



**Universidad
de La Laguna**

INVESTIGACIÓN DEL DAÑO DE LAS BATERÍAS DE LITIO EN BUQUES MERCANTES

Trabajo Fin de Grado
Grado en Náutica y Transporte Marítimo
Julio de 2024

Autor:
Javier Dóniz Rodríguez
43835116Z

Tutor:
Prof. Dra. D^a. Beatriz Añorbe Diaz

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

D^a. Beatriz Añorbe Díaz, Profesora del área de conocimiento de Química Orgánica, perteneciente al Departamento de Química Orgánica de la Universidad de La Laguna:

Expone que:

D. **Javier Dóniz Rodríguez** con **DNI 43835116Z**, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: **Investigación del daño de las baterías de litio a bordo de los buques mercantes**.

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 11 de julio de 2024.

Fdo.: Beatriz Añorbe Díaz.

Director del trabajo.

Dóniz Rodríguez, J. (2024). Investigación del daño de las baterías de litio a bordo de los buques mercantes. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

RESUMEN

El siguiente trabajo de fin de grado ha sido elegido debido a la serie de problemas y noticias que han salido en la actualidad con la prohibición de los vehículos eléctricos a bordo de los buques de carga rodada de algunas de las navieras de nuestro país, siendo el título elegido como “ Investigación del daño de las baterías de litio a bordo en buques mercantes” se basa en un enfoque teórico sobre la normativa actual de los sistemas contraincendios para comprender los sistemas contraincendios en los buques mercantes. Previamente, antes de centrarnos en la importancia de los sistemas contraincendios, hacemos una revisión teórica del fuego, sus puntos claves y efectos. Posteriormente se analizarán las regulaciones y funcionamiento existentes de los sistemas contraincendios en la actualidad.

Se investigarán los accidentes marítimos más recientes y de mayor impacto en la actualidad por las baterías de litio a bordo de los buques mercantes. Como también, realizar un estudio perteneciente de cómo es el funcionamiento de las baterías de litio y ver cuáles son sus riesgos.

Abordando la necesidad de explorar las normativas adoptadas y las soluciones técnicas que se están tomando en la actualidad, dónde se proporciona un estudio para tomar mayor conciencia de un tema actual, que se dará en un futuro cercano con la recopilación de datos y hallazgos obtenidos.

El objetivo del proyecto es investigar las medidas efectivas actuales, con el fin de mitigar los riesgos asociados con la presencia de baterías de litio a bordo de los buques mercantes.

Palabras claves: Batería de litio, contra incendios, temperatura y seguridad.

Dóniz Rodríguez, J. (2024). Investigación del daño de las baterías de litio a bordo de los buques mercantes. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

ABSTRACT

The following undergraduate thesis has been selected due to the series of problems and news that have recently emerged concerning the prohibition of electric vehicles on roll-on/roll-off cargo ships of some shipping companies in our country. The chosen title, "Investigation of lithium battery damage onboard merchant ship", is based on a theoretical approach to current fire safety regulations to understand fire suppression systems on merchant ships.

Initially, before focusing on the importance of fire suppression systems, we conduct a theoretical review of fire, its key points, and effects. Subsequently, the existing regulations and the current functioning of fire suppression systems will be analyzed.

The most recent and impactful maritime accidents involving lithium batteries onboard merchant ships will be investigated. Additionally, a study on the operation of lithium batteries and their associated risk will be conducted.

This study addresses the need to explore the regulations adopted and the technical solutions currently being implemented. It provides an analysis to raise greater awareness of a current issue that will become increasingly relevant in the near future, based on the collection of data and findings obtained.

The objective of the projects is to investigate the current effective measure to mitigate the risk associated with the presence of lithium batteries onboard merchant ships.

Keywords: Lithium battery, firefighting, temperature y safety.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia, sin ellos hubiera sido imposible llegar a donde he llegado, porque soy lo que soy, gracias a la educación que he recibido, el cariño y el apoyo constante, hasta en los momentos más complicados para nunca darme por vencido. Y a todas las personas que he conocido y que han formado parte del proceso tanto compañeros como profesores. Muchas Gracias.

Índice del TFG

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | Introducción | 12 |
| 2. | Objetivos | 13 |
| 3. | Metodología | 13 |
| 4. | Normativa Aplicable | 14 |
| 5. | El fuego..... | 17 |
| 5.1. | Puntos claves de la combustión | 18 |
| 5.2. | Límites de inflamación..... | 19 |
| 5.2.1. | Límite Inferior de Inflamabilidad (LII) | 19 |
| 5.2.2. | Límite Superior de Inflamabilidad (LSI) | 19 |
| 5.2.3. | Importancia de los Límites de Inflamabilidad | 19 |
| 5.2.4. | Factores que afectan los límites de inflamabilidad | 20 |
| 5.3. | Tipos de humos..... | 20 |
| 5.3.1. | Formación del Humo | 20 |
| 5.3.2. | Inflamabilidad del humo | 20 |
| 5.3.3. | Efectos Irritantes del humo..... | 21 |
| 5.3.4. | Clasificación de los Tipos de Humo..... | 21 |
| 5.4. | Propagación del fuego (transferencia de calor) | 22 |
| 5.5. | Intensificación del fuego | 23 |
| 5.5.1. | Flashover (Combustión Súbita Generalizada) | 23 |
| 5.5.2. | Backdraft..... | 23 |
| 6. | Sistemas ContraIncendios | 24 |
| 6.1. | Sistemas fijos de detección de incendios y alarmas contra incendios. | 24 |
| 6.2. | Sistemas automáticos Sprinkler | 25 |
| 6.3. | Sistemas rociadores o drencher en zona de carga..... | 27 |

| | | |
|--------|--|----|
| 6.4. | Sistemas de suministro de agua..... | 29 |
| 6.5. | Bombas contra incendios | 32 |
| 6.5.1. | Disposición de las Bombas contra incendios en buques de pasaje | 33 |
| 6.5.2. | Prescripciones relativas al Espacio de la bomba contra incendios de emergencia..... | 33 |
| 6.5.3. | Bombas Adicionales para Buques de Carga. | 33 |
| 6.5.4. | Capacidad de las bombas contra incendios. | 33 |
| 6.6. | Sistemas de dióxido de carbono..... | 34 |
| 6.7. | Extintores Portátiles. | 36 |
| 6.8. | Puertas Contra incendios | 38 |
| 7. | Ventilaciones..... | 40 |
| 7.1.1. | Ventilación Mecánica en Espacios de Carga Cerrados. | 40 |
| 7.1.2. | Ventilación Natural para Mercancías Peligrosas Sólidas a Granel. | 40 |
| 7.1.3. | Ventilación en Espacios con Bombas de Sentinas para Líquidos Inflamables o Tóxicos. | 41 |
| 7.1.4. | Ventilación en Espacios para Vehículos, Categoría Especial y Carga Rodada. | 41 |
| 7.2. | Planos contra incendios. | 41 |
| 8. | Accidentes marítimos por incendios a bordo por baterías de iones. | 43 |
| 8.1. | Baterías de Iones de Litio..... | 44 |
| 8.1.1. | Funcionamiento básico de una Batería | 44 |
| 8.1.2. | Características de una batería | 45 |
| 8.1.3. | Composición y Estructura | 45 |
| 8.1.4. | Mecanismo de Funcionamiento..... | 46 |
| 8.1.5. | Ventajas y desventajas | 47 |
| 8.1.6. | Aplicaciones..... | 47 |
| 8.2. | Peligros y riesgos de las baterías de Litio | 47 |
| 8.2.1. | Formación de Dendritas | 47 |

| | |
|---|----|
| 8.2.2. Sobrecarga | 48 |
| 8.2.3. Descarga Profunda | 48 |
| 8.2.4. Exposición a Altas Temperaturas | 48 |
| 8.2.5. Golpes e Impactos | 48 |
| 8.2.6. Fuga Térmica..... | 48 |
| 9. Medidas y soluciones adoptadas en la actualidad..... | 49 |
| 9.1. Código Internacional de mercancías peligrosas (IMDG)..... | 49 |
| 9.1.1. Clasificación de Baterías de Litio según el Código IMDG..... | 49 |
| 9.1.2. Requisitos Generales para el Transporte | 49 |
| 9.2. Cumplimiento de legislación y códigos internacionales | 51 |
| 9.3. Formación y conocimiento..... | 51 |
| 9.4. Actualización tecnológica y factores humanos | 51 |
| 10. Conclusiones | 52 |
| 11. Conclusions | 54 |
| 12. Bibliografía | 56 |

Índice de Ilustraciones

| | |
|---|----|
| Ilustración 1. Convenio Internacional para la seguridad de la vida en el Mar. Fuente: nauticarobinson.com | 15 |
| Ilustración 2. Código internacional de sistemas de seguridad Contra incendios. Fuente: nauticarobinson.com | 16 |
| Ilustración 3. Triángulo del fuego. Fuente: aelaf.es..... | 18 |
| Ilustración 4. Avisador manual de alarma y Detector de humo. Fuente: Trabajo de campo. | 24 |
| Ilustración 5. Detector de calor y Detector de llamas. Fuente: Trabajo de campo. | 25 |
| Ilustración 6. Rociador automático o sprinkler. Fuente: prosiseco.com..... | 26 |
| Ilustración 7. Boquilla de rociador de garaje o drencher. Fuente: boquillasdeaspersion.es..... | 28 |
| Ilustración 8. Válvula de desahogo o seguridad. Fuente: valnicrom.com..... | 30 |
| Ilustración 9. Conexión internacional a tierra. Fuente: Trabajo de campo..... | 31 |
| Ilustración 10. Sistema de abastecimiento de agua. Fuente: solerprevencion.com..... | 32 |
| Ilustración 11. Bombas contra incendios. Fuente: ingenieromarino.com..... | 34 |
| Ilustración 12. Sistema de CO2. Fuente: costaseguridad.eu..... | 36 |
| Ilustración 13. Tipos de extintores. Fuente: poligonosindustrialesasturias.com..... | 38 |
| Ilustración 14. Puerta contra incendio. Fuente: nauticexpo.es..... | 39 |
| Ilustración 15. Planos contra incendios. Fuente: shutterstock.com..... | 42 |
| Ilustración 16. Incendio M/V Genius Star XI. Fuente: cocheglobal.com..... | 43 |
| Ilustración 17. Incendio del Felicity Ace: Fuente: puentedemando.com..... | 44 |
| Ilustración 18. Principio básico de las baterías de Litio (Reacción Redox). Fuente: es.wikipedia.org..... | 45 |
| Ilustración 19. Funcionamiento de carga y descarga de las baterías de Litio. Fuente: jungheinrich-profishop.es..... | 46 |
| Ilustración 20. Etiqueta clase IMDG Clase 9. Baterías de litio. Fuente: es.m.wikipedia.org..... | 50 |

Índice de Tablas

| | |
|--------------|----|
| Tabla 1..... | 31 |
|--------------|----|

1. Introducción

El presente trabajo de fin de grado se realiza para la culminación del período como alumno del grado de Náutica y Transporte marítimo, perteneciente a la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Sección de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval de la Universidad de La Laguna.

El transporte marítimo ha sido históricamente regulado por normativas estrictas destinadas a garantizar la seguridad de los buques y de su entorno. En este sentido, el Reglamento Internacional para Prevenir los Incendios a Bordo de los Buques (Reglamento SOLAS) se rige como un pilar fundamental en la protección contra incendios en el ámbito marítimo.

Los sistemas de contra incendio desempeñan un papel crucial en la protección de la vida humana y la propiedad a bordo de los buques mercantes, donde el riesgo de incendio puede ser especialmente grave debido a la naturaleza combustibles de los materiales transportados y las condiciones ambientales desafiantes en alta mar. Estos sistemas están diseñados para detectar, contener y extinguir incendios de manera rápida y eficaz, minimizando así el riesgo de daños catastróficos y asegurando la seguridad de la tripulación, la carga y el medio ambiente marino.

