

Aplicación de los drones en los procesos de inspección y gestión de la seguridad en buques

Trabajo de Final de Grado



Facultad de Náutica de Barcelona
Universidad Politécnica de Catalunya

Trabajo realizado por:
Camelia Loredana Calin

Dirigido por:
Sergio Velásquez Correa

Doble Titulación en Sistemas y Tecnología Naval y Tecnologías Marinas

Barcelona, 10 de enero del 2023

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náutica

Hoja de cortesía.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a la Facultad de Náutica de Barcelona la oportunidad de tener al alcance muchas de las herramientas que han hecho posible la realización de este Trabajo de Final de Grado.

En segundo lugar, quisiera expresar mi agradecimiento al profesor Sergio Velásquez por su colaboración e interés durante todas las fases del proyecto.

Finalmente, dar las gracias a mi familia y compañeros que me han acompañado durante todas las etapas de los estudios en la facultad.

Resumen

Este proyecto pretende realizar una propuesta sobre el desarrollo de un sistema aéreo no tripulado que pueda utilizarse como acompañante de los oficiales en un buque en las actividades más peligrosas a bordo.

Se realiza un estudio de las actividades que actualmente realizan los drones y la normativa que se aplica y, después de analizar las condiciones peligrosas a las que un oficial está expuesto en un buque, se propone la carga útil que debe llevar un dron para realizar trabajos de corto alcance con el objetivo de no exponer a la persona responsable a situaciones peligrosas.

También se realiza una propuesta general un sistema de procesamiento de datos que permita utilizarlos posteriormente en un cuadro de mandos que mande mensajes de alerta a un dispositivo en caso de peligro.

Finalmente, después de la consulta a varios expertos en el sector naval y de los estudios realizados, se ha llegado a la conclusión de que un dron como acompañante de un oficial a bordo de un buque es una opción todavía a estudiar que puede aportar seguridad y beneficios al sector.

Palabras clave: “UAV”, “Dron”, “Inspecciones remotas”, “Análisis remoto de datos”, “Interacción hombre-máquina”

Abstract

The main aim of this final project is to make a proposal on the development of an unmanned aerial system that can be used as a companion for officers on a ship in the most dangerous activities on board.

A study is made of the activities currently carried out by drones and the applied regulations and, after analysing the dangerous conditions to which an officer is exposed on a ship, a proposal is made for the payload that a drone should carry to carry out short-range work with the aim of not exposing the responsible person to dangerous situations.

A general proposal is also made for a data processing system that can be used later on in a control panel that sends alert messages to a device in case of danger.

Finally, after consulting several experts in the naval sector and on the basis of the studies carried out, it has been concluded that a drone as a companion to an officer on board a ship is an option still to be studied that can bring safety and benefits to the sector.

Keywords: “UAV”, “Drone”, “Remote Inspections”, “Remote data analysis”, “Human-machine interaction”

Contenido

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
ABSTRACT.....	5
CONTENIDO	6
LISTADO DE FIGURAS	9
LISTADO DE TABLAS	10
LISTADO DE ACRÓNIMOS	11
<u>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</u>	<u>1</u>
1.1. MOTIVACIÓN	1
1.2. ALCANCE Y CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.3. OBJETIVOS.....	2
1.4. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	2
<u>CAPÍTULO 2. EL SECTOR MARÍTIMO Y SU IMPORTANCIA</u>	<u>4</u>
2.1. INSTITUCIONES INVOLUCRADAS	5
2.2. SEGURIDAD OPERACIONAL	9
<u>CAPÍTULO 3. SITUACIÓN ACTUAL EN EL USO DE DRONES EN EL ÁMBITO DEL TRANSPORTE MARÍTIMO.....</u>	<u>13</u>
3.1. VEHÍCULO DE INSPECCIÓN REMOTA	13
3.2. OPERACIONES REALIZADAS POR DRONES ACTUALMENTE	13
3.1.1. INSPECCIONES	13
3.1.2. VIGILANCIA Y DETECCIÓN DE INCIDENTES	14
3.1.3. ENTREGAS	14
3.3. LIMITACIONES ACTUALES PARA EL USO DE LOS DRONES.....	15
3.3.1. ENTORNO DE OPERACIÓN.....	15
3.3.2. TECNOLÓGICAS	15
3.3.3. LEGISLATIVAS	15
3.4. EJEMPLOS DE EMPRESAS QUE UTILIZAN LOS DRONES PARA ALGUNAS OPERACIONES DE INSPECCIÓN	16
3.2.1. NAVANTIA	16
3.2.2. MITMA	16
3.2.3. BUREAU VERITAS.....	17

<u>CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE LA NORMATIVA APLICADA POR PARTE DE LA IACS Y OTRAS ADMINISTRACIONES.....</u>	<u>18</u>
4.1. DOCUMENTO UR Z17. REQUISITOS DE PROCEDIMIENTO PARA LOS PROVEEDORES DE SERVICIOS.....	19
4.2. DOCUMENTO UR Z29 - INSPECCIONES DE CLASIFICACIÓN REMOTAS.....	21
4.3. NORMATIVA ATEX.....	27
<u>CAPÍTULO 5. DEFINICIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO.....</u>	<u>29</u>
5.1. PETROLEROS.....	29
5.2. QUIMIQUEROS.....	31
5.3. GASEROS.....	33
5.4. BUQUES DE CARGA A GRANEL.....	35
<u>CAPÍTULO 6. HARDWARE DE LOS DRONES.....</u>	<u>37</u>
6.1. ELEMENTOS PRINCIPALES.....	37
6.2. TIPOS DE DRONES.....	38
<u>CAPÍTULO 7. ESPECIFICACIONES DE LOS DATOS A RECOLECTAR.....</u>	<u>41</u>
7.1. OPERACIONES EN BUQUES.....	41
7.1.1. COMPROBAR LOS VALORES DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA.....	42
7.1.2. COMPROBAR ESTADO DE LA ATMÓSFERA DE LOS TANQUES.....	43
7.1.3. COMPROBAR ESTADO ESTRUCTURAL DE LOS TANQUES.....	46
7.1.4. LIMPIEZA DE TANQUES.....	47
<u>CAPÍTULO 8. DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE LA CARGA ÚTIL A UTILIZAR.....</u>	<u>48</u>
<u>CAPÍTULO 9. DEFINICIÓN DEL PROCESAMIENTO DE DATOS.....</u>	<u>54</u>
9.1. TRANSMISIÓN DE DATOS.....	54
9.2. SOFTWARE A BORDO.....	55
9.3. VALORACIÓN.....	55
<u>CAPÍTULO 10. PLANTEAMIENTO DE UN CUADRO DE MANDO.....</u>	<u>60</u>
<u>CAPÍTULO 11. CONCLUSIONES.....</u>	<u>63</u>
<u>BIBLIOGRAFÍA.....</u>	<u>65</u>

ANEXO A. CONSULTA A EXPERTOS70

Listado de figuras

FIGURA 1. FLOTA MUNDIAL – FUENTE: ANAVE “MARINA MERCANTE Y TRANSPORTE MARÍTIMO 2021 - 2022”	4
FIGURA 2. DRON DE LA EMSA – FUENTE: ANAVE.	16
FIGURA 3. DRON SUBACUÁTICO BUREAU VERITAS – FUENTE: BUREAU VERITAS.	17
FIGURA 4. SEÑAL DE ZONA CON RIESGOS DE ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS – FUENTE: SEGURIDAD INDUSTRIAL Y CIUDADANA	27
FIGURA 5. PETROLERO - FUENTE: NAUTICEXPO.....	30
FIGURA 6. QUIMIQUERO - FUENTE: INGENIERO MARINO	31
FIGURA 7. GASERO - FUENTE: INGENIERO MARINO	33
FIGURA 8. BUQUE DE CARGA A GRANDEL - FUENTE: NAUTICEXPO.....	35
FIGURA 9. PARTES DE UN DRON – FUENTE: DJI. PHANTOM 4.	38
FIGURA 10. DRON DE ALA FIJA – FUENTE: MUNDOGEO.....	39
FIGURA 11. DRON MULTIROTOR – FUENTE: DRONEDEPLOY’S BLOG	39
FIGURA 12. DRON CREADO POR DNV-GL PARA INSPECCIONES – FUENTE: DNV-GL (ADRASSO).	40
FIGURA 13. ENTRADA A UN TANQUE – FUENTE: MARINE INSIGHT	42
FIGURA 14. SENSOR DE OXÍGENO ELECTROQUÍMICO – FUENTE: SENSOR DRONE.....	49
FIGURA 15. SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD BOSCH – FUENTE: DIGI-KEY ELECTRONICS.....	50
FIGURA 16. SENSOR DE CARGAS ELECTROSTÁTICAS.	51
FIGURA 17. DETECTOR DE PARTÍCULAS – FUENTE: RS SOLUCIONES INDUSTRIALES	51
FIGURA 18. SENSOR DE COV.	51
FIGURA 19. SENSOR DJI PROPHET AM – FUENTE: DJI MADRID	52
FIGURA 20. SNIFFER 4D – FUENTE: SNNIFET 4D.....	53
FIGURA 21. SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DATOS – FUENTE: PROPIA.....	55
FIGURA 22. SENSORES DEL CUADRO DE MANDOS 1 - FUENTE: PROPIA.....	61
FIGURA 23. SENSORES DEL CUADRO DE MANDOS 2 - FUENTE: PROPIA.....	62

Listado de tablas

TABLA 1. PORCENTAJE DE ERRORES HUMANOS EN LOS ACCIDENTES MARÍTIMOS DEPENDIENDO DEL TIPO DE BUQUE – FUENTE: MARINE TRANSPORT RESEARCH.....	11
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE LOS ERRORES POR TIPOS DE BUQUES – FUENTE: MARINE TRANSPORT RESEARCH.....	12
TABLA 3. VALORES LÍMITE AMBIENTALES – FUENTE: PROPIA.....	57
TABLA 4. CONCENTRACIONES Y NIVELES DE SEGURIDAD - FUENTE: PROPIA.....	59
TABLA 5. SOLUCIÓN DEL CUADRO DE CONTROL – FUENTE: PROPIA.....	60

Listado de acrónimos

ANAVE (Asociación de Navieros Españoles)

ISM (Instituto Nacional de la Marina)

EMSA (European Maritime Safety Agency)

EQUASIS (Electronic Quality Shipping Information System)

PSC (Port State Control)

MITMA (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana)

DGMM (Dirección General de la Marina Mercante)

IACS (International Association of Classification Societies)

INSST (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo)

OIT (Organización Internacional del Trabajo)

NTSB (National Transportation Safety Board)

ATEX (Atmósferas Explosivas)

VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado)

ROV (Remotely Operated Vehicle)

RPAS (Remotely Piloted Aircraft System)

UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

COV (Compuestos Orgánicos Volátiles)

OBQ (On Board Quantity)

ROB (Remaining on Board)

GNSS (Global Navigation Satellite System)

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

IoT (Internet of Things)

LiDAR (Light Detecting and Ranging)

VLA-ED (Valores Límite Ambientales – Exposición Diaria)

VLA-EC (Valores Límite Ambientales – Exposición de Corta Duración)

Capítulo 1. Introducción

1.1. Motivación

La elección de este tema para realizar su estudio para el Trabajo de Final de Grado se debe a un interés personal en el ámbito de las inspecciones en el sector naval, más allá de lo que técnicamente se desarrolla a nivel de inspecciones rutinarias. El enfoque innovador de este trabajo parte del hecho de usar herramientas que permitan mejorar la seguridad de algunas de las tareas de rutina que se asocian a inspecciones que garanticen las operativas de carga y descarga de los buques, en condiciones que minimicen el riesgo para la vida y seguridad de los oficiales a cargo de estas, ya que se deben tener conocimientos tanto teóricos como prácticos sobre el sector para poder aplicar la normativa adecuadamente.

