime Safety Agency), 2023) (Class NK, 2023)

4.6 Análisis y discusión

4.6.1 Análisis de las limitaciones y deficiencias del protocolo actual

En este apartado, con los resultados expuestos anteriormente, realizaremos un análisis exhaustivo de las limitaciones y deficiencias del protocolo actual.

El protocolo actual se divide en varios apartados que podemos denominar escenarios. Estos escenarios son:

- Embarque: en este escenario nos encontramos que el protocolo actual, se ha realizado en base a un tipo de embarque que no caza del todo con lo que pueden suponer

los embarques en buques Ro-Ro pax actuales, donde los tiempos de carga y descarga son mínimos. La dinámica que actualmente se está realizando puede impedir realizar esa segregación, debido muchas veces a la extensión de terreno que se tiene en el puerto, puede que no sea la adecuada. Por otro lado, la llegada tardía de los vehículos y los tiempos mínimos de carga, lo hacen prácticamente inviable. En cuanto a las tarjetas de identificación sería una buena manera de tener localizado el vehículo en todo momento, ayudando a saber cómo actuar ante una emergencia.

- Estiba a bordo: Con respecto a este escenario y la implementación del protocolo actual. Hago hincapié en que en gran medida los protocolos no corresponden con la realidad, en este caso, en concreto con los buques Ro-Ro pax, cuando se habla de una estiba a bordo segregada, reiterando en que es prácticamente imposible, debido a que puede llegar el momento en el cual, con la evolución de hoy en día puedes tener veinte vehículos eléctricos que pueden ser diferentes, a que llamamos diferente, pues tres camiones híbridos, dos cabezas tractoras híbridas, ocho furgones eléctricos, con esta carga, existe el hándicap, puesto que los buques dispones de espacios de carga, en los cuales, las alturas y dimensiones varían, por lo tanto no podrás tener una segregación completa. Por otra parte, las cubiertas ventiladas, hoy en día es una práctica normal de este tipo de buques, con lo cual esa recomendación-directriz se puede dar como aplicada. La recarga de baterías de estos vehículos a bordo es 100% No recomendable, por la sencilla razón de que cargando aumentamos los riegos, derivados de los mismo, dado que los trayectos suelen ser relativamente cortos en este tipo de buques, aparte de que el vehículo no debería descargar sus baterías durante el trayecto.

- Medidas preventivas a bordo: en este apartado existen unas mejoras considerablemente buenas. Como son las cámaras térmicas en la cubierta de carga, mejorar la realización de las rondas de seguridad en el garaje, añadiendo cámaras térmicas a los tripulantes que las realizan. Los Circuitos cerrados de televisión, son una mejora considerable que debe ser implementada, no solo para el control de estos vehículos, sino por mantener una seguridad integral. Pero si analizamos en profundidad este apartado, el equipamiento de punzones, no es para nada efectivo, debido a que las patrullas en una emergencia, es decir, con un incendio en este tipo de vehículos no se pueden acercar lo suficiente para hacer uso de este, debemos ser consciente que los miembros de estas patrullas no son bomberos, por lo tanto, no es para nada efectivo.

- Procedimientos de actuación: este escenario está dividido como cualquier procedimiento en fases o puntos. La primera fase y siendo críticos, el procedimiento que se ha realizado, es general, con unas carencias, las cuales se ven reflejadas en que, avisar al puente antes de actuar no es lo más efectivo. Hablamos de procedimiento de actuación

cuando hay una emergencia, y si se habla de emergencia se habla de tiempo de actuación, es decir, más rápido se actúe, minimizaremos daños. Con ello debemos saber que lo primero es, actuar, en este caso cuando se detecta, debemos actuar en primera instancia con el extintor y avisar al puente, por otra parte, los demás miembros de la tripulación que están a la escucha deben de ir yendo a las estaciones C.I o dando apoyo de inmediato a este tripulante que lo ha detectado, con el objetivo de minimizar tiempos, para cuando sean avisados, ya hemos ganado tiempo.

Se debe tener en cuenta que los humos y gases pueden afectar a la hora de actuar.