Sin embargo, el surgimiento y creciente popularidad de vehículos personales eléctricos como automóviles, patinetes y bicicletas eléctricas, equipados con baterías de litio plantean nuevos desafíos en términos de seguridad a bordo de los barcos. Las baterías de litio, si bien son conocidas por su alta densidad de energía y su capacidad de almacenamiento, también están asociadas con riesgos significativos de incendios y explosión, especialmente de daño o mal funcionamiento.

En este contexto, es imperativo abordar cómo los sistemas contra incendios existentes en los barcos pueden adaptarse para mitigar los riesgos potenciales derivados de la presencia de los vehículos y dispositivos eléctricos con baterías de litio a bordo.

En esta introducción, se explorará las implicaciones del Reglamento SOLAS en relación con los sistemas contraincendios a bordo de los barcos, se examinarán los desafíos específicos planteados por la presencia de vehículos eléctricos con las baterías de litio y analizarán diversas soluciones y consideraciones económicas para abordar estos problemas de manera efectiva y eficiente.

2. Objetivos

El objetivo del proyecto es investigar las medidas efectivas actuales de los sistemas contraincendios a bordo de los buques, con el fin de mitigar los riesgos asociados con la presencia de vehículos personales eléctricos equipados con baterías de litio.

Se busca:

- Analizar las regulaciones existentes, especialmente el Reglamento SOLAS, evaluar su pertinencia y eficacia en abordar los nuevos desafíos de seguridad derivadas de la introducción de vehículos eléctricos en los barcos.
- Investigar las soluciones técnicas disponibles para mejorar la seguridad contra incendios en presencia de baterías de litio, tales como sistemas de detección avanzados, sistemas de extinción especializados y medidas de protección pasiva.

3. Metodología

La metodología utilizada para llevar a cabo el presente trabajo de fin de grado se basa en un estudio sobre los sistemas contra incendios en barcos mercantes.

Se llevará a cabo un análisis del Reglamento SOLAS relacionado con los sistemas contra incendios en el ámbito marítimo. Esta revisión proporcionará un marco teórico sólido para comprender los sistemas contra incendios existentes y las regulaciones vigentes.

Se investigarán los diferentes accidentes y se evaluarán los riesgos asociados que producen las baterías de litio en los coches eléctricos a bordo de un buque mercante, donde se prestará especial atención a los sistemas de detección y extinción de incendios, así como las medidas de protección pasiva.

Se relacionarán casos de estudio específicos que ilustren los problemas y soluciones relacionados con los incendios a bordo causados por las baterías de litio en diferentes vehículos a bordo de los buques mercantes. Se compararán estas soluciones con aquellas utilizadas en otros contextos, como la industria automotriz o aeroespacial, para identificar mejores prácticas y lecciones aprendidas.

Habrà una discusión detallada sobre la viabilidad y eficiencia de las soluciones actuales y enmiendas en relación con los sistemas contra incendios en los buques mercantes y la gestión de riesgos asociados con los vehículos eléctricos. Se considerarán aspectos económicos y medioambientales en la evaluación de las soluciones propuestas. Las conclusiones derivadas de este análisis proporcionarán recomendaciones para mejorar la

seguridad contra incendios a bordo de los barcos mercantes en el contexto de la presencia de vehículos eléctricos.

Esta metodología proporcionará un marco sólido para abordar los objetivos del estudio y responder a las preguntas de investigación planteadas en el índice del trabajo. Además, garantizará un enfoque sistemático y riguroso en la recopilación, análisis y presentación de los datos y hallazgos obtenidos durante la investigación.

4. Normativa Aplicable

El transporte marítimo es uno de los medios de transportes más antiguos y eficientes, ha desempeñado un papel crucial en el comercio global a lo largo de los siglos. Facilitando el intercambio de productos entre países, los buques han movido millones de toneladas de carga en todo el mundo. Sin embargo, esta actividad vital también enfrenta desafíos significativos en términos de seguridad. Las inclemencias del tiempo, los posibles fallos mecánicos y otros riesgos ponen en peligro tanto la vida de las personas a bordo como la seguridad de la carga. Es por ello que se han implementado diversas regulaciones y acuerdos internacionales para garantizar la seguridad en el transporte marítimo.

El Convenio SOLAS, acrónimo de "Safety of Life at Sea" (Seguridad de la Vida Humana en el Mar), es un tratado internacional vital en el mundo marítimo. Es administrado por la Organización Marítima Internacional (OMI) y tiene como principal propósito asegurar la seguridad de la vida humana en el mar y proteger el medio ambiente marino. Desde su origen en 1914, SOLAS ha sido objeto de múltiples revisiones para adaptarse a los avances tecnológicos y los desafíos cambiantes en la navegación marítima. En este apartado, examinaremos las disposiciones fundamentales de SOLAS y su implementación a nivel global, resaltando las normativas esenciales para la seguridad en el mar y la prevención de la contaminación.

El apartado 2 del Convenio SOLAS aborda específicamente la prevención y control de incendios y explosiones en embarcaciones marítimas. Esta sección es crucial para garantizar la seguridad de la tripulación, pasajeros y carga a bordo. Algunos de los aspectos más importantes incluyen:

Requisitos de Construcción: SOLAS establece normas detalladas sobre los materiales de construcción resistentes al fuego, disposición de sistemas de extinción, compartimentación adecuada y diseño de salidas de emergencia para minimizar el riesgo de propagación del fuego.

Equipo Contra Incendios: Se especifican los tipos y cantidades de equipos contra incendios necesarios a bordo, incluyendo extintores portátiles, sistemas de rociadores, detectores de humo y alarmas de incendio, así como la capacitación del personal en su uso adecuado.

Planificación de Emergencias: SOLAS requiere que cada buque tenga un plan de emergencia contra incendios detallado, que incluya procedimientos de evacuación, asignación de responsabilidades del personal y comunicación efectiva durante una situación de emergencia.

Inspecciones y Mantenimiento: Establece la obligación de realizar inspecciones regulares, pruebas y mantenimiento de todos los equipos y sistemas relacionados con la prevención y control de incendios para garantizar su eficacia en todo momento.¹

El código SSCI fue adoptado por primera vez en 1974, como una respuesta directa a una serie de trágicos incendios en buques mercantes que causaron pérdidas humanas y daños materiales significativos. Desde entonces, ha experimentado múltiples revisiones para adaptarse a los avances tecnológicos y las lecciones aprendidas de accidentes pasados. Su implementación es obligatoria para todos los buques mercantes que operan bajo las regulaciones del Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS), siendo un componente fundamental en la garantía de la seguridad marítima a nivel global.

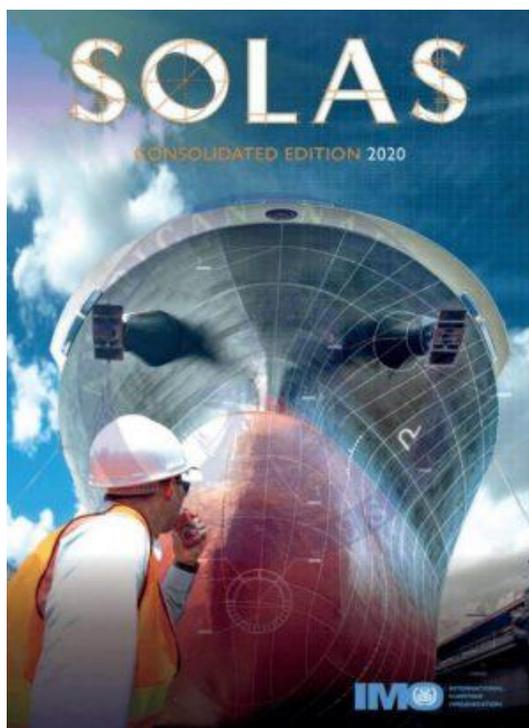


Ilustración 1. Convenio Internacional para la seguridad de la vida en el Mar. Fuente: nauticarobinson.com

El Código Internacional de Sistemas de Seguridad Contra Incendios en Buques Mercantes (Código SSCI) es un conjunto integral de directrices y requisitos establecidos por la Organización Marítima Internacional (OMI) para mitigar y prevenir incendios a bordo de buques mercantes. Este código, que complementa las disposiciones del Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS), establece estándares detallados para el diseño, la instalación y el mantenimiento de sistemas de detección, alarma y extinción de incendios en los buques.

Algunos de los aspectos clave de la normativa aplicable del Código SSCI incluyen:

Requisitos de Construcción: Establece especificaciones para la construcción de sistemas de protección contra incendios, como la resistencia al fuego de los materiales y la disposición de compartimentos resistentes al fuego.

Equipamiento de Extinción: Define los tipos de equipos de extinción de incendios necesarios a bordo, como extintores portátiles, sistemas de rociadores automáticos y sistemas fijos de extinción.

Detección y Alarmas: Establece normas para la instalación y mantenimiento de sistemas de detección de incendios, así como la activación de alarmas para alertar a la tripulación sobre la presencia de un incendio.



Ilustración 2. Código internacional de sistemas de seguridad Contra incendios. Fuente: nauticarobinson.com

Planificación de Emergencias: Requiere la elaboración de planes de emergencia contra incendios detallados, que incluyan procedimientos de evacuación, asignación de responsabilidades y capacitación del personal.

Inspecciones y Mantenimiento: Estipula la necesidad de realizar inspecciones periódicas y pruebas de los sistemas de seguridad contra incendios, así como el mantenimiento adecuado de los equipos para garantizar su funcionamiento óptimo.

La aplicación de las normativas del Código SSCI contribuye significativamente a la protección de la vida humana y la propiedad a bordo de los buques mercantes, promoviendo la seguridad y la prevención de incendios en el ámbito marítimo.²

5. El fuego

La combustión es un proceso físico-químico fundamental que implica la emisión de calor y luz como resultado de una reacción química entre una sustancia combustible y un agente oxidante, generalmente el oxígeno del aire. Este proceso siempre está compuesto de tres elementos esenciales, conocidos como el triángulo del fuego: el combustible, el oxidante y la energía de activación (calor). Sin la presencia de cualquiera de estos componentes, el proceso de combustión no sería posible.

1. Combustible: Es la sustancia que arde en el proceso de combustión. Puede ser en forma sólida, líquida o gaseosa, y su naturaleza varía desde materiales orgánicos como madera y carbón hasta compuestos hidrocarburos como gasolina y gas natural.

2. Oxidante: Es el agente que facilita la oxidación del combustible. En la mayoría de los casos, este agente es el oxígeno presente en el aire. Sin el oxidante, la reacción de combustión no puede proceder, ya que no hay un medio para la transferencia de electrones que resulta en la liberación de energía.

3. Energía de activación (calor): Es la cantidad de energía inicial necesaria para iniciar la reacción de combustión. Esta energía puede provenir de una chispa, una llama, fricción o cualquier otra fuente de calor que eleve la temperatura del combustible a su punto de ignición.

Durante la combustión, el combustible se combina con el oxígeno, liberando energía en forma de calor y luz. Este proceso exergónico es responsable de la producción de energía en diversas aplicaciones, desde la cocción de alimentos y calefacción hasta la generación de electricidad y propulsión de vehículos.

Entender el triángulo del fuego no solo es crucial para controlar y utilizar la combustión de manera eficiente, sino también para la prevención y extinción de incendios, ya que eliminar uno de estos elementos detendrá la reacción de combustión.

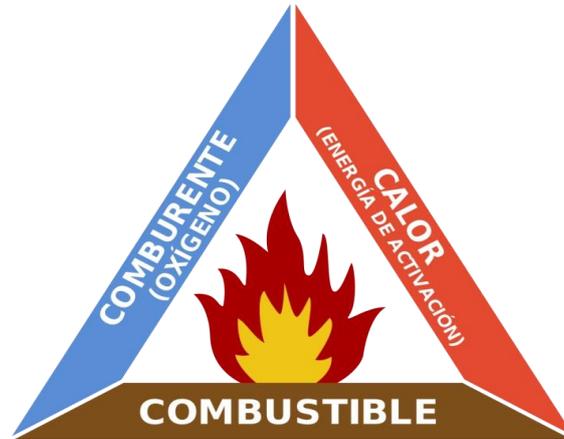


Ilustración 3. Triángulo del fuego. Fuente: aelaf.es.