En este proyecto, se ha añadido al estudio de las inspecciones navales el estudio de la aplicación de tecnologías de última generación en las operaciones necesarias en un buque tipo tanque o de cargas a granel (tankers y bulk carriers). Esto ha aumentado la motivación por la realización del trabajo ya que no sólo se estudiarán las inspecciones y operaciones realizadas en un buque sino también las formas de mejorar la seguridad de las personas, el medio ambiente y la carga aplicando la tecnología de los drones en inspecciones y otras operaciones a bordo, en las tareas que no son del ámbito de actuación de las sociedades de clasificación.

1.2. Alcance y contextualización

La seguridad en el ámbito naval es un aspecto que está presente y se debe tener muy en cuenta que además debe seguirse trabajando para alcanzar un sector lo más seguro posible para las personas, la carga y el medio ambiente. Las normativas actuales regulan muchas de las actividades realizadas a bordo de los buques, pero es imprescindible seguir avanzando con el objetivo de eliminar los riesgos que aún persisten y que potencialmente pueden aparecer.

El proyecto se centrará en el estudio de las inspecciones y operaciones a bordo de buques que tienen un mayor riesgo debido a la peligrosidad de la carga que transportan, ya que muchas

operaciones llevadas a cabo por los oficiales conllevar a asumir riesgos que si son advertidos a tiempo pueden reducir la ocurrencia de accidentes contra la integridad física o fatales. Concretamente, los buques trabajados serán petroleros, quimiqueros, gaseros y buques de carga a granel.

1.3. Objetivos

Este proyecto tiene tres objetivos principales. El primero de ellos consiste en estudiar para qué se utilizan en la actualidad los drones en cuanto a tareas de mantenimiento e inspección de buques, analizando la situación actual de dichas tecnologías y sus potenciales usos en tareas que van más allá de la mera inspección física del buque.

El siguiente objetivo es averiguar cuáles son los peligros más evidentes a bordo cuando se realizan tareas de mantenimiento e inspecciones.

El tercer objetivo es estudiar qué otras tareas relacionadas con el mantenimiento y las inspecciones podrían realizar los drones, garantizando una mejora sustancial en la seguridad e integridad de los oficiales que ejecutan tareas y operaciones de carga y descarga.

Una vez conocidos estos peligros, se estudiará qué tipos de datos deben recoger los drones y qué sensores son los más adecuados en cada situación, añadiendo la posibilidad de analizar los datos adquiridos, generando una serie de respuestas que, transmitidas en tiempo real, puedan advertir las condiciones de seguridad necesarias para que los oficiales desarrollen sus tareas de forma segura y eficiente.

1.4. Metodología del proyecto

En primer lugar, se estudiará la normativa vigente, y la que está lista para entrar en vigor próximamente, sobre inspecciones a distancia y el uso de drones en el sector naval. También cómo es el proceso de inspección en los tres tipos de buques mencionados y las tareas de mantenimiento realizadas. Se describirán únicamente las que podrían solucionarse utilizando drones como recurso de apoyo. Se debe aclarar que no se trata de utilizar los drones como herramienta de inspección en el estado de calidad del buque, sino de que el vehículo no tripulado sea un asistente del oficial a la hora de realizar las operaciones habituales de carga y descarga, de manera que éstas no signifiquen un riesgo para su salud e integridad física.

Una vez realizada la investigación inicial, será necesario analizar en qué operaciones y tipos de inspecciones sería viable la introducción de un dron para apoyar a los operarios y cuál sería la función de estos dispositivos como instrumento acompañante capaz de proporcionar información vital a la hora de realizar estas acciones. También es importante conocer qué tipo de sustancias o situaciones son las más peligrosas en cada tipo de buque, para así saber qué tipo de datos recoger para poder crear un *situational awarness*, o evaluación de la situación real. Con los datos anteriores, se investigará qué tipo de carga útil será necesaria instalar en la unidad del dron para recoger los datos especificados.

Por último, se realizará un cuadro de mando para cada tipo de buque considerando las diferentes situaciones de peligro de cada uno y las posibles respuestas ante los diferentes escenarios de actuación, utilizando el dron. Quedarán definidas las acciones a tomar en cada caso.

Se ha incluido un cuestionario que recopila la opinión de oficiales que han trabajado en este tipo de buques y que han visto las situaciones más peligrosas a bordo durante las operaciones de carga y descarga en las que las mercancías peligrosas suponen un reto para la gestión de la seguridad e integridad física de los oficiales. La encuesta ha sido enviada a algunos profesores de la Facultad y oficiales que han trabajado en buques de estas características, cuyas preguntas se podrán encontrar en el Anexo I de este proyecto.

Capítulo 2. El sector marítimo y su importancia

El transporte marítimo internacional representa alrededor del 90% del comercio mundial de mercancías. Es el sistema de transporte más eficiente y rentable para la mayoría de las mercancías y también puede considerarse el más seguro. La gran importancia del transporte marítimo es debida a que éste es capaz de enviar grandes cantidades de mercancías a un coste muy bajo.

Actualmente la flota mundial está registrada en más de 150 países y está compuesta por más de 60.000 buques mercantes en los que van a bordo alrededor de 1.000.000 profesionales. Según la Asociación de Navieros Españoles (ANAVE) la flota mundial a 1 de enero del 2022 estaba en 62.852 buques mercantes con 1.400 millones de arqueo bruto (GT).

	1990		1995		2000		2005		2010		2015		2020		2021		2022	
	NB	TRB	NB	GT	NB	GT	NB	GT	NB	GT	NB	GT	NB	GT	NB	GT	NB	GT
Petroleros	6,9	154,5	6,8	159,8	7,3	163,7	7,0	170,9	7,4	209,8	7,7	240,0	8,8	287,5	8,9	292,3	8,9	297,7
Gaseros	0,8	10,6	0,9	14,0	1,1	17,9	1,2	24,7	1,5	46,1	1,7	56,3	2,1	82,3	2,1	85,9	2,2	92,4
Graneleros	4,8	113,4	5,7	129,7	6,1	149,4	6,5	175,8	8,0	250,5	10,9	405,4	12,2	473,8	12,3	484,0	12,7	502,8
Carga general	19,7	72,7	18,9	66,2	18,9	65,6	17,7	59,6	18,6	65,5	16,7	62,7	16,6	64,8	16,7	67,3	16,8	68,3
Portacontenedores	1,2	23,9	1,6	35,1	2,5	55,3	3,2	85,8	4,7	145,5	5,1	200,3	5,3	246,9	5,3	252,8	5,5	263,5
Otros mercantes (*)	6,8	23,5	8,6	46,2	10,1	63,5	11,4	84,8	13,8	123,2	14,5	141,6	16,3	169,3	16,6	171,5	16,8	175,3
TOTAL	40,2	398,6	42,7	451,1	46,0	515,4	47,1	601,7	53,9	840,6	56,6	1.107,8	61,2	1.324,7	61,9	1.353,8	62,9	1.400,0

(*) Incluye quimiqueros, otros buques tanque, de pasaje, ferries, ro-ros, transporte vehículos, etc.
 Datos a 1 de enero de cada año, salvo 1990 (datos a 1 de julio).
 Fuente: IHS Markit.

NB: Miles de buques.
 TRB: Millones de TRB.
 GT: Millones de GT.

Figura 1: Flota mundial – Fuente: ANAVE “Marina Mercante y Transporte Marítimo 2021 - 2022”

Como se muestra en la tabla anterior, existen diferentes tipos de buques dependiendo de la función que realizan y la carga que transportan. Cada uno de estos buques tiene unas necesidades y requerimientos diferentes en cuanto al mantenimiento e inspecciones a realizar. Para el satisfactorio cumplimiento de las exigencias del transporte marítimo, es indispensable que dichos buques cumplan con el mantenimiento y las inspecciones que dictaminan las normas de la IACS y,

en consecuencia, las Sociedades de Clasificación. El cumplimiento de la normativa aplicable entregará a cada buque el grado de calidad y seguridad óptimo para realizar su función.

2.1. Instituciones involucradas

Las instituciones que crean las normativas y regulaciones internacionales más importantes en el sector del transporte marítimo y que se deben cumplir para que los criterios de seguridad y eficiencia se cumplan, son las siguientes.

Código ISM (International Safety Management)

El código ISM establece las normas internacionales para la gestión y explotación seguras de los buques y para la prevención de la contaminación.

PCS (Port State Control)

El Port State Control es la inspección que realiza la Administración a los buques extranjeros que hacen escala en los puertos nacionales para verificar su estado, su operación y si cumple los requisitos de la normativa internacional de la OMI. El Estado puede impedir que un buque salga a la mar si existen evidencias de deficiencias graves que incumplan los convenios internacionales tales como el SOLAS (Safety of Life at Sea) o el MARPOL (Maritime Pollution).

La responsabilidad de que los buques cumplan la normativa recae en el Estado del pabellón que enarbola el buque, pero el Port State Control proporciona una doble verificación a nivel local e internacional.

En ocasiones, los Estados rectores de los puertos, llevan a cabo programas de inspección concentrada en los que se fija un número determinado de buques que hacen escale en los puertos de sus regiones y los inspeccionan en relación con una operación, procedimiento o equipo específico a bordo.

MoU (Memorando de Entendimiento)

Un memorando de entendimiento es un acuerdo oficial entre dos o más partes para establecer criterios conjuntos. La Unión Europea quiso elaborar una medida para inspeccionar los buques extranjeros y en 1982 se cerró el primer acuerdo sobre el control del Estado del puerto (Port State Control) conocido como Memorando de Entendimiento de París.

Este es el acuerdo oficial entre veintisiete Autoridades Marítimas y se trata de un Documento que consiste en un texto en el que se expone todo lo relacionado con los compromisos que se deben mantener y los Convenios relevantes para el acuerdo, los procedimientos de inspección y operacionales, el intercambio de información entre las Autoridades y la estructura de la Organización.

Cada administración acordó inspeccionar el 25% de los buques extranjeros que visitaran sus puertos. Otros elementos importantes del MOU de París son la armonización del procedimiento de inspección y el registro centralizado de todos los resultados de las inspecciones en una base de datos informática. A partir de este acuerdo, los países cooperan entre sí para intercambiar información, hacer el seguimiento de los movimientos de los buques y conocer su historial.

Para implementar un control eficaz por parte del Estado rector del puerto, se han firmado los siguientes memorandos de entendimiento entre países:

- MOU de París - 1982.
- MOU de Tokio - 1993.
- La Guardia Costera de los Estados Unidos.
- Acuerdo de América Latina, 1992.
- MOU del Caribe, 1996.
- MOU del Mediterráneo, 1997.
- MOU del Océano Índico, 1998.
- MOU del Mar Negro, 2000.

SSCC (Sociedades de Clasificación)

La IACS (*Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación*) es una organización de Sociedades de Clasificación sin ánimo de lucro que establece normas y requisitos técnicos mínimos en materia de seguridad marítima y protección del medio ambiente y garantiza su aplicación en cuanto a la construcción de embarcaciones y sistemas navales con estrictos criterios técnicos, su mantenimiento, reparación y desmantelamiento al final de su vida útil. Las Sociedades están autorizadas a inspeccionar buques y estructuras marinas y emitir certificados en nombre del Estado que constaten el cumplimiento de las Reglas de Clasificación. La IACS está reconocida como el principal asesor técnico de la OMI (*Organización Marítima Internacional*).

Los once miembros de la IACS son los siguientes:

- American Bureau Shipping (ABS)
- Bureau Veritas (BV)
- China Classification Society (CCS)
- Croatian Register of Shipping (CRS)
- Det Norske Veritas (DNV)
- Indian Register of Shipping (IR)
- Korean Register (KR)
- Lloyd's Register (LR)
- Nippon Kaiji Kyokai (NKK)
- Polski Rejestr Statków (PRS)
- Registro Italiano Navale (RINA)

No todas las Sociedades de Clasificación (SS.CC.) aplican de la misma forma la normativa. Cada una tiene su propia cualificación de las reglas y su propia capacidad de ponerlas en práctica. Los armadores eligen por qué Sociedad quieren estar clasificados.