Con respecto a la segunda fase del procedimiento de actuación, carece igualmente de celeridad, si aplicamos bien la primera fase, y ganamos ese tiempo, por mínimo que sea, ya podremos estar más cerca de actuar con seguridad. Con respecto a la medida de desconectar la corriente en caso de estar cargándose los vehículos, esta medida debería estar en la primera fase, nada más ser informado el puente de que hay una emergencia se desconectan automáticamente todos los vehículos, con ello vamos evitando posibles complicaciones a posterior.

En la tercera fase, se vuelve a cometer mismo error, las patrullas ya deben estar actuando, no movilizarlas en esta fase, ya deben de estar en el lugar, y actuado, aunque solo sea con una manguera de momento, en lo que se equipan todos los miembros. Otra puntualización es con respecto a los drencher o sprinklers, ya deberían de estar activos, por lo menos en las zonas adyacentes para intentar mantener un perímetro definido del incendio.

Las demás medidas en esta fase están acorde a el momento en el que se encuentra el incendio.

4.6.2 Desarrollo de recomendaciones y propuestas de mejora

A partir de la realización de un análisis de los resultados, se pueden obtener una serie cambios operativos para minimizar al máximo los riesgos derivados.

Dado que los vehículos eléctricos son de momento minoría, frente a los de combustión interna, y se encuentran en desarrollo tecnológico continuo, los datos que se manejan son limitados. Aun así, la lucha para minimizar riesgo a la hora de transportarlos no puede basarse en lo limitado de los datos y mirar un poco más allá.

Las recomendaciones y propuestas de mejora comienzan por el escenario de los embarques, observando las deficiencias detectadas, se proponen varias mejoras.

- Embarque, hoy en día estamos en una época tecnológicamente evolutiva por la cual podemos, apoyarnos en ello para mejorar. La propuesta es de insertar, de manera que los

clientes cuando realicen una reserva de un billete, ya sea mediante la página web, en ventanilla, a través de un centro de atención telefónica, etc., permita seleccionar si es su vehículo es eléctrico / híbrido o no, en caso de ser afirmativo, se realice una aceptación de términos. Que no es más que una declaración de responsabilidad en la que se acepte que el vehículo está en perfectas condiciones de uso, que no tiene daños conocidos y que tiene un nivel de carga adecuado para realizar la maniobra de entrada y salida del buque sin problema. Con esta medida ya sabremos cuantos vehículos transportamos eléctricos/híbridos. Con esta medida podemos conseguir la identificación de que tipo de vehículos es, a la llegada al embarque, con la lectura de su DNI o con su billete en mano. Pudiendo colocar una identificación, la cual se colocará, por parte del operario que realice el control, para tenerlos en todo momento vigilados a bordo. En caso de actuar de mala fe a la hora de realizar la reserva, y no seleccionar lo de vehículo/híbrido, se procederá a no embarcar ese vehículo en el buque.

- Estiba a bordo, este apartado es el más complicado de pulir. En los protocolos actuales se habla de una segregación, es verdad, que en buques Ro-Ro pax, es casi imposible, como bien se ha dicho anteriormente, los buques no disponen ni del espacio adecuado ni de una operativa asequible para ello. La viabilidad de esta propuesta pasa por la limitación de los vehículos a la hora de ser transportados, es decir limitar el número, medida por la cual las navieras no estarían nada de acuerdo, debido a que verían mermado sus ingresos. Cuando hablamos de buques PCC (Pure Car Carrier) o PCTC (Pure Car and Truck Carrier), en este tipo de buques si es viable. Ya que estos buques disponen de todo lo contrario a los buques Ro-Ro pax, tanto por dimensiones como por los timing operativos. La mejora que se ha podido afinar. Viene dada por el apartado anterior, si los vehículos van identificados, pues se podrían colocar con una mayor distancia ante los otros vehículos. No es una segregación sino, por ejemplo, si hay un vehículo eléctrico-híbrido, y tres vehículos de combustión interna, que normalmente la distancia entre ambos es de treinta centímetros, se podría dar entre ochenta y cien centímetros. Con ello lo que conseguimos que en caso de emergencia el acceso a estos vehículos es más rápido y fácil. A parte conseguimos tenerlos a una distancia de los demás vehículos. Pero siendo muy críticos, es una mejora muy debido volátil, solo se podría hacer en momentos que las pautas de carga son bajas.