5.1. Puntos claves de la combustión

Para comprender mejor cómo se inicia y se mantiene una combustión, es importante conocer algunos términos clave que describen las condiciones necesarias para que los combustibles ardan. Estos términos son el punto de inflamación, el punto de fuego, la temperatura de ignición y la ignición espontánea.

- **Punto de inflamación (Flash Point):** Es la temperatura más baja a la que un combustible comienza a liberar vapores inflamables. En este punto, si se aplica una fuente de calor externa, como una chispa o una llama, los vapores se encenderán. Sin embargo, la combustión no continuará una vez que se retire la fuente de ignición. Es decir, aunque los vapores arden momentáneamente, no hay suficiente calor generado para mantener la combustión de manera continua.
- **Punto de fuego (Fire Point):** Es la temperatura a la que un combustible no solo libera vapores inflamables, sino que estos vapores pueden mantener la combustión incluso después de que se haya retirado la fuente de ignición. Esto significa que una vez que los vapores se encienden, la reacción genera suficiente calor para mantener la combustión por sí misma.
- **Temperatura de ignición o auto ignición (Ignition Temperature):** Es la temperatura a la que un combustible puede empezar a arder espontáneamente sin necesidad de una fuente externa de ignición. En otras palabras, a esta temperatura, el propio calor

del combustible es suficiente para iniciar y mantener la combustión. Esta temperatura es generalmente mucho más alta que el punto de inflamación y el punto de fuego.

- **Ignición espontánea:** Es un proceso en el que un combustible se calienta hasta su temperatura de ignición debido a una reacción química interna, sin necesidad de una fuente externa de calor. Esto suele ocurrir en lugares con poca ventilación donde el calor no puede disiparse, lo que lleva a un aumento gradual de la temperatura del combustible. Este proceso puede provocar un incendio si no se controla adecuadamente, ya que la descomposición química genera suficiente calor para que el combustible arda por sí solo.

5.2. Límites de inflamación

El límite de inflamabilidad es un concepto crucial en el estudio de la combustión y la seguridad contra incendios. Se refiere a la concentración mínima y máxima de un combustible en el aire que puede sostener la combustión cuando se le aplica una fuente de ignición. Estos límites son conocidos como el límite inferior de inflamabilidad (LII) y el límite superior de inflamabilidad (LSI), respectivamente.

5.2.1. Límite Inferior de Inflamabilidad (LII)

El LII es la concentración mínima de vapor de un combustible en el aire por debajo de la cual la mezcla no es suficientemente rica para arder. En otras palabras, si la cantidad de combustible en la mezcla de aire es inferior al LII, no habrá suficiente vapor de combustible para sostener una combustión, incluso si se proporciona una fuente de ignición.

5.2.2. Límite Superior de Inflamabilidad (LSI)

El LSI, por otro lado, es la concentración máxima de vapor de un combustible en el aire por encima de la cual la mezcla es demasiado rica para arder. En este caso, hay tanto vapor de combustible que no hay suficiente oxígeno para mantener la combustión.

5.2.3. Importancia de los Límites de Inflamabilidad

Los límites de inflamabilidad son importantes porque determinan las condiciones bajo las cuales un combustible puede arder. Conocer estos límites es esencial para la prevención y el control de incendios, ya que permiten identificar las concentraciones de combustible en el aire que representan un riesgo de incendio o explosión. Además, estos límites son fundamentales en el diseño de sistemas de ventilación, almacenamiento de combustibles y

en la planificación de procedimientos de seguridad en industrias que manejan sustancias inflamables.

5.2.4. Factores que afectan los límites de inflamabilidad

Varios factores pueden influir en los límites de inflamabilidad, entre ellos:

- **Tipo de combustible:** Diferentes combustibles tienen diferentes límites de inflamabilidad.
- **Temperatura y presión:** Los límites de inflamabilidad pueden cambiar con la temperatura y la presión. Generalmente, a mayor temperatura, los límites tienden a expandirse.
- **Presencia de otros gases:** La presencia de otros gases en la mezcla puede alterar los límites de inflamabilidad. Por ejemplo, la adición de gases inertes puede elevar el LII y disminuir el LSI.

5.3. Tipos de humos

El humo es un subproducto visible de una combustión incompleta, donde las pequeñas partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire se hacen visibles y pueden bloquear el paso de la luz. Este fenómeno es común en diversas situaciones de combustión, desde incendios forestales hasta actividades industriales y domésticas. El humo no solo afecta la visibilidad, sino que también puede ser inflamable e irritante, presentando riesgos significativos para la salud y la seguridad.

5.3.1. Formación del Humo

El humo se forma cuando un material combustible no se quema completamente. Durante la combustión incompleta, no toda la energía contenida en el combustible se libera en forma de calor y luz. En cambio, algunas partículas de combustible se evaporan o se descomponen químicamente, creando una mezcla de gases y partículas sólidas suspendidas en el aire. Estas partículas pueden variar en tamaño, composición y concentración, dependiendo del tipo de material que se quema y las condiciones de combustión.

5.3.2. Inflamabilidad del humo

El humo puede ser inflamable si contiene una cantidad suficiente de partículas de combustible y la proporción de oxígeno y calor es adecuada. En estas condiciones, el humo puede encenderse y contribuir a la propagación del fuego. Este aspecto del humo es

particularmente peligroso en incendios cerrados, donde la acumulación de humo puede crear un ambiente altamente explosivo.

5.3.3. Efectos Irritantes del humo

Además de ser un riesgo de incendio, el humo es irritante para los ojos y el sistema respiratorio. La exposición al humo puede causar una serie de síntomas desagradables y potencialmente peligrosos, tales como:

- **Lagrimo:** Las partículas y gases en el humo pueden irritar los ojos, provocando lagrimo y dificultando la visión.
- **Tos:** La inhalación de humo irrita las vías respiratorias, lo que puede desencadenar tos como una respuesta del cuerpo para despejar las vías aéreas.
- **Estornudos:** Las partículas finas y los irritantes en el humo pueden estimular la mucosa nasal, causando estornudos.

5.3.4. Clasificación de los Tipos de Humo

El humo se puede clasificar en diferentes tipos según su origen, composición y características físicas:

- **Humo Blanco:**
 - Generalmente se produce cuando se quema material vegetal verde o húmedo.
 - Contiene vapor de agua y partículas orgánicas finas.
 - Su presencia indica una combustión incompleta con baja temperatura.
- **Humo Negro:**
 - Común en la quema de combustibles fósiles, como el petróleo y sus derivados.
 - Contiene hollín y otras partículas de carbono.
 - Indica una combustión incompleta con alta producción de partículas.
- **Humo Gris:**
 - Resulta de la quema de materiales mixtos, como madera tratada o residuos sólidos urbanos.
 - Contiene una combinación de partículas de carbono, cenizas y otros compuestos químicos.
 - Refleja una mezcla de combustión completa e incompleta.

- **Humo Amarillento:**

- Indica la presencia de compuestos químicos específicos, como el azufre.
- Puede ser altamente tóxico y corrosivo.

5.4. Propagación del fuego (transferencia de calor)

El fuego y el calor pueden propagarse de diversas maneras, afectando cómo se desarrollan los incendios y cómo se deben abordar para controlarlos y extinguirlos. La transferencia de calor es fundamental en este proceso y se puede llevar a cabo de cuatro maneras distintas: conducción, convección, radiación y combustión directa. A continuación, se explican cada una de estas formas de propagación de manera clara:

1. **Conducción (Transferencia de Calor)** La conducción es la transferencia directa del calor a través de materiales sólidos. En este proceso, el calor se mueve desde una parte caliente del material a una parte más fría, propagándose a través de la estructura molecular del material.

Ejemplo: El calor se transfiere a través de mamparos metálicos o planchas de cubierta en un barco. Si una parte del mamparo está expuesta al fuego, el calor puede conducirse a lo largo de la estructura metálica, calentando áreas alejadas del punto de origen del fuego.

1. **Convección (Transferencia de Calor)** La convección es la propagación del calor a través de gases, líquidos o aire caliente. En este proceso, el calor se transfiere por el movimiento de fluidos calientes que transportan la energía térmica de una ubicación a otra.

Ejemplo: El calor que se mueve a través de conductos de ventilación o huecos de escaleras en un edificio. El aire caliente generado por el fuego sube y puede propagarse a otras áreas, llevando consigo el calor que puede encender otros materiales combustibles.

2. **Radiación (Transferencia de Calor)** La radiación es el proceso de transmisión de calor de un cuerpo a otro a través del espacio sin necesidad de un medio material para transferir la energía. El calor radiado no es absorbido por el aire, sino que viaja libremente hasta que encuentra un objeto opaco que lo absorba.

Ejemplo: El calor del Sol que llega a la Tierra. La energía térmica del Sol viaja a través del espacio y calienta la superficie de la Tierra cuando es absorbida.

3. **Combustión Directa** La combustión directa ocurre cuando los materiales combustibles emiten suficientes vapores inflamables para que la combustión continúe tras entrar en contacto directo con una llama. En este caso, el material combustible se enciende y mantiene la combustión por sí mismo.

Ejemplo: La madera seca en una fogata que emite vapores inflamables y se enciende directamente cuando entra en contacto con una llama, manteniendo el fuego sin necesidad de una fuente de calor continúa.

5.5. Intensificación del fuego

La ignición se producirá cuando se combinen los tres componentes esenciales del triángulo del fuego: calor, oxígeno y combustible. El fuego continuará y se intensificará mientras estos tres componentes, junto con un cuarto elemento, la reacción química en cadena, se mantengan presentes, independientemente de la variación en la fuente de combustible.

5.5.1. Flashover (Combustión Súbita Generalizada)

El desarrollo de un fuego en el interior de un compartimento es complejo y está influenciado por muchos factores y variables. Tras la ignición, los mamparos y el techo confinan los gases, que al alcanzar el techo se dispersan hacia el exterior. Si esta combustión lenta persiste, al llegar a una temperatura entre 500°C y 650°C, se producirá la Combustión Súbita Generalizada (CSG), inflamando todos los materiales combustibles del área. Tras un CSG, se libera aún más calor y los gases inflamables que no se hayan inflamado en el área pueden hacerlo, propagando así el fuego. Cuando el combustible se haya consumido, el fuego se reducirá, al igual que las temperaturas.

5.5.2. Backdraft

Un fuego confinado en un compartimento estanco inicialmente se intensificará, pero la falta de oxígeno producirá una acumulación de gases no inflamados, a pesar de estar por encima de su temperatura de ignición. Al permitir la entrada de oxígeno, por ejemplo, al abrir una puerta, la mezcla del aire entrante con los gases calientes de la combustión no inflamada puede provocar una explosión conocida como backdraft.¹⁰

6. Sistemas ContraIncendios

Indicamos que se abordarán algunos de los sistemas contra incendios utilizados para prevenir incendios y para actuar en caso de emergencia. Explorar dispositivos de detección temprana, así como equipos de extinción y control de incendios, destacando su funcionamiento, aplicaciones y normativas asociadas. Estos sistemas son fundamentales para garantizar la seguridad en los barcos modernos y son vitales para la preparación y respuesta efectiva ante situaciones de emergencia por incendios en el entorno marítimo.

6.1. Sistemas fijos de detección de incendios y alarmas contra incendios.

Los sistemas fijos de detección de incendios en buques son dispositivos diseñados para detectar de manera temprana la presencia de fuego a bordo de la embarcación. Estos sistemas constan de una red de detectores distribuidos estratégicamente en áreas críticas del barco, como salas de máquinas, bodegas de carga, cocinas y otras zonas vulnerables.

Los detectores pueden ser de diferentes tipos, como detectores de humo, detectores de calor, detectores de llama o una combinación de estos. Cuando un detector identifica la presencia de humo, calor o llamas, envía una señal a una central de control ubicada en el puente o en otra área designada. Esta central de control activa las alarmas audibles y visuales para alertar a la tripulación sobre la emergencia.

Además de la detección, algunos sistemas fijos de detección de incendios en buques también pueden estar conectados a sistemas automáticos de extinción, como rociadores de agua, sistemas de espuma o sistemas de gas, que se activan automáticamente en caso de incendio para extinguir o contener hasta que la tripulación pueda intervenir.