EMSA (European Maritime Safety Agency)

La Agencia Europea de Seguridad Marítima ofrece asesoramiento técnico para mejorar la seguridad y la protección marítimas. Además, otro de sus objetivos es la lucha contra la contaminación.

Algunas de las tareas de la EMSA son las siguientes:

- Seguimiento de la aplicación de la normativa y su evaluación.
- Ofrecer buques de recuperación de hidrocarburos en el caso de vertidos.
- Detectar la contaminación marina a través de la vigilancia por satélite.
- Ofrecer a las autoridades información en tiempo real sobre el estado del mar.
- Ofrecer servicios marítimos según las necesidades de los usuarios (información sobre buques, inspecciones de PSC, actividades contra la contaminación, entre otros).
- Garantizar la correcta investigación de los accidentes marítimos producidos en el Unión Europea.
- Poner en común las mejores prácticas en cuanto a seguridad y protección marítimas y medio ambiente.

Algunas de las inspecciones técnicas que lleva a cabo la EMSA son las siguientes:

- Inspección de las Sociedades de Clasificación.
- Inspección de los sistemas de formación y certificación marítimas en los países que no pertenecen a la Unión Europea.
- Verificar que los buques que llegan a puertos europeos sean convenientemente inspeccionados.
- Verificar los sistemas nacionales de seguimiento del tráfico marítimo.

EQUASIS (Electronic Quality Shipping Information System)

EQUASIS es una base de datos internacional creada por la EMSA que cubre la información sobre la seguridad de todos los buques de la flota mundial. En esta plataforma están registrados todos los buques inspeccionados en el área del MOU, así como todas las deficiencias encontradas en los mismos. Un usuario podrá consultar voluntariamente hasta cierto grado de confidencialidad el estado de un buque y podrá utilizar la información para una mejor selección de buques.

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Gente del Mar¹

Como se ha mencionado anteriormente, se estima que el 90 por ciento del comercio mundial recurre al transporte marítimo o fluvial, que a su vez depende de la gente de mar para la explotación de los buques. Por este motivo se considera que los marinos son esenciales para el comercio internacional y el sistema económico global. Dado que frecuentemente los marinos trabajan fuera de sus países de origen y que los empleadores no están situados en el país de origen de los marinos, la existencia de normas internacionales es fundamental para el sector.

El buque en el cual los marinos viven y trabajan durante largos periodos de tiempo constituye a la vez su hogar y su lugar de trabajo. La gente de mar está expuesta a múltiples riesgos propios de su profesión, afrontan condiciones climáticas extremas y corren el riesgo de ser abandonados en el

¹ Gente de mar. *International Labour Organization* [en línea] [Consulta: enero 2023]. Disponible en: <<https://www.ilo.org/global/standards/subjects-covered-by-international-labour-standards/seafarers/lang--es/index.htm>>

extranjero si el armador enfrenta dificultades. A esto se le debe sumar la intensificación de medidas de seguridad y de controles fronterizos, que dificulta que los marinos puedan abandonar un buque durante un viaje.

- Instrumentos pertinentes de la OIT

Para el sector marítimo, las normas internacionales de la OIT fijan condiciones mínimas de “trabajo decente” y aspectos del trabajo, desde las condiciones mínimas exigidas para el trabajo de la gente de mar a bordo, hasta las disposiciones sobre las condiciones de empleo, tales como las horas de trabajo, los salarios, la repatriación y el alojamiento, la protección de la salud, la protección en materia de seguridad social y las pensiones. También se establecen los documentos de identidad de la gente de mar, con el fin de facilitar los controles fronterizos.

- Codificación de las normas marítimas de la OIT

En febrero de 2006, con ocasión de la 10.^a reunión marítima, la 94.^a Conferencia Internacional del Trabajo adoptó el **Convenio sobre el trabajo marítimo, 2006 (MLC, 2006)**. En este convenio de carácter general se contemplan los derechos de la gente de mar de todo el mundo. Estos derechos son casi la totalidad con respecto a las condiciones de trabajo y vida y, entre ellos, están los acuerdos de empleo, las horas de trabajo o descanso, el pago de salarios, atención médica a bordo, alojamiento, alimentación, protección de la seguridad y la salud y prevención de accidentes, así como los procedimientos de tramitación de quejas de los marineros.

Dentro del contexto de este trabajo, la Regla 4.3 “**Protección de la seguridad y la salud y prevención de accidentes**” del Convenio sobre el trabajo marítimo, 2006 (MLC, 2006) debe ser de obligado cumplimiento por parte de los armadores y por tanto, disponer de todos los medios al alcance para garantizar las medidas de seguridad en el trabajo de la gente del mar. En este sentido, los nuevos instrumentos propuestos en este trabajo apuntan hacia una mejora sustancial de las condiciones de trabajo de los oficiales incrementando su integridad física y facilitando su trabajo.

2.2. Seguridad operacional

Llevar a cabo cualquiera de las operaciones en los buques es un trabajo que tiene muchos riesgos ya que se realizan en espacios peligrosos para las actividades humanas, ya sea por tratarse de espacios con una atmósfera tóxica, por realizar trabajos en altura o por no tener los recursos

necesarios en el mar. En los temas relacionados con la seguridad, también se deben tener en cuenta las condiciones climatológicas en las que se encuentre navegando el buque.

Los accidentes marítimos que se producen debido a factores naturales sólo constituyen una pequeña parte de las causas de los accidentes marítimos. Se han realizado varios estudios que demuestran que, a pesar de la mecanización y avances técnicos en la industria naval, las causas que provocan accidentes más habitualmente, como colisiones, incendios o explosiones son resultado de errores humanos. Las principales causas de errores humanos son las siguientes:

- Fatiga
- Comunicación inadecuada
- Falta de conocimientos técnicos generales y de los sistemas del buque
- Error de automatización
- Decisión basada en información incompleta
- Normas y procedimientos incorrectos
- Mantenimiento deficiente
- Entorno de trabajo peligroso

Se debe trabajar en todas estas causas para eliminar todo lo posible el riesgo de cometer un error y provocar un accidente.

La institución National Transportation Safety Board (NTSB) ha realizado varios estudios sobre los accidentes ocurridos entre 1975 y 2017, en los que se vieron implicados 264 buques. Estos estudios demuestran que un gran porcentaje de los accidentes marítimos son causados por errores humanos. El artículo² analiza el estudio mencionado sacando las siguientes conclusiones.

- El porcentaje total de accidentes que se atribuyen a errores humanos es del 75%. Este porcentaje corresponde a errores causados por la tripulación del buque y también los causados por personas no pertenecientes a la tripulación.

² Sánchez-Beaskoetxea, et al. Human error in marine accidents: Is the crew normally to blame? *Maritime Transport Research* [en línea]. 2021. [Consulta: diciembre 2022]. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666822X2100083?via%3Dihub>>

- En cuanto a la tipología, los errores de navegación causados por juicios erróneos y exceso de confianza son los más frecuentes. Sin embargo, están causados principalmente por juicios erróneos y exceso de confianza.
- Otros errores humanos cometidos son la planificación inadecuada, la mala comunicación, los problemas físicos y las distracciones.

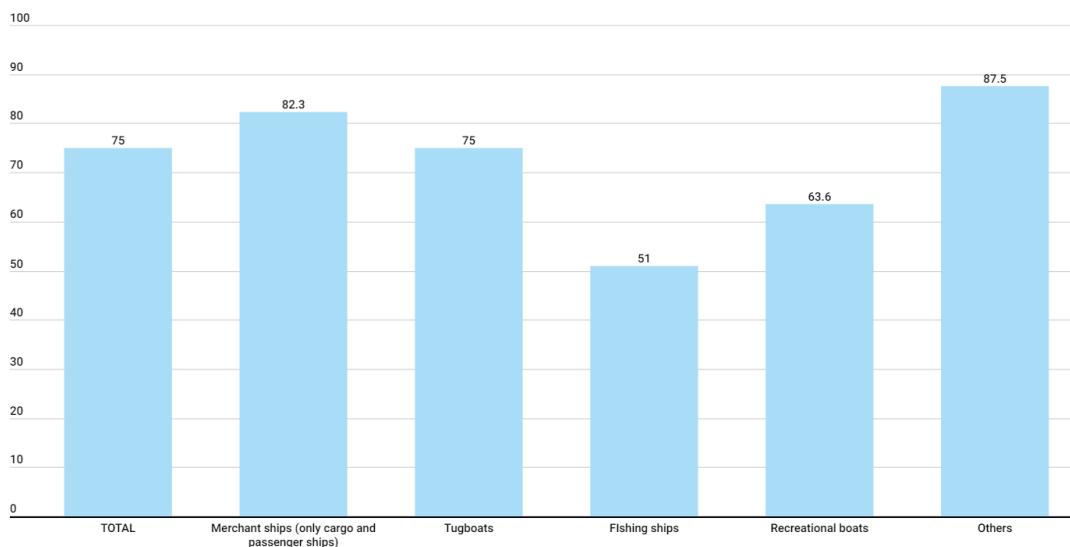


Tabla 1. Porcentaje de errores humanos en los accidentes marítimos dependiendo del tipo de buque – Fuente: Marine Transport Research.

Como se puede ver en la Tabla 1, en los buques mercantes, el 82,3% de los accidentes marítimos ocurren por errores humanos cometidos. Este porcentaje de errores son la suma total de errores cometidos por la tripulación del buque o por personas ajenas como la tripulación de otro buque, demás personal de la compañía o el piloto.

A continuación, en la Tabla 2, se clasifican los diferentes errores humanos de los buques mercantes.

Accidentes totales		Porcentaje de errores humanos		
		Error de la tripulación	Error de otros	Error de ambos
Buque tipo tanque	20	4	10	4
Buque granelero	19	4	9	4
Portacontenedores	11	1	6	2
Otros buques de carga	13	3	2	6
Buque de pasajeros	39	11	13	5
TOTAL	102	23	40	21

Tabla 2. Clasificación de los errores por tipos de buques – Fuente: Marine Transport Research.

La implementación de un dron en los buques tiene por objetivo rebajar el porcentaje de accidentes ocurridos por errores humanos de la tripulación, mejorando los siguientes aspectos:

Decisión basada en información incompleta. La información que recolectará el dron será de utilidad para tomar las decisiones correctas en cuanto a la seguridad de los operarios y la carga.

Normas y procedimientos incorrectos. Las operaciones en los buques están reguladas y deben realizarse siguiendo la normativa. Los datos recolectados por el dron podrán guiar a la tripulación para saber si es posible el acceso a diferentes espacios del buque y cómo deben realizarlo.

Mantenimiento deficiente. El dron será capaz de detectar pequeños defectos en la estructura de los tanques gracias a su cámara mientras navega y recolecta los datos utilizando sus sensores. De esta manera se podrán detectar una parte de los fallos y realizar el mantenimiento adecuado.

Exceso de confianza. Un problema importante al trabajar diariamente en un buque es el exceso de confianza que los trabajadores acaban teniendo. Esta actitud provoca accidentes que se podrían evitar si el operario encargado de las operaciones más peligrosas fuese acompañado por un dron que le advirtiera siempre de los peligros cercanos.

Capítulo 3. Situación actual en el uso de drones en el ámbito del transporte marítimo.

3.1. Vehículo de Inspección Remota

Un Vehículo de Inspección Remota es un vehículo controlado a distancia que puede operar en el aire, bajo el agua o sobre estructuras. Algunos ejemplos podrían ser los vehículos aéreos no tripulados (VANT), los vehículos submarinos operados a distancia (ROV) o las orugas robóticas. Estos vehículos, entre otras aplicaciones, permiten recoger datos digitales con la finalidad de identificar anomalías y evaluar el estado de una estructura. Este proyecto se centrará en el uso del VANT (*Vehículo Aéreo No Tripulado*), lo que coloquialmente conocemos como dron. También conocido en inglés como RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*) o UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*).

El uso de drones se está empezando a aplicar en multitud de sectores industriales con el objetivo de reducir los riesgos de seguridad y facilitar operaciones más seguras y eficientes, disminuyendo la necesidad de que las personas accedan a lugares potencialmente peligrosos como espacios cerrados u otras áreas nocivas.