- Medidas preventivas a bordo, en este escenario de debe abogar por una mejora sustancial de los medios técnicos para combatir las emergencias. Se propone, como mejora, la adquisición de agentes de extinción F-500, el cual se ha comprobado que tiene una efectiva alta ante los incendios en baterías de iones de litio. Este agente extintor, es agente multifuncional, su utilización está basada en la reducción de la tensión superficial, actuando como un inhibidor de la reacción en cadena, absorbiendo la energía de los radicales libres.

Es treinta veces más pesado que el agua, de así su efectividad. Con este agente extintor reduce enormemente la combustión, sumada a una reducción de forma considerable la temperatura en poco tiempo. Con ello conseguimos que, con menos agua y añadiendo este agente extintor, reducimos temperatura rápidamente y necesitaríamos menos agua.

Por otra parte, los CCTV (Closed-circuit Television), son una gran herramienta, pero se propone la mejora de los mismo. Para mejorar los CCTV se debe aplicar la IA (inteligencia artificial). Esos algoritmos pueden hacer que en función de los detectores que se activen, las cámaras enfoquen automáticamente, y salte una señal en el monitor, a esto podemos añadirle las cámaras térmicas, y enseñar al sistema, que cuando detecte en alguna zona, que la temperatura sube hasta el rango que nosotros le tengamos marcado, active una señal de alarma en el monitor. Se lograría es un mayor control de la situación de las cubiertas de carga, ya que la detención temprana de un incendio es parte fundamental del mismo. (DBI Fire and Security, 2021)

- Procedimiento de actuación en caso de emergencia, en este apartado más que en las fases de actuación, nos centraremos en los medios de actuación, los cuales se debe realizar un análisis profundo de los mismo, aunque también realicemos puntualizaciones en la algunas de las fases.

En cuanto a los medios de actuación debemos destacar, que los sistemas de hoy en día para la actuación son:

El sistema de agua nebulizada de baja presión, son unas boquillas que realizan la neblina de agua, creando micropartículas de agua. Las cuales son extremadamente eficaces para reducir en poco tiempo la temperatura del exterior, acotando las zonas calientes de las colindantes. Su instalación en las cubiertas de carga supondría una mejora considerable a la hora de atacar los incendios provocados por vehículos eléctrico-híbridos. (DBI Fire and Security, 2021)

El raíl con cortina de agua es un raíl como su propio nombre indica, el cual en uno de sus extremos está cerrado y en el otro está conectado a una manguera C.I., por el cual le suministraremos agua. En ese raíl irán acoplado boquillas pulverizadoras de agua (boquillas tipo drencher) a lo largo del mismo a una distancia más-menos de treinta centímetros, con un ángulo de 45° con respecto a la horizontal, este equipo se metería debajo de los vehículos, para que realice un enfriamiento a la zona baja del coche, donde normalmente se alojan las baterías. Este equipo debe ser colocada debajo del coche sin presión de agua y con una lanza de acero para poder ser colocada de manera correcta. (DBI Fire and Security, 2021)

Por último, las mantas ignífugas pueden ser una solución, que, en combinación con otros medios, dan un resultado óptimo. Pueden ser utilizadas en los vehículos adyacentes

para evitar la propagación de las llamas. Con ello evitamos el trasvase de calor, dejando el incendio localizado sin poder extenderse a las adyacentes, ganando tiempo a que las patrullas C.I, lo extingan. Y por otra parte también se puede utilizar en el vehículo que esta incendiado, con la dificultad que con lleva el acercarse para poder cubrirlo, el resultado que se quiere conseguir haciendo esta maniobra es el de evitar que el incendio se propague más y contenerlo en el mismo sitio hasta que se consuma. (DBI Fire and Security, 2021) (Class NK, 2023)

En cuanto a las fases podemos añadir como mejora sustancial, la celeridad a la hora de actuar es primordial en caso de las emergencias. Es el único factor que puede cambiar la dinámica del mismo. Por ello en la *Fase 1* (Ver Tabla 2), se propone, la actuación del tripulante que acude a verificar, que acuda con un extintor, avisando al puente en el mismo momento que va a actuar o que ya está actuando, los miembros de las patrullas que están a la escucha ya debe de ir preparando mangueras y otros acudiendo a las estaciones C.I., aunque al final no sea más que algo insignificante, hemos ganado tiempo que se traducirá en efectividad. Por otra parte, la identificación de un vehículo híbrido o eléctrico debe ser inmediata, para proceder de manera de acorde a la emergencia. En la *Fase 2* (Ver Tabla 3), ya deben estar las patrullas equipadas en la zona, con el añadido de coger los equipamientos específicos para este tipo de incendios, los que se han nombrado en los párrafos anteriores, para su colocación inmediata y activación.