Estos sistemas son esenciales para la seguridad en el mar, ya que permiten una respuesta rápida y eficaz ante incendios, minimizando el riesgo de daños graves a la embarcación, la carga y la vida humana a bordo.³



Ilustración 4. Avisador manual de alarma y Detector de humo. Fuente: Trabajo de campo.



Ilustración 5. Detector de calor y Detector de llamas. Fuente: Trabajo de campo.

Las regulaciones específicas sobre los sistemas fijos de detección de incendios y alarmas contraincendios en buques, deben cumplir con las siguientes regulaciones:

Ser capaces de detectar rápidamente cualquier inicio de incendio. La ubicación y tipo de detectores serán determinados por la Administración, considerando la ventilación y otro tipo de factores. Después de instalados, deben ser probados y garantizar un tiempo de respuesta satisfactorio.

Los detectores de humo por extracción podrán utilizar un sistema de detección de humo, excepto en los espacios abiertos de carga rodada y los espacios de categoría especial, que cumpla con el Código de Sistemas de Seguridad Contra Incendios (SSCI), como alternativa a los detectores de humo y de alarma contra incendios.

En los espacios de categoría especial se utilizará la vigilancia del marinero de guardia. Si se mantiene una vigilancia efectiva de guardia durante toda la travesía, no será necesario un sistema fijo de detección de incendios y de alarmas contra incendios.

Se instalarán alarmas manuales distribuidas de forma que ninguna esté a más de 20 metros de distancia entre ellas y que haya uno cerca de cada salida. 4

6.2. Sistemas automáticos Sprinkler

El funcionamiento del sistema de sprinklers automáticos contra incendios es relativamente sencillo, pero altamente efectivo en la extinción y control del fuego. Aquí se explica de manera clara:

Detectando el fuego:

- Cuando se produce un incendio, el calor generado eleva la temperatura del ambiente, lo que activa el mecanismo de activación del sprinkler.

Activación del sprinkler:

- Cada sprinkler está equipado con un elemento termosensible, que puede ser un fusible de disparo o un bulbo termosensible.
- En el caso de un fusible de disparo, el calor del fuego calibra la soldadura que mantiene unidas dos placas metálicas. Cuando esta soldadura se funde debido a la temperatura alcanzada, las placas se separan, permitiendo que el agua del sistema de tuberías se libere y rocíe la zona afectada.
- Por otro lado, los sprinklers con bulbo termosensible tienen un bulbo de cristal que contiene un líquido parcialmente lleno. Cuando la temperatura aumenta lo suficiente, este líquido se expande, ejerciendo presión sobre el cristal y eventualmente rompiéndolo. Una vez que el bulbo se rompe, se libera el agua.

Rociado del agua:

- Una vez que se activa el mecanismo, el agua comienza a rociar desde la cabeza del sprinkler hacia la zona afectada por el incendio.
- El deflector ubicado en la parte superior del sprinkler dirige el chorro de agua hacia abajo y lo dispersa en forma de rocío, cubriendo un área más amplia y enfriando el ambiente para extinguir el fuego o controlar su propagación.

En resumen, los sprinklers automáticos contra incendios son activados por el calor generado durante un incendio, lo que desencadena la ruptura de un componente termosensible. Una vez activado, el sprinkler rocía agua de manera efectiva sobre la zona afectada para extinguir o controlar el fuego, ayudando así a proteger vidas y propiedades.⁵



Ilustración 6. Rociador automático o sprinkler. Fuente: prosiseco.com.

El código de sistemas SSCI establece las especificaciones para los sistemas automáticos de rociadores contra incendios en buques, abarcando aspectos técnicos, componentes, instalación, control y pruebas.

- **Ámbito de aplicación:** Especifica los sistemas automáticos de rociadores, detección de incendios y alarmas contra incendios conforme al Convenio SOLAS.
- **Especificaciones técnicas:** Los sistemas de rociadores pueden ser de tuberías llenas o vacías, dependiendo de la aplicación y la evaluación de la Administración.
- Se pueden emplear sistemas equivalentes aprobados por la Administración.
- **Fuentes de suministro de energía:** Se requieren al menos dos fuentes de energía para la bomba de agua y el sistema de alarma, con conexiones independientes y dispositivos automáticos de conmutación en caso de fallo.
- **Prescripciones relativas a los componentes:** Incluyen requisitos para rociadores, tanques de presión y bombas, garantizando resistencia a la corrosión, capacidad de presión adecuada y dispositivos de prueba.
- **Especifica la disposición de las tuberías, válvulas de cierre, válvulas de prueba y conexión al colector contra incendios del buque.**
- **Emplazamientos a los sistemas:** Se detalla la ubicación adecuada de la bomba y el tanque, lejos de áreas de máquinas y protegidos contra incendios.
- **Control del sistema:** Se asegura la disponibilidad y el funcionamiento continuo del sistema, con alarmas visuales y acústicas en caso de activación de los rociadores.
- **Pruebas:** Se deben realizar pruebas para verificar el funcionamiento automático de la bomba en caso de descenso de presión.⁶

6.3. Sistemas rociadores o drencher en zona de carga

Los sistemas de rociadores para garajes, también conocidos como drencher, son una parte vital de los sistemas de protección contra incendios en instalaciones de estacionamiento

Los drencher son sistemas rociadores diseñados para extinguir incendios o controlar su propagación en áreas de garaje. Estos sistemas se activan manualmente cuando se detecta calor o humo, rociando agua sobre el área afectada.

Los componentes típicos de un sistema drencher incluyen rociadores, tuberías, bombas, válvulas, detectores de incendios y sistemas de control. Los rociadores son dispositivos montados en el techo que liberan agua.

Los rociadores se instalan estratégicamente en el techo del garaje para garantizar una cobertura efectiva. La distancia entre los rociadores y el tipo de rociadores utilizados dependen de varios factores, como el tamaño y la disposición del garaje.

El diseño del sistema de rociadores para garajes debe cumplir con las normativas y códigos de seguridad contra incendios locales y nacionales. Esto incluye consideraciones sobre la capacidad de agua, la presión del agua, la distribución de rociadores y la capacidad de la bomba.

Es crucial realizar un mantenimiento regular y pruebas periódicas en los sistemas de rociadores para garantizar su eficacia. Esto puede incluir inspecciones visuales, pruebas de funcionamiento y mantenimiento de registros adecuado. 7



Ilustración 7. Boquilla de rociador de garaje o drencher. Fuente: boquillasdeaspersion.es.

El sistema de rociadores de agua para espacios de carga rodada en barcos es obligatorio y debe cumplir con ciertos requisitos:

Todos los espacios de carga rodada, ya sea abiertos bajo una cubierta o cerrados, pero no herméticamente, deben estar equipados con un sistema fijo de aspersion de agua a presión. Este sistema protege todas las partes de cualquier cubierta y plataforma de vehículos en estos espacios.

El sistema de rociadores debe ser accionado manualmente, aunque la Administración puede permitir otros sistemas fijos de extinción de incendios si se ha demostrado su eficacia en pruebas a gran escala.

En desagües y achiques adecuados para prevenir la formación de superficies libres de agua. Los desagües deben ser capaces de eliminar al menos el 125% de la capacidad de las bombas del sistema de rociadores y del número de hidrantes contra incendios.

Las válvulas del sistema de desagüe deberán poder accionarse desde el exterior del espacio protegido, cerca de los mandos del sistema extintor.

Las sentinas deben tener una capacidad adecuada y estar ubicados en el forro del buque, con una distancia mínima de 40 m en cada compartimento estanco. Si esto no es posible, se debe considerar el efecto adverso en la estabilidad del barco debido al peso adicional y a la superficie libre del agua.

En resumen, el sistema de rociadores de agua para espacios de carga rodada en barcos debe ser activado manualmente, contar con instalaciones de desagüe adecuadas y tener pozos de sentina bien distribuidos para garantizar la seguridad y la estabilidad de la embarcación en caso de incendio. 4

6.4. Sistemas de suministro de agua

Los sistemas de suministro de agua a bordo de los buques son fundamentales para combatir incendios y garantizar la seguridad de la tripulación y la carga. Estos sistemas constan de colectores, bocas contra incendios, bombas y mangueras diseñadas específicamente para este propósito.

Las especificaciones aplicables a estos sistemas son estrictas: se prohíbe el uso de materiales fácilmente inutilizables por el calor, a menos que estén protegidos adecuadamente. Además, se requiere que las tuberías y bocas estén dispuestas de manera que las mangueras puedan acoplarse fácilmente, evitando la posibilidad de congelación. También se instalan válvulas de aislamiento en los ramales del colector para prevenir el uso no autorizado y garantizar el suministro de agua en caso de emergencia.

En los buques que transportan carga en cubierta, las bocas contra incendios se instalan de manera que sean fácilmente accesibles y estén protegidas contra posibles daños causados por la carga. Estas medidas aseguran la efectividad de los sistemas de suministro de agua contra incendios, salvaguardando así la vida humana y la propiedad a bordo de los buques.

Rápida Disponibilidad del Suministro de Agua:

- Buques de Pasaje

Arqueo bruto ≥ 1.000 : Capacidad de lanzar al menos un chorro eficaz de agua desde cualquier boca contra incendios interior, con suministro ininterrumpido de agua mediante la activación automática de una bomba contra incendios.

Arqueo bruto < 1.000 : Activación automática de al menos una bomba contra incendios, o desde el puente de navegación mediante telemando. Mantenimiento permanente de la válvula inferior abierta.

- Buques de Carga

Las medidas serán determinadas por la Administración y garantizarán un suministro inmediato de agua, especialmente en espacios de máquinas sin dotación permanente.

El diámetro del colector contra incendios y las tuberías será suficiente para la distribución del caudal máximo de agua requerido para dos bombas contra incendios funcionando simultáneamente.

Válvulas de aislamiento para separar la sección del colector dentro de donde se encuentran las bombas principales. Válvulas de desahogo para regular la presión del sistema.