3.2. Operaciones realizadas por drones actualmente

A pesar de algunas de las barreras que existen actualmente en cuanto a la utilización de los drones en operaciones e inspecciones marítimas como, por ejemplo, la falta de una normativa en vigor o el desconocimiento de estos dispositivos por parte de las tripulaciones y los oficiales que deben hacerse cargo de muchas tareas a bordo, estos se están empezando a utilizar en los siguientes ámbitos.

3.1.1. Inspecciones

Inspección de tanques y espacios confinados

Cuando se hace el cambio de carga sucia a carga limpia es necesario inspeccionar el tanque. Ya se ha experimentado el uso de los drones para esta tarea, obteniendo resultados muy positivos y mostrando el gran potencial de estos dispositivos a realizar tareas incómodas que normalmente realizaría un inspector. Es importante tener en cuenta los gases que se puedan producir al realizar la limpieza de tanques o el cambio de carga ya que podría nublar el ambiente e impedir el correcto funcionamiento del dron y su carga útil.

Inspeccionar el desgaste y la corrosión

Este tipo de inspecciones se realiza principalmente en plataformas petrolíferas, puentes y aerogeneradores. Para realizarlas, es necesario el uso de andamios o inspectores que lleven a cabo trabajos en altura, pero también se utilizan los drones. Uno de los objetivos a cumplir es que, además de realizar fotos del estado de la construcción, el dron pueda medir el nivel de corrosión u otros valores.

3.1.2. Vigilancia y detección de incidentes

Vigilancia y misiones costeras y en alta mar

Los drones pueden utilizarse para vigilar las zonas portuarias. También se utilizan para la detección de incidentes en alta mar, como la pesca ilegal, las fugas de gas de las plataformas petrolíferas o la emisión gases contaminantes de los barcos. Los drones son capaces de realizar estas tareas de manera más fácil y rentable de lo que lo harían otras máquina o vehículos.

3.1.3. Entregas

Entrega de mercancías entre el puerto y el barco

Maersk ha probado con éxito la entrega de mercancía desde el puerto a un buque. Está comprobado que se trata de una tarea que podría realizarse, siendo la mercancía no demasiado pesada. Sin embargo, no es tarea fácil encontrar un dron que cumpla la legislación y, además aún no se ha demostrado que las ventajas de que un dron realice este tipo de tareas sean demasiadas.

Entrega de equipos vitales en el mar

Los drones ya se utilizan para ayudar a las misiones de búsqueda y rescate marítimas o incluso para detectar si alguien está en peligro. Pueden utilizarse para entregar un chaleco o una balsa salvavidas y así ayudar a salvar vidas. Los drones también pueden utilizarse para entregar piezas de repuesto para, por ejemplo, turbinas eólicas o el equipo para encender los derrames de

petróleo de los barcos. En general, se espera que los drones sean útiles para la entrega en alta mar de cargas de gran valor.

3.3. Limitaciones actuales para el uso de los drones

3.3.1. Entorno de operación

Es importante que el dron y su carga útil estén diseñados para resistir las condiciones del viento, de los espacios cerrados y del agua salada. Por otro lado, los pilotos deben saber manejar los dispositivos en las condiciones mencionadas.

3.3.2. Tecnológicas

Aspectos como la duración de las baterías, la fiabilidad como herramienta autónoma, las tecnologías de detección o el procesamiento y análisis de datos están siendo desarrollados. Otros avances como la seguridad, la automatización, la navegación en todos los espacios serán importantes para convertir esta tecnología en una solución más eficaz, económica y segura que las actualmente empleadas en muchas tareas de ámbito marítimo y naval. Muchas de los aspectos mencionados ya se han estudiado o están en proceso de desarrollo.

3.3.3. Legislativas

El progreso de la normativa está estrechamente vinculado al progreso tecnológico. Se deben tener los recursos necesarios para el diseño, fabricación y ensayos de drones, conocer la fiabilidad de estos y conocer el ámbito de estudio antes de trabajar en una normativa para ello. Como se ha comentado anteriormente, los drones llevan varios años utilizándose en el sector naval, y la normativa específica que regula algunos de sus usos entrará en vigor en enero del 2023³. Este hecho demuestra que el uso de drones en la industria naval no está extendido y que aún se deben realizar muchas pruebas y demostraciones referentes a sus beneficios.

³ IACS. UR Z29 Remote Classification Surveys. International Association of Classification Societies (IACS) [en línea]. Marzo 2022. [Consulta: octubre 2022]. Disponible en: <<https://iacs.org.uk/publications/unified-requirements/ur-z/?page=2>>

3.4. Ejemplos de empresas que utilizan los drones para algunas operaciones de inspección

3.2.1. Navantia

Actualmente la empresa ha desarrollado pruebas demostrativas, utilizando sensores LiDAR y meteorológicos y drones autónomos, sobre la posibilidad de utilizar vehículos no tripulados para inspección y diagnóstico de parques eólicos marinos.

Navantia ya apostó por los vehículos aéreos no tripulados en 2018 cuando realizó una demostración del uso de drones en la inspección del interior de tanque de carga de buques. Se comunicó que el dron se usaría en espacios poco accesibles en busca de defectos estructurales, como por ejemplo corrosión o fisuras. En ese momento valoró la posibilidad de desarrollar un VANT capaz de situarse y desplazarse sin necesidad de un sistema de GPS.

3.2.2. Mitma

El Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma), en colaboración con la Agencia Europea de Seguridad Marítima (EMSA) y la Dirección General de la Marina Mercante (DGMM), están llevando a cabo el control de las emisiones contaminantes de los buques en el Estrecho de Gibraltar. Se utiliza un dron, propiedad de la EMSA, que está dotado de cámaras y sensores de gas que miden el nivel de óxidos de azufre que expulsan los buques. Este dispositivo también realizará tareas de apoyo a los servicios de Salvamento Marítimo.



Figura 2. Dron de la EMSA – Fuente: ANAVE.

3.2.3. Bureau Veritas

En enero del 2021, Bureau Veritas llevó a cabo el proyecto piloto de inspección submarina en remoto utilizando drones, en el ferry "*Méditerranée*".

Esta inspección subacuática, evitó tener que subir el buque a dique seco y se pudieron inspeccionar los daños del casco satisfactoriamente gracias a los sensores y sistemas de control que tenía instalados el dron de *Notilo Plus*. Además, afirman que las inspecciones submarinas en remoto mejoran la seguridad, reducen el riesgo, el tiempo y los gastos, dando mejores resultados.



Figura 3. Dron subacuático Bureau Veritas – Fuente: Bureau Veritas.

Capítulo 4. Análisis de la normativa aplicada por parte de la IACS y otras administraciones.

Las Administraciones pueden autorizar a las Sociedades de Clasificación a certificar y expedir los certificados requeridos para el buque en su nombre. En ocasiones, las Administraciones forman parte del proceso activamente y no únicamente en el proceso de administración y control.

Dado que todas las Sociedades de Clasificación tienen como base la normativa de la IACS, a continuación, se comentan las reglas de esta asociación en cuanto al uso de los drones en las inspecciones en buques. Los documentos en los que se regula el uso de esta tecnología son los denominados *UR Z17* y *UR Z29*. El documento *UR Z17*⁴ sólo menciona los requerimientos para las empresas que realizan inspecciones remotas en el Apartado 3 del Anexo 1. En cambio, el documento *UR Z29*⁵ expone íntegramente la normativa sobre las inspecciones remotas; cómo y quién puede realizarlas, qué dispositivos utilizar, cómo se deben documentar los resultados, etcétera. Un aspecto importante para tener en cuenta sobre este último documento es que entra en vigor el próximo 1 de enero del 2023. Es decir, el uso de la tecnología de los drones para realizar inspecciones es un sector que actualmente no está normalizado en todos sus aspectos y aún le queda mucho camino por recorrer.

⁴IACS. (2021). *Procedural requirements for service suppliers - Rev.16 Aug 2021* (UR Z17). <https://iacs.org.uk/publications/unified-requirements/ur-z/ur-z17-rev16-cln/>

⁵ IACS. (2022). *Remote Classification Surveys* (UR Z29). <https://iacs.org.uk/media/8890/ur-z29.pdf>

4.1. Documento UR Z17. Requisitos de procedimiento para los proveedores de servicios

Empresas que se dedican a la inspección utilizando técnicas de inspección a distancia como medio alternativo para la inspección presencial de la estructura de los buques y de las unidades móviles en alta mar.

Alcance

- Inspección de la estructura de los buques mediante técnicas de inspección a distancia.
- Inspección en el agua por medio de un vehículo sumergible de control remoto (ROV).

Formación y cualificación de los operadores

El proveedor es responsable de la formación de sus operadores para realizar las inspecciones remotas. Los pilotos de los vehículos aéreos no tripulados deberán estar cualificados de acuerdo con los requisitos de las normas nacionales y deberán documentar conocimientos sobre:

- Las nomenclaturas marinas.
- La configuración estructural de los tipos de buques.
- El equipo de inspección a distancia y su funcionamiento.
- Los planes de inspección y vuelo de los espacios del casco.
- La medición de espesores y ensayos no destructivos (END), si aplica.
- El reconocimiento del deterioro estructural.
- El sistema de notificación de las inspecciones.

Inspectores

El Inspector deberá estar certificado y tendrá un mínimo de dos años de experiencia en la inspección de la estructura del buque y en la estructura del MOU.

Operadores

El Operador que realice la inspección deberá estar certificado y haber tenido al menos un año de experiencia en la realización de inspecciones de la estructura del buque y del MOU. Los operadores deberán tener la licencia necesaria para hacer uso de las tecnologías de inspección remota que se requiera.

Equipamiento

Se dispondrá del siguiente equipamiento:

- Plataforma operada a distancia con dispositivos de captura de datos y cámaras de alta definición capaces de operar dentro de un espacio cerrado.
- Medios de alimentación de las plataformas con capacidad suficiente para completar las inspecciones, incluidas las baterías de repuesto.
- Equipo de iluminación.
- Pantalla de visualización con alimentación en vivo de las cámaras de inspección.
- Dispositivos de registro de datos.
- Equipo para la realización de ensayos de espesores y ensayos no destructivos, si aplica.

Procedimientos y directrices

El proveedor deberá contar con procedimientos documentados y directrices con la siguiente información:

- Preparación de planes de inspección y vuelo con VANT.
- Funcionamiento de las plataformas operadas a distancia.
- Funcionamiento de la iluminación.
- Funcionamiento del equipo de recogida de datos y su calibración.
- Comunicación bidireccional entre el operador, la plataforma, el inspector y demás personal de apoyo como oficiales y tripulación del buque.
- Orientación del operador para inspeccionar la estructura completa.
- Orientación para el mantenimiento de las plataformas operadas a distancia, los dispositivos de captura y de datos y pantallas de visualización.
- Requisitos para la recogida, validación y almacenamiento de datos.
- Requisitos para la notificación de las inspecciones, de los daños y defectos encontrados durante la inspección y reparación.

Documentación y registros

El proveedor deberá mantener lo siguiente:

- Registros de formación y calibración.
- Certificados y licencias legales y reglamentarias del operador.
- Registro del equipo de los VANT necesario para realizar las inspecciones.
- Manuales y registros de mantenimiento y operaciones de los equipos.

Verificación

El cliente debe tener la verificación del inspector documentada en el informe con la firma del inspector.

4.2. Documento UR Z29 - Inspecciones de Clasificación remotas

1. Generalidades

Aplicación

Esta normativa debe ser aplicada uniformemente por las Sociedades de la IACS para los reconocimientos a distancia iniciados a partir del 1 de enero de 2023. Los requisitos mencionados se aplican a todos los buques y no son obligatorios para las unidades offshore.

2. Requisitos para la equivalencia

Los requisitos para la equivalencia de una inspección a una presencial son los siguientes:

- Elegibilidad del reconocimiento a distancia.
- Cualificación de los inspectores.
- Planificación, realización y evaluación de la inspección remota.