5. Conclusiones

Por medio de este Trabajo de Final de Master, realizando una investigación de la actualidad del transporte marítimo, en este caso en buques Ro-Ro pax, se concluye haciendo una crítica constructiva, que parte de la base que el transporte marítimo de carga rodada está en una fase de cambio significativo, en la próxima década.

Este estudio se puede observar que tenemos un problema más grave del que creemos tener. Las preguntas planteadas al principio, de que, si están preparados nuestros buques para transportar este tipo de vehículos, si somos conscientes de los riesgos que conllevan o si son iguales los vehículos de combustibles fósiles que los eléctricos - híbridos, queda bastante claro que NO.

En primera instancia se ha realizado un acopio documental de la actualidad, con la obtención de unos resultados, que se han plasmado, eso ha acarreado un análisis con una discusión de estos, donde se pueden observar deficiencias y posibles mejoras de los protocolos actuales analizados. Esto no es más que un granito de arena ínfimo de lo que supone esta problemática.

Como bien se hace referencia en esta investigación, las soluciones pasan por involucrarse las autoridades marítimas, sociedades de clasificación, navieras, empresas proveedoras de material de seguridad, departamentos de I+D+I, sector de automóvil, todos ellos deben de trabajar en armonía aportando pequeñas soluciones teniendo como fin llegar a resolver el este impasse.

Como todos sabemos en el mundo marítimo las grandes medidas aparecen con grandes accidentes, de momento los accidentes han sido entre 5-7 en una escala de 10, pero si no se toman medidas, podremos hablar entre 9-10, en un espacio de tiempo relativamente corto.

6. Bibliografía

- ABS (American Bureau of Shipping). (septiembre de 2023). *BEST PRACTICES FOR THE TRANSPORT OF ELECTRIC VEHICLES ON BOARD VESSELS*. Obtenido de , <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/advisories-and-debriefs/best-practices-transport-electric-vehicles-board-vessels.pdf>
- CFIS 2023. (2023). *Lash Fire EU*. Recuperado el Octubre de 2023, de <https://lashfire.eu/#:~:text=lashfire.eu%20%7C%20Legislative%20Assessment%20for,in%20Ro%2DRo%20Ship%20Environment&text=LASH%20FIRE%20is%20an%20in,ternational,2019%20to%20E2%80%8B%20August%202023>.
- Class NK. (2023). *Safety Measures for Maritime Transportation of Electric Vehicles (Edition 1.0)*. Recuperado el septiembre de 2023, de https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/ev_carriage_safety/gl_ev_carriage_safety_e202308.pdf
- DBI Fire and Security. (2021). *The ELBAS Project*. Recuperado el octubre de 2023, de [https://brandogsikring.dk/files/Pdf/FogU/ELBAS/DBI%20ELBAS%20Report%20-%20Full%20Final%20\(rev.%201\).pdf](https://brandogsikring.dk/files/Pdf/FogU/ELBAS/DBI%20ELBAS%20Report%20-%20Full%20Final%20(rev.%201).pdf)
- EMSA (European Maritime Safety Agency). (septiembre de 2023). *Guidance on the carriage of AFVs in RO-RO spaces*. Obtenido de <https://www.emsa.europa.eu/afv.html>
- Germanischer Lloyd. (diciembre de 2013). *Study on fire in connection with the transport of vehicles with electric generators or electrically powered vehicles on ro-ro and ro-ro pax ships*. Recuperado el octubre de 2023, de <https://maritimesafetyinnovationlab.org/wp-content/uploads/2021/12/BMBVS-Study-on-fire-safety-in-connection-with-the-transport-of-vehicles-with-electric-generators-or-electrically-powered-vehicles-on-ro-ro-and-ro-pax-ships-2013.pdf>
- IATA. (2021). *Safety Risk*. Recuperado el 2023, de <https://www.iata.org/en/programs/safety/safety-risk/>
- Imad, T. (abril de 2023). *The carriage, stowage, and safety of electric vehicles*. Recuperado el septiembre de 2023, de <https://safety4sea.com/cm-the-carriage-stowage-and-safety-of-electric-vehicles/>
- Lepic, B. (septiembre de 2023). *IUMI publishes guidelines for safe sea transport of electric vehicles*. Recuperado el octubre de 2023, de , <https://splash247.com/iumi-publishes-guidelines-for-safe-sea-transport-of-electric-vehicles/>
- Lorenzo, J. C. (agosto de 2023). *Coches eléctricos, una maldición para el transporte marítimo. Acontecer marítimo-destacados*. Recuperado el agosto de 2023, de <https://www.puentedemando.com/coches-electricos-una-maldicion-para-el-transporte-maritimo/>
- Maritime and Coastguard Agency. (agosto de 2023). *Guidance MGN 653 (M) Amendment 1 electric vehicles onboard passenger roll-on/ roll-off (ro-ro) ferries*. Recuperado el septiembre de 2023, de <https://www.gov.uk/government/publications/mgn-653-m-amendment-1-electric-vehicles-onboard-passenger-roll-onroll-off-ro-ro-ferries>