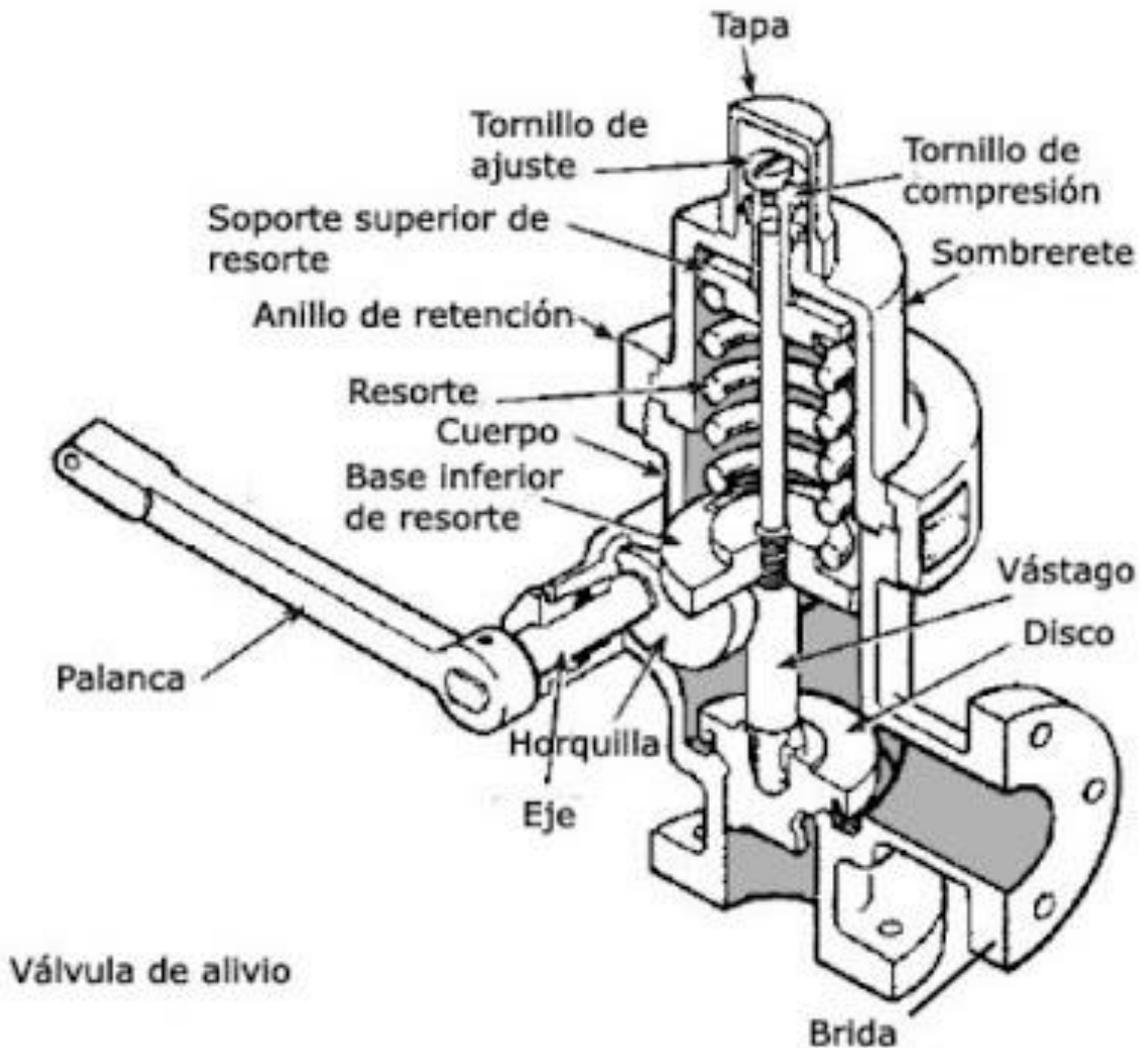


Ilustración 8. Válvula de desahogo o seguridad. Fuente: valnicrom.com.

- Número y distribución de bocas contraincendios:

El número de bocas contraincendios y su distribución, garantizan que al menos dos chorros de agua de diferentes bocas puedan alcanzar cualquier parte del buque o espacio de carga.

Presiones máximas establecidas según tipo y arqueo bruto del buque para asegurar control eficaz de las mangueras.

Presiones máximas establecidas según tipo y arqueo bruto del buque para asegurar control eficaz de las mangueras.

Tabla 1.

| Tipo de Buque | Arqueo Bruto | Presión máxima (N/mm ²) |
|-----------------|--------------|-------------------------------------|
| Buque de Pasaje | ≥ 4000 | 0,40 |
| | < 4000 | 0,30 |
| Buque de Carga | ≥ 6000 | 0,27 |
| | < 6000 | 0,25 |

En ninguna de las bocas contraincendios la presión máxima excederá de aquella a la cual se pueda demostrar que la manguera contraincendios puede controlarse eficazmente.

Los buques de arqueo bruto ≥ 500 deberán tener al menos una conexión internacional a tierra conforme al Código internacional de sistemas de seguridad contra incendios.

Estas disposiciones aseguran la disponibilidad inmediata y eficacia del suministro de agua para combatir incendios a bordo de buques, salvaguardando la vida humana y la propiedad en caso de emergencia. 1



Ilustración 9. Conexión internacional a tierra. Fuente: Trabajo de campo.



Ilustración 10. Sistema de abastecimiento de agua. Fuente: solerprevencion.com.

6.5. Bombas contra incendios

Dentro de los sistemas de seguridad contra incendios, las bombas contra incendios juegan un papel crucial al proporcionar la capacidad de suministrar agua u otros agentes extintores para combatir incendios a bordo. En este contexto, se plantea la posibilidad de utilizar ciertos tipos de bombas sanitarias, de lastre, de sentina y de servicios generales como bombas contra incendios, siempre y cuando cumplan con ciertos criterios de seguridad y funcionalidad. Este enfoque no solo amplía las opciones disponibles para las embarcaciones, sino que también subraya la importancia de adaptar y mantener adecuadamente los equipos a bordo para cumplir con los estándares de seguridad contra incendios marítimos. En este sentido, es esencial comprender las condiciones y requisitos bajo los cuales estas bombas pueden ser aceptadas como componentes de los sistemas contra incendios en el entorno marino.

La normativa establece requisitos específicos para la disposición y capacidad de las bombas contra incendios en buques, con el objetivo de garantizar la efectividad en la respuesta ante incendios a bordo.

6.5.1. Disposición de las Bombas contra incendios en buques de pasaje.

Para buques con un arqueo bruto igual o superior a 1.000, se requiere que, si se declara un incendio en cualquier compartimiento, no todas las bombas contra incendios queden inutilizadas.

Para buques con un arqueo bruto inferior a 1.000 y buques de carga, se debe contar con una bomba contra incendios de emergencia, cuya fuente de energía y conexión al mar estén ubicadas fuera del espacio donde se encuentran las bombas contra incendios principales.

6.5.2. Prescripciones relativas al Espacio de la bomba contra incendios de emergencia.

El espacio que alberga la bomba contra incendios de emergencia no debe estar contiguo a los espacios de máquinas ni a los de las bombas contra incendios principales. Si esto no es posible, se requiere un aislamiento equivalente a las normas de protección contra incendios.

No debe haber acceso directo entre el espacio de máquinas y el espacio de la bomba contra incendios de emergencia, a menos que se utilice una esclusa neumática o una puerta estanca con acceso desde un espacio alejado.

La ventilación del espacio de la bomba contra incendios de emergencia debe evitar que el humo de un incendio en el espacio de máquinas entre en este espacio.

6.5.3. Bombas Adicionales para Buques de Carga.

En los buques de carga, al menos una de las bombas de otros sistemas (servicios generales, sentina, lastre, etc.) debe tener la capacidad de suministrar agua al colector contra incendios.

6.5.4. Capacidad de las bombas contra incendios.

Las bombas deben ser capaces de suministrar un caudal de agua específico para la extinción de incendios, basado en el tamaño y tipo de buque.

Cada bomba individual debe tener una capacidad mínima, calculada según la capacidad total exigida dividida por el número mínimo de bombas requeridas.

Estas regulaciones aseguran que los buques estén equipados con sistemas de bombas contra incendios adecuados y que estos sistemas estén dispuestos de manera que puedan mantenerse operativos incluso en situaciones de emergencia.

Los datos técnicos para los caudales mínimos de las bombas contra incendios están especificados en la normativa de seguridad marítima. Aquí están los valores mencionados:

En los buques de pasaje el caudal que deben evacuar las bombas contra incendios nunca será inferior al caudal que expulsan las bombas de sentina.

En los buques de carga el caudal de agua para las bombas contra incendios no será inferior al caudal que debería evacuar cada una de las bombas de sentina independientes de un buque de pasaje de las mismas dimensiones cuando se utiliza en operaciones de achique. Sin embargo, será necesario que la capacidad total exigida de las bombas contra incendios sea superior a 180 m³/h.

Estos datos técnicos garantizan que las bombas contra incendios tengan la capacidad necesaria para proporcionar un suministro adecuado de agua en caso de incendio a bordo, lo que es crucial para la seguridad de la embarcación y de las personas a bordo. 1



Ilustración 11. Bombas contra incendios. Fuente: ingenieromarino.com.

6.6. Sistemas de dióxido de carbono.

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas eficaz para extinguir incendios debido a su capacidad para desplazar rápidamente el oxígeno del foco del fuego, apagándose instantáneamente. Además, su alta capacidad de absorción de calor ayuda a enfriar el área

afectada, lo que refuerza su efectividad. Los sistemas de extinción de CO₂ tienen una ventaja sobre otros gases inertes, ya que pueden proteger equipos en áreas parcialmente abiertas mediante la creación de una densa nube de aerosol de CO₂ líquido. Las boquillas especiales dirigen el agente extintor directamente al equipo que se quiere proteger.⁸

Los sistemas de dióxido de carbono establecen requisitos para el agente extintor de incendios en espacios protegidos. Se enfoca en la cantidad necesaria de agente, el control de válvulas, la seguridad en la verificación del agente y el cumplimiento de normas para recipientes a presión.

El sistema de tuberías y boquillas para distribuir el agente extintor debe asegurar una distribución uniforme. Los recipientes a presión para almacenar el agente extintor generalmente deben estar fuera de los espacios protegidos, a menos que se autorice lo contrario. Las partes necesarias del sistema deben estar a bordo y satisfacer los estándares de la Administración. Las tuberías cerradas deben tener válvulas de desahogo y terminar en la cubierta. Todo el equipo en espacios protegidos debe ser resistente al calor y tener soporte adecuado. Se debe instalar un accesorio en las tuberías para realizar pruebas de circulación de aire.

Las tuberías deben estar marcadas para indicar a qué espacios llegan y se deben evitar descargas involuntarias en esos espacios. Se bloqueará la conexión de gas en espacios de carga convertidos en áreas para pasajeros. Las tuberías que atraviesan áreas de alojamiento deben ser herméticas y no tener desagües dentro de esos espacios, y no deben pasar por áreas refrigeradas. Se deben proporcionar alarmas audibles y visuales para indicar la descarga de agente extintor en varios espacios, y las alarmas deben ser distinguibles y activarse antes de la descarga. Los controles del sistema deben ser accesibles, fáciles de usar y estar ubicados de manera segura, con instrucciones claras para su funcionamiento con la seguridad del personal en mente.

Las cantidades mínimas de dióxido de carbono requeridas para la protección de diferentes espacios en un buque. En los espacios de carga, la cantidad debe ser al menos el 30% del volumen del espacio de carga. En los espacios para vehículos y carga rodada, debe ser al menos el 45% del volumen, introduciendo al menos dos terceras partes del gas necesario en 10 minutos. En los espacios de máquinas, la cantidad mínima varía según el tipo de espacio, siendo el 40% o 35% del volumen. Las tuberías deben poder descargar el 85% del gas en 2 minutos en espacios de máquinas y al menos dos terceras partes del gas en 10 o 20 minutos en otros espacios, dependiendo del tipo de carga.²



Ilustración 12. Sistema de CO2. Fuente: costaseguridad.eu.

6.7. Extintores Portátiles.

Los extintores de incendios se dividen en varios tipos según el agente extintor que utilizan y la clase de fuego que pueden apagar:

1. Extintores de agua: Son efectivos para fuegos de clase A, que involucran materiales sólidos como madera o papel. El agua absorbe el calor del fuego, reduciendo su temperatura rápidamente. Sin embargo, no deben usarse en presencia de electricidad para evitar riesgos de electrocución.

2. Extintores de polvo: Son versátiles y adecuados para fuegos de clase A, B y C. Son comunes en hogares, oficinas y empresas debido a su amplio espectro de aplicaciones.

3. Extintores de CO₂: Aptos para fuegos de clase A, B y C, son ideales para equipos eléctricos y maquinaria delicada debido a su limpieza y capacidad de sofocación. Es importante evacuar el área después de usarlos para evitar la inhalación de CO₂.

4. Extintores para fuegos especiales: Son los únicos capaces de apagar fuegos de clase D, que involucran metales combustibles. Actúan principalmente por sofocación y, en algunos casos, también absorben calor para enfriar el fuego.

Estas categorías ofrecen una guía clara sobre qué extintor usar según el tipo de fuego y las precauciones necesarias para un uso seguro y eficaz.

Las especificaciones para extintores de incendios y dispositivos lanza espuma portátiles, siguiendo las disposiciones del Capítulo II-2 del Convenio.

Especificaciones para extintores de incendios.

Homologación:

Todos los extintores deben ser de un tipo y proyecto aprobados según las directrices de la Organización Marítima Internacional (OMI).

Cantidad de Agente Extintor:

Los extintores de polvo seco o de anhídrido carbónico deben tener una capacidad mínima de 5 kg.

- Los de espuma deben tener una capacidad mínima de 9 litros.
- La masa de los extintores portátiles no debe exceder los 23 kg.
- La capacidad de extinción debe ser al menos equivalente a un extintor de carga líquida de 9 litros.

Recarga:

Solo se permiten cargas aprobadas para recargar los extintores de incendios.