La equivalencia es válida cuando el inspector es capaz de:

- Obtener las pruebas requeridas de acuerdo con las normas aplicables.
- Verificar los elementos necesarios y hacer las pruebas pertinentes, teniendo los resultados de la inspección remota la misma garantía que los de la inspección presencial.
- Realizar la inspección con conexión a Internet para una visualización en directo. En el caso de verificaciones sencillas, el inspector podrá aceptar otros tipos de tecnologías.

Cualificación y control de los inspectores

Los inspectores que participen en las inspecciones remotas deberán estar cualificados según los procedimientos estándar para el tipo de buque y de inspección. La formación adicional requerida proporcionará los siguientes conocimientos:

- Conocimiento del software de inspección remota de la Sociedad de Clasificación.
- Conocimiento de aspectos técnicos, procedimientos y conectividad de las inspecciones remotas.

Los inspectores de la Sociedad que participen en tareas de clasificación remotas que no requieran de una inspección presencial deben estar formados de acuerdo con los procedimientos de dicha Sociedad.

La formación de la tripulación debe estar regulada por el convenio STCW y es una prerrogativa de la Administración del Estado de abanderamiento. La Administración puede exigir la formación de la tripulación en cuanto a las inspecciones remotas.

Planificación de la inspección remota

La planificación de la inspección remota es necesaria para garantizar que esta se lleva a cabo de acuerdo con los requisitos de la normativa. El contenido de la planificación se basará en el alcance de la inspección.

Para garantizar que el inspector pueda planificar la inspección adecuadamente, se deberá disponer de los medios adecuados que permitan al inspector y a la Sociedad:

- Interactuar con la tripulación que participa en la inspección durante todo el proceso.
- Acordar los medios de TIC que se utilizarán.
- Verificar que el personal que participa en la inspección está capacitado para utilizar los dispositivos electrónicos y los programas informáticos utilizados por la Sociedad.
- Adquirir la información necesaria sobre la identidad del personal que participan en la inspección.
- Informar del alcance de la inspección remota al personal que participe en ella, incluyendo las pruebas que se llevarán a cabo.
- Comunicar las acciones adicionales que puedan requerirse durante la inspección.

Para la planificación de la inspección remota, se debe proporcionar uno o varios de los siguientes medios:

- Conexión de vídeo y audio en directo.
- Intercambio de datos / documentos electrónicos.
- Otros medios aceptados por la Sociedad.

El propietario deberá proporcionar las facilidades necesarias para la ejecución segura de la inspección remota.

Evaluación de la inspección remota

El Inspector evaluará todas las pruebas recibidas y las validará antes de valorar la inspección. Los medios utilizados para la inspección remota deben permitir al Inspector recoger las pruebas necesarias que serán examinadas bajo su criterio profesional para completar y acreditar los elementos inspeccionados.

En caso de que el Inspector considere que la inspección remota no proporciona el mismo nivel de seguridad que una inspección presencial, podrá decidir no validar los elementos pertinentes.

3. Alcance y procedimientos

Ámbito de aplicación - Elementos de reconocimiento admisibles

Se podrá proponer una inspección remota como alternativa a una presencial en algunos casos.

Cuando la inspección de clasificación está relacionada con un elemento estatutario, y se está llevando a cabo la inspección en nombre de la Administración del Estado de abanderamiento del buque, se requiere la aceptación de la Administración, cumpliendo los posibles requisitos adicionales.

El inspector puede exigir que se confirmen los resultados de la inspección remota mediante una inspección presencial a bordo.

Calidad, integridad y precisión de la información digital

La evaluación de la calidad de la información digital recogida es responsabilidad del Inspector. El Propietario es el responsable de la integridad y exactitud de la información digital suministrada. La información digital presentada por el Propietario al Inspector debe reflejar la situación real del elemento inspeccionado. Se debe informar al inspector de la fecha y la hora en que se tomó la foto o el vídeo.

La Sociedad debe recopilar y almacenar la información digital como prueba de la inspección. No es necesario almacenar toda la información digital recibida, únicamente la que apoya la decisión final del inspector.

Requisitos para una inspección remoto sin transmisión en vivo

Cuando no se utilice la transmisión en directo, la comunicación y la recopilación de la información digital deberán ser a través de canales TIC aceptados por la Sociedad de Clasificación antes de la inspección.

Requisitos para una inspección a distancia con transmisión en directo

El armador debe asegurarse de que se cumple lo siguiente:

- El representante del armador estará presente a bordo y tendrá acceso a las zonas a inspeccionar.
- El representante del armador tendrá a su disposición un medio de comunicación visual y audible en dos sentidos de comunicación.

En el caso de que no se puedan cumplir estos requisitos, la inspección remota podría ser rechazada.

Requisitos de conectividad

El representante del armador debe asegurarse de que se realicen pruebas de conectividad a Internet antes de la inspección. Esta debe ser adecuada y mantenerse durante la inspección. La transmisión entre el inspector y la persona responsable en el buque debe ser en directo y debe alcanzar un grado de calidad suficiente para permitir el correcto reconocimiento.

En el caso de que no sea posible una conexión en directo o esta no pueda ser continua en el lugar de la inspección, el inspector podría aceptar imágenes y vídeo fuera de línea.

4. Tecnología de la información y la comunicación

En esta sección se describen los requisitos mínimos para el uso de las TIC que pueden capturar imágenes, vídeos y otros datos desde un buque.

Hardware

El armador es responsable de garantizar que el hardware utilizado para la inspección remota cumpla con los requisitos pertinentes para su uso y ubicación a bordo. Los dispositivos TIC son generalmente los siguientes:

- Dispositivo informático para recibir la transmisión de imágenes, datos y vídeos. Normalmente se trata de un ordenador compatible con la aplicación de software utilizada para la inspección remota.
- Un dispositivo autónomo a bordo que pueda incluir cámaras digitales para capturar imágenes, datos y vídeos.
- Accesorios de comunicación como auriculares y micrófono para utilizar en entornos ruidosos en los casos en los que se consideren necesarios.

El dispositivo inteligente puede ser un *smartphone*, una tableta, un ordenador, una cámara digital o cualquier otro dispositivo que pueda conectarse a la red y sea capaz de transmitir datos e imágenes. Las funcionalidades mínimas del dispositivo deben ser las siguientes:

- Conexión en directo.
- Comunicación de voz directa bidireccional.
- Posibilidad de realizar capturas de pantalla.

Aspectos a tener en cuenta:

- Cuando sea necesario, se utilizará un dispositivo antivibración para proporcionar una estabilidad apropiada.
- La pantalla del dispositivo debe tener una calidad de imagen suficiente para permitir al inspector tomar una decisión sobre el reconocimiento.
- El equipo portátil a bordo debe estar lo suficientemente cargado para poder estar disponible durante todo el tiempo previsto para la inspección.

Conectividad a Internet

Los dispositivos deberán tener la capacidad de transmitir las imágenes, vídeos y datos a través de una conexión móvil, Wi-Fi o por Satélite. Cuando la transmisión sea en directo, la conexión debe ser lo suficientemente buena para garantizar la calidad de las imágenes y vídeos.

Software y seguridad de los datos

El inspector controlará la videollamada en directo, dando instrucciones en directo al personal y supervisando la inspección.

El software utilizado para realizar las inspecciones remotas puede estar provisto de tecnologías que apoyen al inspector en el proceso de toma de decisiones. Algunas de estas tecnologías podrían ser las siguientes:

- Inteligencia Artificial (IA) para el reconocimiento de los defectos.
- Internet de las cosas (IoT) para recoger parámetros y evaluar el estado de funcionamiento de la maquinaria y los equipos.
- Verificación basada en datos u otros medios aceptados por la Sociedad.

El software o aplicación utilizado debe ser compatible con los siguientes requisitos técnicos y con los de la Sociedad de Clasificación:

- Ciberseguridad.
- Protección de datos y confidencialidad de los datos transmitidos

Durante la preparación de la inspección, es responsabilidad del propietario asegurarse de que sus Políticas de Protección de Datos se aplican de acuerdo con el Sistema de Gestión de la Seguridad de la Sociedad de Clasificación.

5. Registro de las pruebas e informe de la inspección

Las inspecciones remotas se realizarán, principalmente, utilizando vídeos y audio en directo. Si el inspector lo solicita, se podrán utilizar algunas de las siguientes pruebas:

Fotos y/o vídeos grabados

Se deberá disponer de la siguiente información: fecha y hora en la que se tomaron, identidad de la persona responsable de la toma de pruebas, confirmación de que se tomaron por el representante del armador.

Declaración del capitán y/o del jefe de máquinas

Se podrán complementar las pruebas entregadas con una declaración firmada por el capitán y/o el jefe de máquinas confirmando el estado de los elementos mostrados en dichas pruebas.

Cuaderno de bitácora del buque

El capitán hará anotaciones en el diario de a bordo en las siguientes ocasiones:

- Cuando el inspector lleve a cabo una inspección remota.
- Cuando se tomen vídeos y/o fotos y se presenten al inspector con la declaración anterior.

Confirmación del propietario

El representante del propietario o el capitán deberá confirmar la exactitud de la información y pruebas proporcionadas. Esta confirmación puede incluirse en la solicitud de peritaje.

Conservación de pruebas

Las pruebas presentadas se conservarán de acuerdo con los procedimientos de la Sociedad. No es necesario que se guarden los vídeos y audios en directo, a menos que el inspector lo considere necesario.

Otros documentos de apoyo

EL inspector podría solicitar la presentación de documentos complementarios, como informes de mantenimiento o los registros de funcionamiento de la maquinaria y equipos. Se verificará que los documentos estén debidamente preparados, pero no será necesario que la Sociedad los archive como prueba.

Informe de la inspección remota

El informe de la inspección remota se emitirá de acuerdo con el procedimiento de la Sociedad y deberá incluir la siguiente información adicional:

- Indicación de que el reconocimiento se ha realizado a distancia.
- Descripción de los medios utilizados durante el reconocimiento a distancia.
- Indicación de las pruebas aportadas.
- Confirmación de la autorización de la Administración del Estado de abanderamiento, si procede.

4.3. Normativa ATEX

Debido a la naturaleza de algunas de las sustancias transportadas en buques, en algunas ocasiones se crean atmósferas explosivas en las que se deben tomar precauciones con el fin de evitar accidentes. Para llevar a cabo algunas de las actividades de inspección y mantenimiento de un buque, se debe acceder a estos espacios peligrosos por lo que es importante tener en cuenta las normativas referentes a las atmósferas explosivas.



Figura 4. Señal de zona con riesgos de atmósferas explosivas – Fuente: Seguridad Industrial y Ciudadana

La normativa ATEX hace referencia tanto a la seguridad de las personas como de las instalaciones y aparatos que trabajen en este tipo de atmósferas. El *Real Decreto 681/2003*⁶ regula cómo deben ser las instalaciones que se encuentren en atmósferas explosivas. Por otro lado, el *Real Decreto 144/2016*⁷ regula cómo deben ser los aparatos y sistemas que se utilicen. Para este proyecto se deberá tener en cuenta la normativa ATEX ya que los drones y su carga útil deberán cumplir con estas normativas para poder ser utilizados en los buques tratados.

Real Decreto 681/2003

Este documento clasifica las diferentes áreas peligrosas en las que pueden crearse atmósferas explosivas. Además, obliga al armador a tomar las medidas necesarias para impedir la formación de atmósferas explosivas y, en el caso en el que no sea posible, se deben destinar esfuerzos para mejorar la seguridad y protección de los trabajadores expuestos a estas atmósferas.

Real Decreto 144/2016

Este documento indica las obligaciones que cada responsable debe asumir para que los aparatos y sistemas que se utilicen en atmósferas explosivas sean adecuados. También se indican las sanciones en caso de no cumplir con la normativa.

Se clasifican en diferentes grupos y categorías los aparatos que se pueden utilizar en este tipo de atmósferas y se regula cada una de las categorías. También se regulan los requisitos de diseño que deben tener dichos aparatos.