- Miller, T. (2022). *Lithium batteries whitepaper*. Recuperado el octubre de 2023, de <https://maritimesafetyinnovationlab.org/wp-content/uploads/2022/11/Lithium-Batteries-White-Paper-November-2022.pdf>
- MINISTERIO DE ASUNTOS EXTERIORES, UNIÓN EUROPEA. (junio de 2022). *Enmiendas de 2020 al Código marítimo internacional de mercancías*. Recuperado el septiembre de 2023, de <https://www.boe.es/boe/dias/2022/06/24/pdfs/BOE-A-2022-10449.pdf>
- Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. (Septiembre de 2023). *SOLAS Edición consolidada 2020*. Obtenido de [https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/marima_mercante/normativa-maritima/convenios/1_solos_consolidado_2020_\(v.2021\).pdf](https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/marima_mercante/normativa-maritima/convenios/1_solos_consolidado_2020_(v.2021).pdf)
- National Transportation Safety Board. (junio de 2020). *Fire aboard Roll-on / Roll-off Vehicles Carrier Hoegh Xiamen*. Recuperado el septiembre de 2023, de <https://maritimesafetyinnovationlab.org/wp-content/uploads/2022/02/NTSB-Hoegh-Xiamen-Fire-CTL-June-2020.pdf>
- Schuler, M. (agosto de 2023). *Fire Out On Fremantle Highway Gcaptain*. Recuperado el octubre de 2023, de <https://gcaptain.com/fire-out-on-fremantle-highway/>
- Verona, A. S. (junio de 2022). *Coches Eléctricos ¿ un peligro para las navieras ?* Recuperado el octubre de 2023, de <https://www.gacetanautica.es/noticias/coches-electricos-un-peligro-para-las-navieras>

Permiso de divulgación del Trabajo Fin de Máster

El alumno **Juan Jesús Marrero García**, autor del trabajo final de Máster titulado “**Transporte de Vehículos Eléctricos-Híbridos en Buques Ro-Ro Pax**”, y tutorizado por el/los profesor/es **Rodolfo Augusto Oval García**, a través del acto de presentación de este documento de forma oficial para su evaluación (registro en la plataforma de TFM), manifiesta que **NO PERMITE** la divulgación de este trabajo, una vez sea evaluado, y siempre con el consentimiento de su/s tutor/es, por parte de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, del Departamento de Ciencias de la Navegación y de la Universidad de La Laguna, para que pueda ser consultado y referenciado por cualquier persona que así lo estime oportuno en un futuro.

Esta divulgación será realizada siempre que ambos, alumno y tutor/es del Trabajo Final de Máster, den su aprobación. Esta hoja supone el consentimiento por parte del alumno, mientras que el profesor, si así lo desea, lo hará constar en futuras reuniones, una vez finalizado el proceso de evaluación del mismo.

Nota: Este documento será obligatorio presentarlo como última hoja del documento final del TFM.