Especificaciones para dispositivos lanza espuma portátiles

Composición del Dispositivo:

- Consiste en una lanza para espuma/ramal de tubería.
- Debe tener un recipiente portátil con al menos 20 litros de concentrado de espuma.
- Además, debe incluir al menos un recipiente de reserva con la misma capacidad.

Prestaciones del Sistema:

- Lanza / ramal de tubería y el eductor deben producir suficiente espuma adecuada para combatir incendios de hidrocarburos.
- El caudal mínimo de solución de espuma debe ser de 200 litros por minuto a presión nominal en el colector contra incendios.

Aprobación de Concentrados de Espuma:

- Los concentrados de espuma deben ser aprobados por la Administración, siguiendo las directrices de la OM I.

Resistencia y Durabilidad:

- El dispositivo lanza espuma portátil debe estar diseñado para resistir obstrucciones, cambios de temperatura, vibraciones, humedad, choques, golpes y corrosión típicos en entornos marítimos. 2

| CLASES DE FUEGO | | AGENTE EXTINTOR | | | | | |
|---|---|-----------------|-----------|---------------|-----------|-----------|-------------------|
| Identificación | Materiales Combustibles | AGUA | ESPUMAS | POLVO QUÍMICO | | CO2 | POLVOS SECOS ESP. |
| | | | AFFF | Potásico | A B C | | |
|  | Papeles, maderas, cartones, textiles, desperdicios, etc. | SI | SI | NO | SI | NO | NO |
|  | Nafta, gasolina, pinturas, aceites y otros líquidos inflamables | NO | SI | SI | SI | SI | NO |
| | Butano, propano y otros gases | NO | NO | SI | SI | SI | NO |
|  | Equipos e instalaciones eléctricas | NO | NO | SI | SI | SI | NO |
|  | Metales combustibles, magnesio, sodio, etc. | NO | NO | NO | NO | NO | SI |

Ilustración 13. Tipos de extintores. Fuente: poligonosindustrialesasturias.com.

6.8. Puertas Contraincendios

Las puertas cortafuegos marinas son elementos fundamentales en la seguridad de los barcos, diseñadas específicamente para evitar que el fuego y el humo se propaguen dentro de la embarcación. Estas puertas están hechas con materiales resistentes al fuego y se prueban para asegurarse de que puedan resistir el fuego durante un período de tiempo específico. También tienen sellos especiales que se expanden cuando se calientan, creando un sellado hermético para detener la propagación del fuego y el humo. Se instalan en las divisiones internas del barco para evitar que el fuego se propague rápidamente entre las

áreas. Además, estas puertas suelen cerrarse automáticamente en caso de incendio. Es importante que estas puertas sean duraderas y resistentes a la corrosión debido al entorno marino. Están etiquetadas con información sobre su resistencia al fuego y cómo usarlas correctamente durante una emergencia. En resumen, las puertas cortafuegos marinas son vitales para proteger la embarcación y a quienes están a bordo al contener y controlar los incendios.

La normativa establece que, en los buques de pasajeros con más de 36 pasajeros, se requiere un sistema de detección de incendios y alarma, así como un sistema para retener y soltar las puertas contra incendios. Estos sistemas deben ser verificados regularmente para asegurar su correcto funcionamiento, incluyendo las puertas estancas, las puertas contra incendios, las válvulas de mariposa contra incendios y los orificios de entrada y salida del sistema de ventilación.

Además, se requiere un puesto central de control con personal permanente, donde se centralizan los controles e indicadores relacionados con las puertas contra incendios. En este puesto, se deben controlar las alarmas de detección de incendios y tener la capacidad de cerrar las puertas contra incendios y detener los ventiladores de manera remota. El panel de control debe indicar el estado de las puertas, detectores, alarmas y ventiladores, y contar con una fuente de energía de reserva en caso de fallo del suministro principal.

Por lo tanto, la normativa establece las siguientes disposiciones en orden de prioridad:

1. Sistema de detección de incendios y alarma.
2. Sistema de retención y soltura de puertas contra incendios.
3. Verificación del funcionamiento de puertas estancas, puertas contra incendios, válvulas de mariposa contra incendios y orificios de ventilación.
4. Puesto central de control con personal permanente y funciones específicas.
5. Requisitos de alimentación eléctrica para el panel de control y sistema de energía de reserva. 1



Ilustración 14. Puerta contra incendio. Fuente: nauticexpo.es.

7. Ventilaciones

La ventilación en los buques mercantes es crucial para asegurar la salud y seguridad de la tripulación, conservar la carga y prevenir la corrosión.

Los dos tipos más importantes son: la ventilación natural, que depende del diseño del buque y las condiciones externas, y la ventilación mecánica, que utiliza ventiladores para mover el aire de manera controlada.

La ventilación en las bodegas de carga de los buques mercantes es una medida esencial regulada por el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS). Este convenio establece requisitos específicos para garantizar que las bodegas de carga cuenten con una ventilación adecuada para proteger tanto la integridad de la carga como la seguridad de la tripulación.

Según el SOLAS, las bodegas de carga deben estar equipadas con sistemas de ventilación que permitan la entrada y salida de aire fresco, previniendo la acumulación de gases peligrosos, humedad excesiva y calor. Estos sistemas deben ser capaces de operar eficientemente bajo diferentes condiciones de carga y clima, asegurando un ambiente seguro y estable dentro de las bodegas.

Ventilación en Espacios de Carga Cerrados Según el Reglamento SOLAS.

7.1.1. Ventilación Mecánica en Espacios de Carga Cerrados.

Requisitos Generales: Todos los espacios de carga cerrados deben contar con un sistema de ventilación mecánica capaz de realizar al menos seis renovaciones de aire por hora, tomando como referencia un espacio de carga vacío. Esto asegura la eliminación eficiente de vapores desde las partes superiores o inferiores del espacio.

Prevención de Ignición: Los ventiladores utilizados deben estar diseñados de manera que se evite la posibilidad de ignición de mezclas inflamables de gas y aire. Además, las aberturas de entrada y salida del aire en el sistema de ventilación son adecuadas para prevenir cualquier chispa o llama que pudiera entrar o salir del sistema.

7.1.2. Ventilación Natural para Mercancías Peligrosas Sólidas a Granel.

Alternativa a la ventilación mecánica: En los espacios de carga cerrados destinados al transporte de mercancías peligrosas sólidas a granel, cuando no se dispone de ventilación mecánica, debe haber una ventilación natural adecuada. Esto garantiza que haya una mínima circulación de aire para evitar la acumulación de gases peligrosos.

7.1.3. Ventilación en Espacios con Bombas de Sentinas para Líquidos Inflamables o Tóxicos.

Requisitos específicos: Los espacios cerrados fuera de las áreas de máquinas que contengan bombas de sentina para líquidos inflamables o tóxicos deben tener un sistema de ventilación mecánica independiente. Este sistema debe proporcionar airexhora. Si el acceso a estos espacios se realiza desde otra zona cerrada, la puerta de acceso debe ser de cierre automático para evitar la propagación de vapores peligrosos.

7.1.4. Ventilación en Espacios para Vehículos, Categoría Especial y Carga Rodada.

Adecuación de la ventilación: Los espacios destinados a vehículos, espacios de categoría especial y espacios de carga rodada deben contar con una ventilación adecuada. Esto es crucial para manejar los gases y vapores emitidos por los vehículos y equipos de carga, asegurando un ambiente seguro y saludable dentro de estos espacios.

El reglamento SOLAS establece claramente que la ventilación en espacios de carga cerrados debe ser efectiva y segura, con sistemas mecánicos que garanticen múltiples renovaciones de aire por hora y medidas para prevenir la ignición de gases inflamables. Cuando se transportan mercancías peligrosas sólidas a granel y no hay ventilación mecánica, debe haber ventilación natural. Además, los espacios con bombas de sentinas para líquidos peligrosos y los destinados a vehículos y carga rodada deben cumplir con requisitos específicos para asegurar la seguridad a bordo.¹

7.2. Planos contra incendios.

Los planos de lucha contra incendios son esenciales para la seguridad a bordo de un buque, proporcionando información detallada y accesible sobre la ubicación y uso de los medios de lucha contra incendios. Según el Convenio SOLAS, Capítulo II-2, Regla 15.

En un estuche estanco a la intemperie, claramente identificado con "FIRE PLAN", para acceso rápido por parte de los bomberos.

En el puente de gobierno, control de máquinas, control de carga, puestos de control de incendio y cubiertas de acomodaciones.

Cuando el buque está atracado, en el portalón de la escala real o al final de cualquier otra escala de acceso.

Los planos deben mantenerse al día, reflejando cualquier cambio tan pronto como sea posible.

Redactados en inglés o francés, y opcionalmente en el idioma de la bandera del buque.

Disposición de planos de disposición general para orientación de los oficiales.

Equipos de respiración de emergencia ubicados en espacios de máquinas y recorridos de evacuación.

Al menos dos equipos respiratorios de aire comprimido en la estación contra incendios.

Los planos de lucha contra incendios son una herramienta vital para la seguridad marítima. Facilitan la respuesta rápida y eficaz ante incendios, proporcionando a la tripulación y a los bomberos la información necesaria para localizar y utilizar los equipos de extinción, garantizar la evacuación segura y gestionar adecuadamente las emergencias. Su correcta ubicación, actualización y claridad en la redacción son esenciales para la seguridad de todos a bordo.



Ilustración 15. Planos contra incendios. Fuente: shutterstock.com.

8. Accidentes marítimos por incendios a bordo por baterías de iones.

Los incidentes marítimos recientes que involucran incendios de baterías de iones de litio en barcos de carga destacan importantes desafíos de seguridad, aquí se muestran algunos sucesos acontecidos.

Un incidente notable a bordo del Cosco Pacific, en el año 2020. Un incendio inesperado en los contenedores de carga fue causado por la combustión espontánea de baterías de litio mal informadas. China Cosco Shipping identificó que el incendio se originó en un contenedor operado por Wan Hai Lines, el cual contenía baterías de litio falsamente declaradas como piezas de repuesto y accesorios. Estas baterías, cargadas desde Nansha y destinadas a Nhava Sheva, fueron la causa principal del incendio.¹³

Un caso es el incendio a bordo del M/V Genius Star XI en diciembre de 2023. El barco estaba en ruta desde Vietnam a Dutch Harbor, Alaska, cuando se produjo un incendio en sus bodegas de carga que contenían baterías de iones de litio. La tripulación logró extinguir el incendio inicial utilizando el sistema de supresión de incendios de CO₂ a bordo, pero enfrentaron dificultades cuando se desató un segundo incendio, lo que finalmente llevó a la intervención de la Guardia Costera de EE.UU. y la implementación de extensas medidas de seguridad en Dutch Harbor. 11



Ilustración 16. Incendio M/V Genius Star XI. Fuente: coheglobal.com.

Otro incidente significativo y de gran impacto para el mercado marítimo involucró al *Felicity Ace*, que se incendió y se hundió en el Atlántico Norte mientras transportaba casi 4.000 vehículos, incluidos coches eléctricos. Aunque la causa exacta del incendio sigue sin determinarse, el incidente llamó la atención sobre los peligros que presentan las baterías de iones de litio. Estas baterías pueden experimentar un escape térmico, un proceso en el que las reacciones internas causan aumentos rápidos de temperatura, lo que puede llevar a explosiones y graves riesgos de incendio. 12



Ilustración 17. Incendio del Felicity Ace: Fuente: puentedemando.com.

8.1. Baterías de Iones de Litio

8.1.1. Funcionamiento básico de una Batería

El funcionamiento básico de una batería se basa en celdas electroquímicas, que tienen dos electrodos.

El ánodo: En este electrodo ocurre la oxidación (pérdida de electrones).

El cátodo: En este electrodo ocurre la reducción (ganancia de electrones).

Las soluciones en las celdas se conectan mediante un puente salino. Este puente permite el paso de cationes (iones positivos) y aniones (iones negativos).

Movimiento de Iones: Los cationes (como K^+) se mueven hacia el cátodo y los aniones (como Cl^-) se mueven hacia el ánodo para neutralizar las soluciones.