⁶ Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo, Real Decreto n.º 681/2003 (2003, 18 de junio) (España). *Boletín Oficial del Estado*, (145). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-12099>

⁷ Real Decreto 144/2016, de 8 de abril, por el que se establecen los requisitos esenciales de salud y seguridad exigibles a los aparatos y sistemas de protección para su uso en atmósferas potencialmente explosivas y por el que se modifica el Real Decreto 455/2012, de 5 de marzo, por el que se establecen las medidas destinadas a reducir la cantidad de vapores de gasolina emitidos a la atmósfera durante el repostaje de los vehículos de motor en las estaciones de servicio, Real Decreto n.º 144/2016 (2016, 14 de abril) (España). *Boletín Oficial del Estado*, (90). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2016-3539>

Capítulo 5. Definición del ámbito de estudio.

Actualmente hay diferentes aplicaciones de los drones como por ejemplo en el sector comercial, en la construcción, en el ámbito militar o en la agricultura. Este proyecto se centra en el uso de los drones en el ámbito industrial.

Como se ha comentado en apartados anteriores, actualmente se utilizan los drones para realizar inspecciones remotas de partes del buque de difícil acceso, o que suponen un riesgo para los inspectores o como elemento de vigilancia de embarcaciones navegando o instalaciones offshore. Además, se mejora la inspección visual ya que se pueden obtener imágenes de forma continua y localizada, algo más difícil de conseguir con la mera inspección ocular, lo que permite conseguir una mayor fiabilidad sobre los elementos inspeccionados. Lo que este proyecto pretende estudiar son otro tipo de aplicaciones de los drones en la industria marítima con el objetivo de aumentar la seguridad del personal, de la carga y del medio ambiente en tareas asociadas al desempeño de los oficiales al momento de tener los buques a punto para su carga (limpieza, seguridad y condiciones óptimas de los espacios de carga, tanques, bodegas y demás áreas dispuestas para ello).

Se van a considerar cuatro tipos de buques para realizar el estudio de sus peligros a bordo y cuáles serían las mejores soluciones y acciones que tomar utilizando drones. Los tipos de buque que se van a analizar son los siguientes:

5.1. Petroleros

Un petrolero es un buque adaptado para poder transportar crudo o productos derivados del petróleo. Es muy importante que la estructura de este tipo de buque sea resistente. Es por eso por lo que, para proteger la carga, estos buques deben estar contruidos con doble casco. Esto también evitará los posibles accidentes que puedan ocurrir por entrar en contacto la carga con el aire del exterior del tanque. Además, teniendo en cuenta la peligrosidad de la carga que transportan, la tripulación que trabaja en este tipo de buques debe tener una amplia formación en seguridad y posibles riesgos a los que están expuestos.



Figura 5. Petrolero - Fuente: NauticExpo

Los peligros más habituales en todo tipo de buques petroleros son los siguientes:

Carga

Las cargas transportadas en petroleros son inflamables, ya que la mayoría liberan gases que forman mezclas inflamables y tóxicas perjudiciales para la salud que podrían dar lugar a explosiones.

Electricidad estática en un tanque

En el caso en que quede alguna carga eléctrica dentro de un tanque y ésta entre en contacto con cualquier objeto metálico, podría producirse una chispa que provocaría una explosión. Es importante detectar estas cargas eléctricas para prevenir posibles accidentes.

Gas inerte

El gas inerte es imprescindible en un buque petrolero ya que se considera la principal fuente para prevenir incendio. Sin embargo, si se inhala, es nocivo para los humanos.

Sulfuro de hidrógeno (H₂S)

El sulfuro de hidrógeno suele estar presente en los hidrocarburos. Su concentración se suele reducir antes de la carga, pero queda una pequeña cantidad remanente que puede ser tóxica, inflamable y corrosiva.

Espacios cerrados

Los espacios cerrados de un petrolero son muchos ya que además de los tanques, zonas como la sala de bombas también se consideran espacios cerrados. A la hora de realizar trabajos o inspecciones dentro de estos espacios, se deben tomar las precauciones necesarias y, si es preciso, comprobar la atmósfera. El contenido de oxígeno debe ser de al menos 21%, el nivel de

límite inferior de inflamabilidad (LFL) no debe ser superior al 1% y debe estar libre de gases tóxicos. Durante el trabajo, se debe seguir ventilando el espacio.

5.2. Quimiqueros

Los buques quimiqueros se dedican al transporte de productos químicos.



Figura 6. Quimiquero - Fuente: Ingeniero Marino

Las cargas químicas presentan riesgos que vienen determinados por sus siguientes características:

- Punto de inflamación

Es la temperatura más baja a la que el líquido desprenderá vapor suficiente para formar una mezcla de gas inflamable con el aire. Es importante conocer el punto de inflamación de las sustancias transportadas para poder conocer en qué estado están.

- Temperatura de autoignición

Es la temperatura más baja a la que debe llegar para que se produzca la autocombustión.

- Límites de inflamabilidad

Son las concentraciones mínima y máxima de gas o vapor inflamable entre las que puede producirse la ignición. La concentración mínima de vapor se conoce como:

- Límite inferior de inflamabilidad LFL.
- Límite inferior de explosividad LIE.

La concentración máxima de vapor se conoce como:

- Límite superior de inflamabilidad UFL.
- Límite superior de explosividad UEL.
- Punto de ebullición

Un líquido entra en ebullición cuando la presión de vapor sea igual a la presión atmosférica exterior.

- Punto de congelación y fusión

Superar la temperatura de trabajo de la estructura y equipamiento del buque puede tener consecuencias negativas para este. En caso de que se necesite transportar una sustancia a una temperatura demasiado alta o baja, esta se deberá controlar que no esté fuera del rango permitido.

- Punto de fluidez

Es la temperatura más baja a la que el líquido fluye. Es importante tenerla en cuenta para que pueda ser bombeada y transportada por el sistema.

- Viscosidad

La viscosidad es la capacidad de un líquido para fluir. Se suele determinar midiendo el tiempo necesario para que un volumen fijo fluya por gravedad a través de un tubo a una temperatura fija. A medida que aumenta la temperatura del líquido, su viscosidad disminuye y fluye con mayor facilidad.

- Carga electrostática

En los combustibles, las cargas electrostáticas se forman cuando estos se manipulan en operaciones de vertido, mezclado, carga o descarga, y se ponen en contacto con otros materiales. La electricidad estática puede acumularse en cantidad suficiente en los líquidos como para liberar una chispa que podría encender la atmósfera inflamable de un tanque.

- Expansión

Los líquidos se expanden cuando su temperatura aumenta. Es importante que se asigne el espacio suficiente en el tanque para evitar que cualquier expansión pueda ejercer demasiada presión sobre las paredes del tanque. También se debe controlar la temperatura de la carga.

- Color

Para determinar si el color de una sustancia es correcto, se compara el color de una muestra de dicha sustancia con un color estándar medido en condiciones controladas. Esta prueba permitirá saber si la sustancia ha estado en contacto con otras que han estado previamente en el mismo tanque.

Salud

La mayoría de los productos químicos presentan peligros para la salud como, por ejemplo, ser corrosivos, venenosos, producir vapores tóxicos, suponer riesgo de asfixia, provocar daños en el sistema nervioso y ocular y tener efectos cancerígenos a largo plazo.

- Asfixia

La asfixia es la inconsciencia causada por la falta de oxígeno. Cualquier vapor puede causar asfixia, en el momento en el que se excluye el oxígeno del aire.

- Anestesia

Ciertos vapores provocan pérdida de conocimiento debido a su efecto sobre el sistema nervioso.

Espacios cerrados

Los espacios cerrados pueden contener vapores inflamables o tóxicos o puede que la concentración de oxígeno no sea suficiente para una entrada segura al espacio. Es por eso que antes de entrar a estos espacios, es necesaria la ventilación de estos y la medición de la concentración de los gases presentes.

En la cubierta de los quimiqueros también se deben hacer mediciones de los gases presentes en la atmósfera ya que debido a los flujos de aire es posible que los flujos de aire se disipen.

5.3. Gaseros

Una misma cantidad de una sustancia, ocupa más espacio estando en estado gaseoso que en estado líquido. Para que cada viaje de estos buques sea más rentable, el gas se transporta en estado licuado. La temperatura a la que se condensa un gas depende de la presión de este. La combinación de presurización y refrigeración es importante para el diseño de este tipo de buque.



Figura 7. Gasero - Fuente: Ingeniero Marino

Los peligros más comunes en buques gaseros son los siguientes:

Peligros personales

Los peligros que una persona puede sufrir a bordo de un gasero son debidos a la peligrosidad de la carga y se producen cuando se entra en contacto con esta.

- Inflamabilidad y quemaduras
- Toxicidad
- Asfixia
- Hipotermia

Reactividad

Una carga de gas licuado puede reaccionar con varios elementos dando lugar a diferentes reacciones.

- Reacción con el agua
- Auto reacción

Algunas cargas pueden reaccionar consigo mismas. La OMI exige que estas cargas se transporten bajo un nivel mínimo de gas inerte o se inhiban antes del embarque. En el caso de tener que transportar la carga bajo gas inerte, hay que asegurarse de que se mantiene una presión positiva en todo momento y de que la concentración de oxígeno nunca supera el 0,2%.

- Reacción con el aire

Algunas cargas pueden reaccionar con el aire pudiendo causar una explosión. La OMI exige que estas cargas sean inhibidas o transportadas un gas inerte.

- Reacción con otras cargas

Para evitar reacciones entre cargas, estas no deben mezclarse. Es por esto por lo que se utilizan tuberías y sistemas independientes para cada carga.

- Reacción con materiales

Los materiales utilizados en los sistemas de carga deben ser compatibles con las cargas y no se deben utilizar materiales incompatibles durante el mantenimiento.

Baja temperatura

Dado que el gas licuado se transporta a menudo a bajas temperaturas, los equipos de detección de temperatura deben estar bien mantenidos y calibrados con precisión para poder tener los datos de temperatura correctamente monitorizados.

Las bajas temperaturas de la carga pueden congelar el agua del sistema, lo que puede provocar la obstrucción y daños en bombas, válvulas, líneas de sensores, líneas de pulverización, y demás elementos. El hielo puede formarse a partir de la humedad en el sistema o agua en la carga, por lo que se debe medir la concentración de las sustancias mencionadas en los tanques.

Cargas electrostáticas

En el caso en que los gases estén contaminados con óxidos metálicos u otras partículas, se aumentará la probabilidad de generar cargas electrostáticas. Se deberá controlar que las cargas no estén contaminadas y también el flujo de cargas electrostáticas

5.4. Buques de carga a granel

Los buques de carga a granel o, también llamados graneleros, transportan productos sin ningún tipo de embalaje en grandes cantidades. Generalmente se transportan granos alimenticios, minerales o cemento.



Figura 8. Buque de carga a granel - Fuente: NauticExpo

La cubierta principal de los graneleros modernos tiene una capacidad estructural de entre 2,0 y 2,5 t/m² de carga uniformemente distribuida. Las bodegas, por otro lado, están diseñadas para grandes cargas.

Los peligros más comunes en los buques de carga a granel dependen de la carga que estén transportando. Los más comunes se mencionan a continuación:

Polvo proveniente de la carga

Algunas de las cargas que se transportan a granel son polvorientas, lo que supone un riesgo para la tripulación. Las partículas de polvo pueden inhalarse y tener consecuencias graves para la salud. Se debe evitar la exposición al polvo de la carga y llevar mascarilla si no puede evitarse esta exposición. Antes de exponerse a un ambiente donde hay posibilidad de tener altas concentraciones de polvo, es importante inspeccionar la atmósfera.

Agotamiento del oxígeno

Algunas de las cargas transportadas a granel como, por ejemplo, la madera o productos agrícolas, pueden provocar un agotamiento del oxígeno y la formación de dióxido de carbono. Este fenómeno se produce mayoritariamente en las bodegas de carga donde pueden generarse atmósferas tóxicas. La entrada del personal a este tipo de espacios no debe hacerse sin antes ventilar la zona e inspeccionar la atmósfera.