Flujo de Corriente: La corriente eléctrica fluye del ánodo al cátodo debido a la diferencia de potencial eléctrico entre los electrolitos.

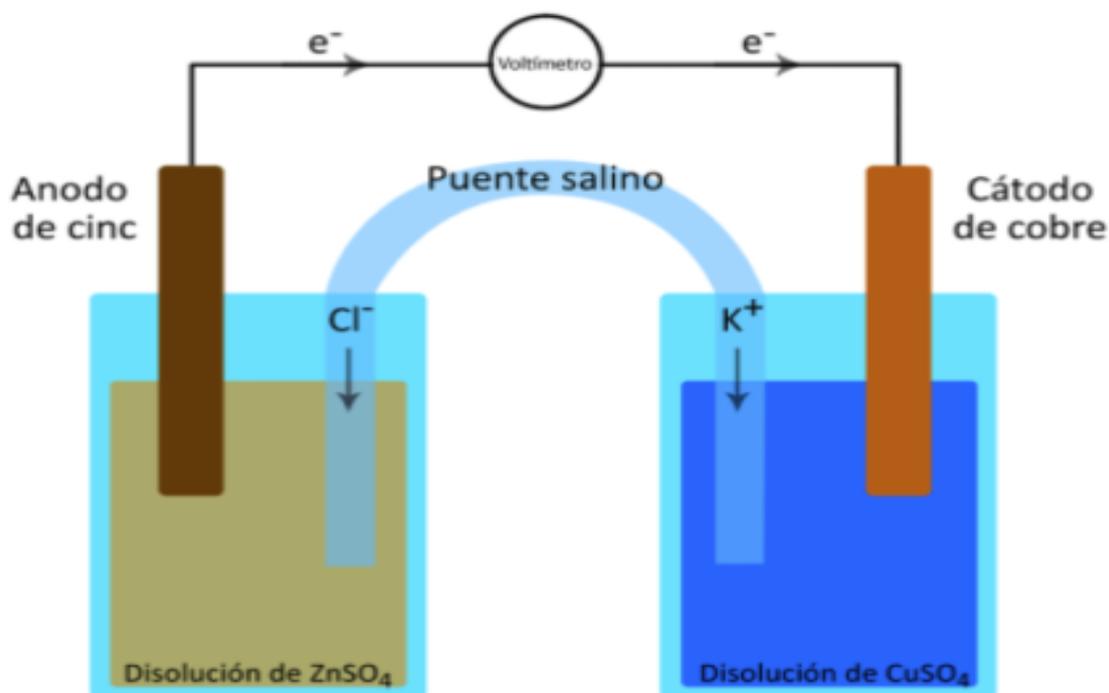


Ilustración 18. Principio básico de las baterías de Litio (Reacción Redox). Fuente: es.wikipedia.org.

8.1.2. Características de una batería

Energía Almacenada: La cantidad de energía que puede almacenar una batería.

Capacidad: Calculada como el producto del voltaje nominal por la capacidad en amperios-hora (Ah).

Corriente de Descarga Máxima: Especificada como una fracción, por ejemplo, una batería con C=200 Ah y una descarga C/20 puede entregar 10 A durante 20 horas.

Profundidad de Descarga: Representa la cantidad de energía que puede extraerse, dada en porcentaje.

8.1.3. Composición y Estructura

Las baterías de iones de litio se componen de varias celdas individuales, cada una de las cuales tiene una estructura estándar que incluye los siguientes componentes:

1. **Electrodo positivo (Cátodo):** Generalmente compuesto de óxido metálico de litio, que puede contener níquel, manganeso y cobalto, conocidos como metales de transición.
2. **Electrodo negativo (Ánodo):** Usualmente hecho de grafito, donde los iones de litio se intercalan durante el proceso de carga.

3. **Electrolito:** Un medio que permite el movimiento de los iones de litio. Suele estar compuesto de sales de litio disueltas en un solvente orgánico. En las baterías de polímero de litio, el electrolito es un polímero sólido.
4. **Separador:** Un material permeable a los iones de litio pero que impide el contacto directo entre el ánodo y el cátodo para evitar cortocircuitos. Estos separadores pueden estar hechos de polímeros o materiales cerámicos.

8.1.4. Mecanismo de Funcionamiento

Durante la descarga:

Movimiento de electrones: Cuando la batería suministra energía a un dispositivo, los átomos de litio en el ánodo liberan electrones. Estos electrones fluyen a través de un circuito externo desde el ánodo hasta el cátodo, proporcionando la energía necesaria para el funcionamiento del dispositivo.

Movimiento de iones de litio: Simultáneamente, los iones de litio se mueven desde el ánodo a través del electrolito y el separador hacia el cátodo. Este movimiento de iones equilibra la carga eléctrica creada por el flujo de electrones.

Durante la carga.

Intercalación de litio: Cuando la batería se carga, una fuente de energía externa aplica un voltaje que obliga a los iones de litio a moverse desde el cátodo, a través del electrolito y el separador, de vuelta al ánodo. Al mismo tiempo, los electrones fluyen desde el cátodo hacia el ánodo a través del circuito externo.

Proceso de intercalación: Los iones de litio se intercalan entre las capas de grafito del ánodo, almacenando energía que puede ser utilizada posteriormente.

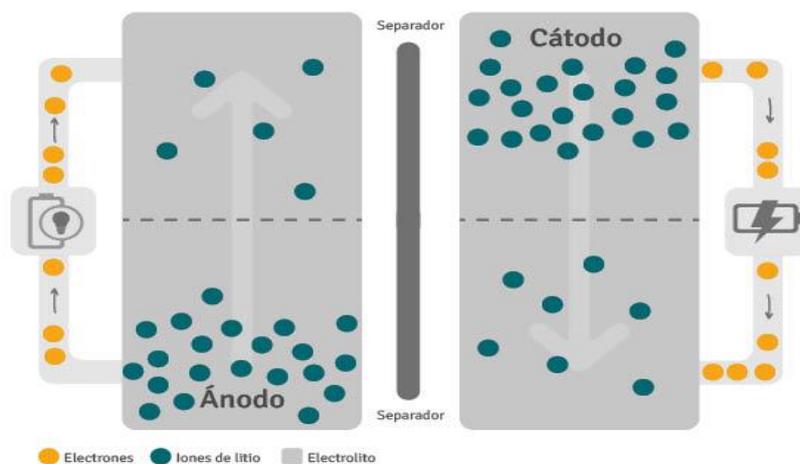


Ilustración 19. Funcionamiento de carga y descarga de las baterías de Litio. Fuente: jungheinrich-profishop.es.

8.1.5. Ventajas y desventajas

Ventajas.

Alta densidad de energía: Ofrecen tres veces la densidad de energía de las baterías de plomo-ácido.

Alto voltaje por celda: Tienen el voltaje por celda más alto, 3.5 V, lo que reduce el número de celdas necesarias en serie.

Baja tasa de autodescarga: Mantienen su carga durante más tiempo cuando no están en uso.

Desventajas.

Degradación rápida: Sensibles a altas temperaturas, pueden degradarse rápidamente, inflamarse o explotar.

Costo: Requieren dispositivos de seguridad adicionales, lo que aumenta su costo de fabricación y limita su uso en algunas aplicaciones.

8.1.6. Aplicaciones

Electrónica de consumo: Usadas en teléfonos móviles, laptops, tablets y otros dispositivos portátiles.

Automóviles eléctricos: Su alta densidad de energía y tamaño compacto las hacen ideales para vehículos eléctricos.

Las baterías de ion-litio permiten manejar más carga en un tamaño más compacto, facilitando su aplicación en diversas tecnologías avanzadas.

8.2. Peligros y riesgos de las baterías de Litio

Las baterías de litio en la actualidad son transportadas, por los buques mercantes en mitad del océano

8.2.1. Formación de Dendritas

Descripción: Las dendritas son estructuras en forma de aguja que crecen dentro de la batería. Pueden perforar el separador que evita el contacto entre el ánodo y el cátodo, causando cortocircuitos.

Consecuencias: Los cortocircuitos internos pueden provocar sobrecalentamiento y, en casos extremos, incendios o explosiones.

8.2.2. Sobrecarga

Descripción: Ocurre cuando la batería se carga por encima del voltaje permitido.

Consecuencias: Puede provocar sobrecalentamiento y combustión espontánea. Para mitigar este riesgo, las baterías incorporan sistemas de gestión (BMS) que controlan y limitan el voltaje de carga.

8.2.3. Descarga Profunda

Descripción: Sucede cuando la batería se descarga por debajo del voltaje mínimo permitido.

Consecuencias: La descarga profunda puede dañar la batería de forma permanente, incrementando el riesgo de fallo catastrófico. El BMS también ayuda a prevenir este escenario al gestionar los niveles de descarga.

8.2.4. Exposición a Altas Temperaturas

Descripción: Temperaturas superiores a 60°C pueden inducir combustión espontánea.

Consecuencias: A bordo de un buque mercante, los entornos pueden ser extremos. La exposición prolongada a calor excesivo puede desestabilizar las baterías, provocando incendios.

8.2.5. Golpes e Impactos

Descripción: Los golpes fuertes o impactos pueden dañar la estructura de la batería y su sistema de gestión.

Consecuencias: Un impacto significativo podría perforar la batería, llevando a una combustión. Daños al BMS pueden comprometer la seguridad general de la batería, aumentando el riesgo de fallos.

8.2.6. Fuga Térmica

Descripción: Un incremento de temperatura descontrolado debido a una reacción en cadena dentro de la batería.

Consecuencias: Puede provocar incendios y explosiones. La fuga térmica se inicia por los cortocircuitos internos o sobrecalentamiento, y es difícil de controlar una vez que comienza. 15

9. Medidas y soluciones adoptadas en la actualidad

En la actualidad ya se han tomado varias medidas para el transporte seguro de baterías de ión -litio.

Estas medidas son cruciales en un contexto donde el sector marítimo busca mejorar su compromiso con la salud, la seguridad y el medio ambiente, y se reconocen los riesgos significativos que las baterías de ión-litio pueden presentar si no se manejan adecuadamente.

9.1. Código Internacional de mercancías peligrosas (IMDG)

El Código Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG) regula el transporte seguro de mercancías peligrosas por vía marítima. Las baterías de litio, debido a sus propiedades químicas y riesgos asociados, están clasificadas como mercancías peligrosas y se adscriben a los números ONU 3090, 3091, 3480 o 3481 según el tipo y la forma de transporte. Este estudio analiza las disposiciones específicas del Código IMDG, Parte 2, Clasificación, sobre las baterías de litio.

9.1.1. Clasificación de Baterías de Litio según el Código IMDG

Las baterías de litio se clasifican en varias categorías según su configuración y uso:

ONU 3090: Pilas de litio.

ONU 3091: Pilas de litio contenidas en equipos o embaladas con equipos.

ONU 3480: Baterías de iones de litio.

ONU 3481: Baterías de iones de litio contenidas en equipos o embaladas con equipos.

9.1.2. Requisitos Generales para el Transporte

Para que las baterías de litio puedan ser transportadas conforme a las disposiciones del IMDG, deben cumplir con los siguientes requisitos:

Pruebas de Conformidad:

Cada pila o batería debe demostrar que cumple las prescripciones de las pruebas especificadas en el Manual de Pruebas y Criterios, Parte III, subsección 38.3. Esto incluye una serie de pruebas rigurosas que evalúan la resistencia de las baterías a condiciones adversas de transporte.

Las baterías fabricadas antes del 1 de enero de 2014 pueden transportarse si cumplen con las pruebas de la 5ª edición revisada del Manual de Pruebas y Criterios.

Dispositivos de Seguridad:

Cada pila o batería debe estar equipada con un dispositivo de ventilación de seguridad o debe estar diseñada para impedir rupturas violentas en condiciones normales de transporte.

Prevención de Cortocircuitos:

Las baterías deben estar equipadas con medios eficaces para prevenir cortocircuitos externos. Esto puede incluir aislantes y cubiertas protectoras que eviten el contacto directo entre terminales.

Prevención de Inversiones de Corriente:

Las baterías que contienen pilas conectadas en paralelo deben estar equipadas con medios para prevenir inversiones peligrosas de corriente, como diodos o fusibles.

Las baterías deben ser fabricadas bajo un programa de gestión de la calidad que incluya:

- Descripción de la estructura orgánica y responsabilidades del personal.
- Instrucciones para inspección, ensayo, control y garantía de calidad.
- Controles del proceso para prevenir fallas por cortocircuito interno.
- Registros de calidad y datos de ensayos disponibles para la autoridad competente.
- Verificaciones de la dirección para garantizar la eficacia del programa de calidad.
- Procedimientos para el control y revisión de documentos.
- Control de baterías que no cumplan con las pruebas de tipo especificadas.
- Programas de formación y cualificación del personal.
- Procedimientos para asegurar que el producto final no ha sufrido daños. 16



Ilustración 20. Etiqueta clase IMDG Clase 9. Baterías de litio. Fuente: es.m.wikipedia.org.

9.2. Cumplimiento de legislación y códigos internacionales

Se insta a los involucrados a revisar y cumplir con el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG), el Código de Prácticas para el Embalaje de Unidades de Transporte de Carga (Código CTU), y los Códigos de Estiba y Sujeción de la Carga (CSS), así como la legislación nacional aplicable.

9.3. Formación y conocimiento

Se enfatiza en la necesidad de formación sobre los riesgos asociados y peligros asociados con las baterías de ión-litio.

9.4. Actualización tecnológica y factores humanos

Se reconoce la constante evolución tecnológica y la necesidad de actualizar los factores de control de riesgos. Se subraya la importancia de tener en cuenta tanto los elementos tecnológicos como los humanos, incluyendo nuevas tecnologías, sistemas y dispositivos, así como la opinión y comportamiento humanos, en el control de riesgos del transporte de baterías de iones de litio.

Estas medidas buscan mitigar los riesgos y asegurar un transporte seguro y eficiente de las baterías de litio-ion, abordando tanto los aspectos tecnológicos como humanos del control de riesgos¹⁷.

10. Conclusiones

El estudio resalta la importancia fundamental del Reglamento Internacional para Prevenir los Incendios a Bordo de los Buques (SOLAS) y el Código Internacional de Sistemas de Seguridad Contra Incendios (SSCI). Estos marcos reguladores son esenciales para garantizar la seguridad a bordo de los buques mercantes. SOLAS y SSCI proporcionan directrices detalladas sobre la construcción, el equipamiento y la operación de los sistemas contraincendios, que son cruciales para prevenir y controlar incendios en el mar.

Las baterías de litio, a pesar de su alta eficiencia y capacidad de almacenamiento de energía, presentan riesgos significativos. Entre estos riesgos, la formación de dendritas dentro de las baterías puede causar cortocircuitos internos, lo que aumenta el peligro de incendios y explosiones. La sobrecarga y la descarga profunda son otros problemas críticos. La sobrecarga puede provocar sobrecalentamiento y combustión espontánea, mientras que la descarga profunda puede dañar permanentemente la batería, incrementando el riesgo de fallos catastróficos. La exposición a altas temperaturas y los golpes físicos también pueden desestabilizar las baterías, lo que potencialmente podría desencadenar incendios.

El trabajo analiza varios accidentes marítimos recientes para ilustrar los riesgos que las baterías de litio representan a bordo de los buques mercantes. Casos notables, como los incendios en el Cosco Pacific y el M/V Genius Star XI, destacan la gravedad de estos riesgos. Estos incidentes subrayan la necesidad de una mayor vigilancia y control en la declaración y manejo de las baterías de litio a bordo. La correcta identificación y manipulación de estas baterías son vitales para prevenir incidentes similares en el futuro.

La investigación pone de relieve la eficacia de los sistemas automáticos de detección y extinción de incendios, como los rociadores automáticos (sprinklers) y los sistemas de CO₂. Estos sistemas, cuando están correctamente instalados y mantenidos, son esenciales para la seguridad a bordo. Además, se enfatiza la importancia de una ventilación adecuada y de contar con planes de emergencia bien elaborados. Estos elementos son cruciales para prevenir la acumulación de gases inflamables y asegurar una respuesta rápida y eficaz en caso de incendio.

El trabajo sugiere que la actualización tecnológica y la implementación de sistemas avanzados de detección y extinción de incendios son esenciales para manejar los riesgos asociados con las baterías de litio. Además, se destaca la necesidad de una formación continua de la tripulación para garantizar que todos los miembros estén preparados para enfrentar estos desafíos. Adoptar mejores prácticas de otras industrias, como la automotriz y

aeroespacial, también se considera fundamental para mejorar la seguridad contra incendios en los buques mercantes.

Finalmente, el estudio recomienda una revisión y mejora continua de las normativas y sistemas actuales para adaptarse a los nuevos desafíos planteados por las tecnologías emergentes. Aumentar la conciencia sobre los riesgos asociados con las baterías de litio y proporcionar una educación adecuada a todos los involucrados en el transporte marítimo es crucial para mitigar estos riesgos. Las conclusiones derivadas de este análisis proporcionan recomendaciones prácticas para mejorar la seguridad contra incendios a bordo de los barcos mercantes en el contexto de la presencia de vehículos eléctricos y dispositivos con baterías de litio.

11. Conclusions

The study highlights the fundamental importance of the International Regulations for Preventing Fires on Board Ships (SOLAS) and the International Fire Safety Systems Code (ISSC). These regulatory frameworks are essential to ensure safety on board merchant ships. SOLAS and SSCI provide detailed guidelines on the construction, equipment and operation of fire-fighting systems, which are crucial to prevent and control fires at sea.

Lithium batteries, despite their high efficiency and energy storage capacity, present significant risks. Among these risks, the formation of dendrites inside batteries can cause internal short circuits, increasing the danger of fires and explosions. Overcharging and deep discharge are other critical problems. Overcharging can cause overheating and spontaneous combustion, while deep discharge can permanently damage the battery, increasing the risk of catastrophic failure. Exposure to high temperatures and physical shocks can also destabilise batteries, potentially triggering fires.

The paper analyses several recent maritime accidents to illustrate the risks that lithium batteries pose on board merchant ships. Notable cases, such as the fires on the Cosco Pacific and the M/V Genius Star XI, highlight the seriousness of these risks. These incidents underline the need for increased vigilance and control in the declaration and handling of lithium batteries on board. Correct identification and handling of these batteries are vital to prevent similar incidents in the future.

The research highlights the effectiveness of automatic fire detection and extinguishing systems, such as sprinklers and CO₂ systems. These systems, when properly installed and maintained, are essential for safety on board. In addition, the importance of adequate ventilation and well-developed emergency plans is emphasised. These elements are crucial to prevent the build-up of flammable gases and to ensure a rapid and effective response in case of fire.

The paper suggests that technology upgrades and the implementation of advanced fire detection and suppression systems are essential to manage the risks associated with lithium batteries. In addition, it highlights the need for continuous crew training to ensure that all crew members are prepared to meet these challenges. Adopting best practices from other industries, such as automotive and aerospace, is also considered essential to improve fire safety on merchant vessels.

Finally, the study recommends a continuous review and improvement of current regulations and systems to adapt to the new challenges posed by emerging technologies. Raising awareness of the risks associated with lithium batteries and providing adequate

education to all those involved in shipping is crucial to mitigate these risks. The conclusions derived from this analysis provide practical recommendations for improving fire safety on board merchant ships in the context of the presence of electric vehicles and devices with lithium batteries.

12. Bibliografía

1. De M. Enmendado por la resolución MSC.436(99) y anteriores. Gob.es. [Consultado 2024 mar 25]. [https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/marima_mercante/normativa-maritima/convenios/1_solas_consolidado_2020_\(v.2021\).pdf](https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/marima_mercante/normativa-maritima/convenios/1_solas_consolidado_2020_(v.2021).pdf).
2. Directemar.cl. [Consultado 2024 mar 25]. https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20190528/20190528101811/_009__c__digo_ssci__sistema_seguridad_incendios_e155s_270519.pdf.
3. Fire detection & alarm systems. Atlas Technologies Corporation Pte Ltd. 2021 jun 3 [Consultado 2024 mar 26]. <https://www.atlascorporation.com.sg/fire-detection-alarm-systems/>
4. Unican.es. [Consultado 2024 mar 26]. <https://personales.gestion.unican.es/martinji/Archivos/SolasCap2-2.pdf>
5. Carlos. Sprinklers o rociadores automáticos de incendios. ¿Qué son y para qué sirven? Chacarrex. 2020 mar 25 [consultado 2024 mar 26]. <https://www.chacarrex.com/sprinklers-o-rociadores-de-incendios-que-son-y-para-que-sirven/>
6. De Infraestructuras SDEE, Vivienda TY. Enmendado por la resolución MSC.410(97) y anteriores. Gob.es. [consultado 2024 mar 26]. [https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/marima_mercante/normativa-maritima/codigo/24_ssci_\(01-01-2020\).pdf](https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/marima_mercante/normativa-maritima/codigo/24_ssci_(01-01-2020).pdf)
7. Marino I. Comprobación del Sistema Contraincendios (Deluge System). Ingeniero Marino. 2017 may 19 [consultado 2024 mar 26]. <https://ingenieromarino.com/comprobacion-del-sistema-contraincendios-deluge-system/>
8. SISTEMA EXTINCIÓN POR CO₂. SISTEMAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO. 2018 nov 19 [consultado 2024 abr 20]. <https://eduardovillafuerteblog.wordpress.com/2018/11/19/sistema-extincion-por-co2/>
9. Disponible en: <http://file:///C:/Users/34618/Downloads/MANUAL%20BOMBEROS.pdf>. [Consultado: 18-jun-2024].
10. Marino, “Teoría del Fuego I (Conceptos Básicos)”, Ingeniero Marino, 23-ene-2013. [En línea]. Disponible en: <https://ingenieromarino.com/teoria-del-fuego/>. [Consultado: 18-jun-2024].
11. P. Rodríguez, “Un barco cargado de baterías arde en Alaska”, CocheGlobal, 31-dic-2023. [En línea]. Disponible en: https://www.coheglobal.com/industria/barco-cargado-baterias-arde-en-alaska_808799_102.html. [Consultado: 26-jun-2024].
12. R. R. Valero, “Los incendios eléctricos en los Ro-Ro y el hundimiento del car carrier FELICITY ACE”, Naucher, 09-mar-2022.
13. Safety4sea.com. [En línea]. Disponible en: <https://safety4sea.com/lithium-batteries-caused-the-fire-onboard-cosco-pacific/>. [Consultado: 26-jun-2024].

14. Guía-Profi,01-jul-2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.jungheinrich-profishop.es/es/guia-profi/como-funciona-una-bateria-de-litio/>. [Consultado: 26-jun-2024].
15. Riesgo de explosión o incendio - Extinhouse. [consultado 2024 jun 27].
<https://extinhouse.es/funcionamiento-de-las-baterias-de-litio-y-su-riesgos-por-sobrecarga-peligro-de-incendio/>.
16. Pgrweb.go.cr. [En línea]. Disponible en:
<https://www.pgrweb.go.cr/docsdescargar/Normas/No%20DE-9201/Version1/CodigoIMDG.pdf>.
[Consultado: 04-jul-2024].
17. Contraincendios Tartessos, 04-sep-2023. [En línea]. Disponible en:
<https://www.contraincendios Tartessos.com/incendios-por-las-baterias-de-litio-como-prevenir-los-incendios-en-las-baterias-de-litio/>. [Consultado: 1-jul-2024].

Permiso de divulgación del Trabajo Final de Grado

El alumno **Javier Dóniz Rodríguez**, autor del trabajo final de Grado titulado **Investigación del daño de las baterías de litio en buques mercantes**, y tutorizado por la profesora **D^a Beatriz Añorbe Díaz**, a través del acto de presentación de este documento de forma oficial para su evaluación (registro en la plataforma de TFG), manifiesta que **NO PERMITE** la divulgación de este trabajo, una vez sea evaluado por parte de la Universidad de La Laguna, por contener información sensible perteneciente a empresas y organismos privados.