Contaminación de la carga

Es una tarea muy importante preparar de manera adecuada las bodegas para la siguiente carga una vez se han descargado. Se deben inspeccionar las bodegas para comprobar que no quedan restos de la sustancia anterior ya que esto podría influir en la calidad de la carga y provocar contaminaciones peligrosas tanto para la carga, como para la estructura de la embarcación y para la tripulación.

Incendio

Las cargas transportadas a granel presentan riesgos de incendio ya que son propensas a calentarse durante el viaje. El polvo que crean algunas de las sustancias podría formar mezclas explosivas con el aire. Es por eso por lo que las precauciones contra incendios deben tenerse muy en cuenta en este tipo de buques. También es importante controlar las zonas de carga para presenciar cantidades excesivas de sustancias y polvos peligrosos.

Capítulo 6. Hardware de los drones.

Antes de definir cuáles son las cargas útiles más adecuadas, es importante definir los elementos principales del dron que harán posible su movimiento y control en los espacios deseados.

6.1. Elementos principales

Componentes mecánicos

1. **Marco (*frame*).** Es la estructura o esqueleto del dron, donde se instalan el resto de los componentes. Debe aportar rigidez y estabilidad a la maquinaria.
2. **Brazos y hélices.** Se instalarán tanto brazos y hélices como rotores que tenga el dron. Los brazos sustentan las hélices, que son las encargadas de impulsar y estabilizar el vehículo. En función del número de brazos y hélices, el dron se denominará de una forma u otra (tricóptero, cuadricóptero, hexacóptero, etc).
3. **Motor.** Es el encargado de hacer girar las hélices y, por lo tanto, mantener el vuelo del dron. Las hélices se conectan en la parte exterior de la estructura.
4. **Módulo frontal complementario.** Se trata de un módulo que se podrá instalar de forma opcional para poder añadir más funcionalidades al UAV. Este módulo tiene el inconveniente de que añadirá peso al dispositivo.
5. **Iluminación artificial.** En los casos en los que el espacio a inspeccionar esté poco iluminado, el dron tendría dificultades para realizar correctamente su trabajo. Montar un sistema de iluminación proporcionaría una mejor visión del espacio.

Componentes eléctricos

6. **Control electrónico de velocidad (ESC - *Electronic Speed Control*).** Regulan la potencia eléctrica para controlar el giro de los drones con eficiencia.
7. **Batería.** Proporcionan la energía necesaria para alimentar a todos los componentes eléctricos del equipo. Son muy pesadas, por lo que deben escogerse muy bien para que den la máxima autonomía siendo lo menos pesadas posible.

8. **Control remoto.** Es el dispositivo que controla el dron y que nos permitirá manejarlo desde donde estemos.
9. **Placa controladora.** Tiene la información del estado del dron y la transmite al ESC para conseguir la estabilidad necesaria. Toma los datos de salida de diferentes sensores para conocer su posición y movimientos y así, poder modificar su velocidad.
10. **Gimbal y cámara.** En la estructura del dron se puede incorporar una cámara, que irá instalada en un estabilizador o gimbal, con el objetivo de que los movimientos de este no afecten a las imágenes.
11. **Antena de radiocontrol.** Recibe las señales del mando de control remoto y las gestiona para ejecutar la instrucción dada.
12. **Sistema de navegación.** El dron debe ser capaz de situarse en todo momento para que el controlador pueda volar el dron pudiendo conocer su posición y evitando obstáculos. Se deberá estudiar cuál es el mejor sistema de navegación para cada caso ya que no se recomienda que exista el riesgo de perder la conexión.

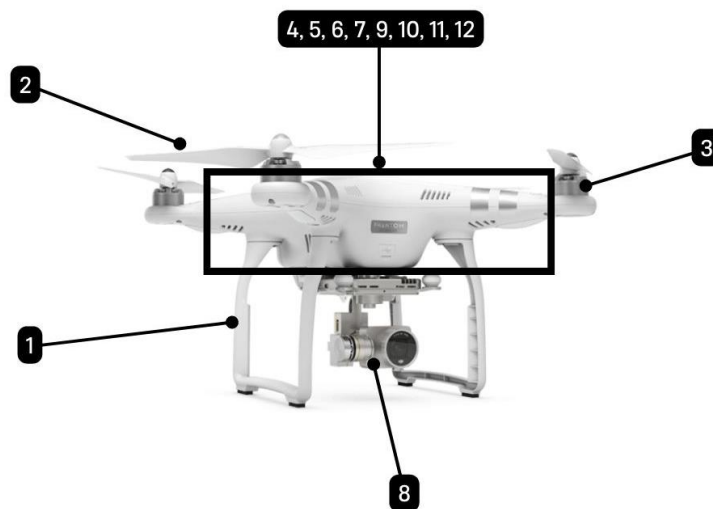


Figura 9. Partes de un dron – Fuente: DJI. Phantom 4.

6.2. Tipos de drones

Según el tipo de alas

- **Dron de ala fija.** Están equipados con alas que no rotan y ofrecen una mejor aerodinámica que otros tipos de drones. Tienen la capacidad de planear y eso se resume en una mayor autonomía y estabilidad aerodinámica. Estos drones no pueden realizar vuelos estáticos ya que necesitan cierta velocidad para mantenerse en el aire.



Figura 10. Dron de ala fija – Fuente: MundoGeo

- **Dron multirotor.** La sustentación de estos drones es a través de las hélices de los rotores. Dependiendo del número de rotores podemos encontrar diferentes tipos de drones multirotor. Una de sus ventajas es que puede realizar vuelos estáticos.
 - **Tricóptero.** Tienen 3 motores.
 - **Cuadricóptero.** Tienen 4 motores.
 - **Hexacóptero.** Tienen 6 motores.
 - **Octocóptero.** Tienen 8 motores.
 - **Coaxiales.** Su característica principal es que tienen dos motores por cada brazo, permitiéndoles realizar más esfuerzos.



Figura 11. Dron multirotor – Fuente: DroneDeploy's Blog

Según el método de control

- **Dron autónomo.** Vuelan sin necesidad de un piloto remoto. Tienen sistemas que planifican y programan las rutas. La unidad de control utiliza varias fuentes de información para conocer las características del entorno y reacciona según unas órdenes predefinidas.

Una de las funciones relacionadas con los drones autónomos, es el sistema de evasión de obstáculos. En el caso que el dron detecte cualquier obstáculo a menos de una distancia previamente programada, intentará evitarlo volando en dirección contraria.

- **Dron por control remoto.** Necesitan un piloto controlando el mando remoto.

El dron utilizado para ser acompañante del oficial a bordo del buque debe ser un dron de pequeñas dimensiones, capaz de entrar en espacios de difícil acceso y realizar trabajos de corto alcance. Es por ese motivo por el que la apariencia del tipo de dron necesario para este proyecto debe ser parecida al de la Ilustración 12.



Figura 12. Dron creado por DNV-GL para inspecciones – Fuente: DNV-GL (ADRASSO).

Capítulo 7. Especificaciones de los datos a recolectar.

Para conocer los datos que se necesitan recolectar en operaciones en los buques, primeramente, se deben estudiar cuáles son las actividades que se realizan y de qué forma se llevan a cabo y conocer el riesgo que suponen para los trabajadores y la carga. A continuación, se mencionan las operaciones realizadas más habitualmente tanto para mantenimiento como para inspecciones en buques petroleros, quimiqueros, gaseros y graneleros, así como los datos que se recogen en las actividades mencionadas. Se debe anotar que sólo se mencionan las operaciones en las que un dron podría reemplazar las acciones realizadas por trabajadores.

7.1. Operaciones en buques

En este tipo de buques en los que se transportan mercancías peligrosas, cualquier error podría suponer una catástrofe que provocaría consecuencias sobre la carga, la tripulación o el medio ambiente. Es por eso por lo que es una tarea muy importante tener monitoreados valores sobre la carga y el entorno para así poder evitar riesgos sin alguno de los valores se encontrase fuera del rango establecido.

La operación más común a la hora de realizar el mantenimiento o inspecciones en el tipo de buques mencionados es la entrada a tanques o espacios cerrados. Antes de entrar a un tanque o espacio cerrado, es imprescindible que se realicen algunas mediciones para comprobar la cantidad de oxígeno, gases inflamables o tóxicos presentes. A continuación, se listan las mediciones e inspecciones que son importantes a realizar antes de la entrada a un espacio cerrado.



Figura 13. Entrada a un tanque – Fuente: Marine Insight

7.1.1. Comprobar los valores de las características de la carga

Muestreo

El objetivo de este procedimiento es obtener una muestra de la carga de un tanque en concreto. Para tener una muestra representativa de toda la carga, es necesario extraer pequeñas muestras de varias alturas del tanque como son la superficie, el fondo o parte media. El equipo de muestreo debe estar limpio antes de empezar el procedimiento. El envase en el que se recoja la muestra debe identificarse lo antes posible con la siguiente información; fecha y hora de la muestra, nombre y tipo de la sustancia recogida, número de referencia y nombre del representante del buque.

Con una muestra de la sustancia del tanque se podrá observar a siempre vista su color y se podrá comparar con el color estándar medido. De esta manera se sabrá si la sustancia está contaminada.

Sin embargo, aunque con esta prueba se obtenga mucha información sobre el estado de la carga, el objetivo de la implementación de un dron en el buque no será el de recoger muestras de la sustancia transportada, por lo que no se necesitará implementar ningún sistema que le permita hacerlo.

Temperatura

La temperatura se debe medir en cada uno de los tanques de carga y espacios cerrados de buque. En el caso de los buques petroleros, el procedimiento e instrumentos para la medición de la temperatura de la carga se regula en el Capítulo 7 del MPMS (*Manual of Petroleum Measurement*

Standards) del API (*American Petroleum Institute*). Este documento indica que la temperatura se debe tomar en la parte superior, media e inferior del tanque.

Conociendo la temperatura de la carga y el punto de inflamación, el punto de ebullición y la temperatura de autoignición de esta, se podrá analizar y valorar si esta está dentro de sus límites normales y no supone ningún peligro para la tripulación.

7.1.2. Comprobar estado de la atmósfera de los tanques

Inspección de atmósfera libre de gas

Desgasificar o inertizar un tanque es una actividad se hace con el objetivo de que el acceso a estos sea seguro. Esta acción se realiza antes de entrar a un espacio cerrado. La atmósfera que se quiere conseguir se denomina atmósfera “*Gas Free*” y es no tóxica, no asfixiante y no inflamable. La desgasificación consiste en ventilar, introducir aire fresco para extraer los gases tóxicos e inflamables. Después de realizar esta acción, se deberán comprobar algunos valores de la atmósfera de los espacios del buque.

Para asegurar que la atmósfera de un tanque y del buque en general es segura para la entrada de los trabajadores, se deben cumplir los siguientes requisitos.

1. Una vez descargados todos los vertidos del buque, se deberán limpiar todos los compartimentos, tuberías y bombas que hayan estado en contacto con la carga.
2. Los compartimentos, cámaras de bombas y espacios vacíos deben estar abiertos y libres de sustancias líquidas y vapores.
3. Se inspeccionarán las siguientes partes del buque y con ayuda de un indicador de gases se determinará la presencia de vapores inflamables:
 - a. Tuberías
 - b. Tanques de carga y espacios vacíos
 - c. Salas de bombas
 - d. Tanques de lastre, de decantación, de residuos, de combustible

Se considerará que un buque está libre de gas si el Inspector considera que todos los espacios mencionados están libres de vapores inflamables.

Cargas electrostáticas

Es importante controlar los valores de las cargas electrostáticas presentes en los buques ya que si son muy elevados podrían provocar descargas a las personas y, por consecuencia, provocar

accidentes. Una persona es capaz de percibir una descarga a partir de 1,5 mJ para una diferencia de potencial de 2000 V. Por otro lado, la descarga para inflamar un gas o vapores de hidrocarburos por chisca se encuentra alrededor de 0,25 mJ. Por lo tanto, cualquier descarga que una persona sea capaz de sentir debe considerarse peligrosa.

Humedad

La humedad se define como la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Su presencia afecta tanto a la comodidad de las personas como al desgaste de los equipos y sistemas. Además, puede influir en procesos químicos y físicos de las cargas transportadas.

Temperatura

Conocer la temperatura en distintos puntos del buque aporta información sobre el estado y funcionamiento de los equipos y sistemas. Esta es una forma de identificar posibles averías. Además, un aumento de la temperatura ambiente podría ser señal de algún problema con la carga.

Gases

- Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono es un gas inodoro e incoloro que pasa desapercibido, por lo que es importante tenerlo monitorizado a través de un sensor. Es un gas creado a partir de procesos de combustión. Las consecuencias de la intoxicación por CO son mareos, vómitos, pérdida de la coordinación muscular, pérdida de consciencia y confusión mental, entre otros.

- Dióxido de carbono (CO₂)

El CO₂ no es un gas tóxico, pero causa el desplazamiento del oxígeno y en concentraciones altas puede causar efectos negativos en las personas. A partir de una concentración de 5000ppm, son comunes los dolores de cabeza, la interrupción del sueño, la irritación emocional y la lentitud mental.

- Óxidos de nitrógeno (NO_x)

La exposición a altos niveles de óxidos de nitrógeno podría producir quemaduras, espasmos y problemas en el sistema respiratorio, reduciendo la cantidad de oxígeno que llega a los tejidos del cuerpo.

- Óxidos de azufre (SOx)

El más común es el dióxido de azufre (SO₂), que es un gas irritante y tóxico que afecta al sistema respiratorio provocando tos, irritaciones, congestiones, reacciones asmáticas e incluso paradas respiratorias. Los efectos de los SOx empeoran al entrar en contacto con las partículas del aire y la humedad ya que se forma ácido sulfúrico.

- Sulfuro de hidrógeno (H₂S)

El sulfuro de hidrógeno es un gas que se forma naturalmente en petróleo crudo y gas natural. Puede acumularse en zonas bajas y cerradas, con poca ventilación. En concentraciones bajas puede producir irritación de ojos, nariz y garganta, dolores de cabeza y dificultad para respirar. En concentraciones altas produce incapacidad para respirar, convulsiones e incluso la muerte.

- Oxígeno (O₂)

Antes de entrar a un tanque o espacio cerrado la persona responsable debe asegurarse de que el porcentaje de oxígeno no es inferior al 21%. Una concentración inferior de oxígeno podría provocar dificultad para respirar, pérdida del conocimiento o incluso la asfixia.

- Metano (CH₄)

Se trata de un gas que empeora la calidad del aire y, por lo tanto, afecta a la seguridad humana. Los efectos de este gas sobre el cuerpo humano son los siguientes: irrita las vías respiratorias, causa problemas pulmonares, altera la respuesta del sistema inmunológico y genera sensación de falta de aire.

Material particulado (PM)

A la mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas que se encuentran en el aire, se la denomina material particulado (PM). Algunas de estas partículas son lo suficientemente grandes como para verlas a simple vista. Otras, son tan pequeñas que sólo pueden verse a través de un microscopio. Existen dos tipos de partículas en función de su tamaño.

- **PM₁₀**. Partículas que tienen un diámetro de 10 micrómetros o menos.
- **PM_{2,5}**. Partículas que tienen un diámetro de 2,5 micrómetros o menos.

Estas partículas pueden tener muchos formatos y estar formadas por diferentes elementos químicos. Algunas, se emiten directamente desde una fuente, mientras que otras, se forman en la atmósfera debido a reacciones químicas.

La inhalación de material particulado puede provocar graves problemas respiratorios e incluso llegar a afectar el sistema sanguíneo.

Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son hidrocarburos que se presentan en estado gaseoso a la temperatura ambiente o que son muy volátiles a dicha temperatura.

Los COV afectan tanto al medioambiente como a los humanos. Estos son inhalados por las personas o también pueden entrar al cuerpo a través de la piel. Sus consecuencias son problemas respiratorios, irritación de ojos y garganta o dificultad de concentración, entre otros. A largo plazo podrían causar daños renales, hepáticos o al sistema nervioso central.

Los más comunes son los siguientes:

- Combustibles
- Aceites y desengrasantes
- Disolventes y pinturas
- Plásticos

7.1.3. Comprobar estado estructural de los tanques

Aunque no sea el objetivo principal de la implementación de un dron, la cámara de este podría utilizarse para detectar anomalías en la estructura del tanque. Principalmente podría utilizarse para una primera evaluación del estado general del tanque, comprobando los siguientes aspectos:

Corrosión

Se trata del deterioro del material metálico de la estructura del tanque a causa de las posibles reacciones químicas producidas con la carga transportada. Esta es la causa más frecuente de deformaciones y fracturas.

Fracturas

Se producen debido a una tensión concentrada en el acero debilitado y, principalmente, como consecuencia de la corrosión y defectos de soldadura.

7.1.4. Limpieza de tanques

La acumulación de lodos en los tanques puede ocultar defectos graves y favorecer el deterioro estructural, además de contaminar la siguiente carga a transportar. Por este motivo es importante eliminar el exceso de residuos lavando los tanques lo suficiente para poder visualizar los defectos.

Medición OBQ y ROB

Cuando un tanque se descarga, pueden quedarse adheridas a sus paredes pequeñas cantidades de la sustancia anterior. Esta mezcla de carga, agua, lodos y sedimentos que quedan en el tanque una vez descargado, se denomina ROB (Remaning On Board). Es importante saber si quedan sustancias remanentes en el tanque para poder deshacernos de ellas y que no contamine la siguiente carga.

Cuando se va a empezar a cargar una sustancia, se debe verificar que no quedasen restos de la sustancia anterior dentro del tanque. Esto podría contaminar la sustancia a cargar. A esta sustancia remanente que se encuentra antes de realizar una operación de carga se le denomina OBQ (On Board Quantity).

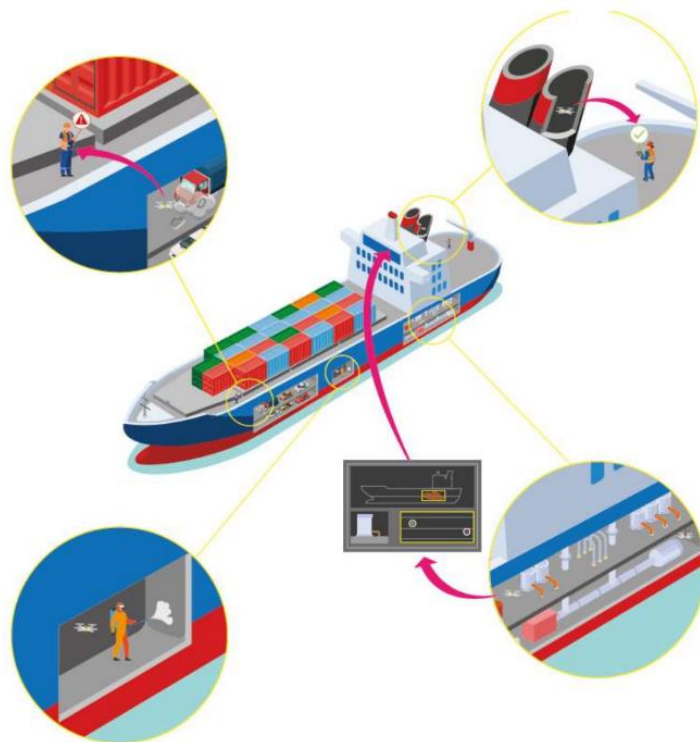


Figura 14. Diferentes operaciones en las que el dron puede acompañar a los oficiales durante sus tareas de inspección – Fuente: Imagen proveída por el Tutor.

Capítulo 8. Definición y selección de la carga útil a utilizar

Se entiende por carga útil, al conjunto de instrumentos y dispositivos que realizarán la toma y recolección de datos durante la misión del vehículo. El diseño del VANT requiere la instalación de los dispositivos necesarios para conocer de manera precisa el estado, la posición y la velocidad de la plataforma durante el vuelo. Asimismo, estos dispositivos deben ser lo más ligeros posibles para que resulten fácilmente transportados por el vehículo. Además de los dispositivos mencionados, el dron que se pretende utilizar para operaciones en buques e inspecciones deberá estar equipado con los sensores adecuados para detectar sustancias dañinas o situaciones peligrosas.

Sensores de posición

Uno de los componentes más básicos de un dron es el módulo GPS. Es el encargado de indicar en qué posición se encuentra el dispositivo gracias a la tecnología GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Este método de ubicación tiene el siguiente inconveniente: la pérdida de cobertura total o parcial durante la inspección o actividad de mantenimiento. El sistema de GPS podría verse afectado cuando se encuentre en tanques y demás espacios cerrados del buque. La pérdida de señal podría causar la inestabilidad e imprecisión de vuelo del dron.

Es por este motivo por el que se debería buscar un sistema de ubicación que no dependiese de la tecnología GNSS. Actualmente se utiliza la tecnología SLAM (*Synchronised Localisation and Mapping*), que es capaz de cartografiar un espacio 3D sobre la marcha y determinar la ubicación de un dispositivo dentro de ese espacio. También permite la cartografía de objetos y personas en el interior de los espacios. La principal ventaja que proporciona la tecnología SLAM es su capacidad de funcionar en interiores sin depender de los satélites, además de su mayor precisión.

El sistema SLAM puede utilizar sensores LiDAR (*Light Detection and Ranging*) para generar el mapa 3D del entorno. Esto se consigue gracias a la tecnología láser del sensor.

Detector de gases

- Electroquímicos

Estos sensores miden la concentración de gases en el ambiente. Funcionan a través de electrodos que envían una corriente eléctrica que hace sonar la alarma. El sensor produce un voltaje proporcional a la concentración de gas que detecta. En el caso del sensor de oxígeno de la Figura 15, el gas pasa a través de una membrana hacia el sensor y oxida un electrodo de metal. Esta oxidación produce una corriente eléctrica proporcional a la concentración de oxígeno.

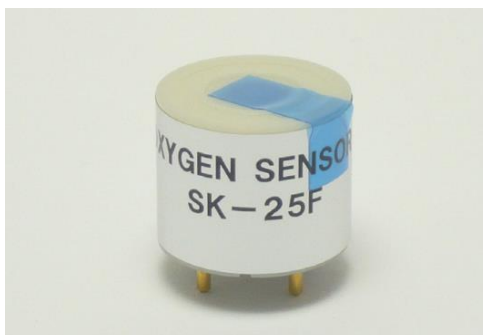


Figura 15. Sensor de oxígeno electroquímico – Fuente: Sensor Drone

- Perla catalítica

Estos sensores detectan gases combustibles en el aire. Están formados por una bobina de alambre que se oxida al entrar en contacto con el gas, activando así la alarma. Esta bobina consume una cantidad de energía del sistema, lo que los hace poco eficientes.

- Infrarrojos

Esta tecnología mide con precisión la concentración de hidrocarburos y gases combustibles en el ambiente. Utilizan la transmisión de luz para determinar qué gas está presente y su concentración. Los sensores infrarrojos son capaces de funcionar en una atmósfera de gas inerte, lo que los hace ideales para inspeccionar espacios confinados. Son eficientes ya que funcionan con pilas que no se agotan rápidamente.

El tipo de sensor se escogerá dependiendo del lugar en el que se vayan a utilizar y los gases que deben detectar. Los sensores electroquímicos se utilizan principalmente para gases no inflamables, como O₂, H₂S y CO. Se debe tener en cuenta que estos no pueden funcionar en

atmósferas inertes. Para espacios con atmósferas más tóxicas un sensor infrarrojo será mejor opción.

Sensor de temperatura y humedad

El sensor utilizado para medir la temperatura de la carga deberá ser capaz de llegar a varias alturas del tanque. Como actualmente no se utilizan drones equipados con sondas que puedan medir la temperatura a varias alturas del tanque, lo que se utilizan son sensores infrarrojos. Estos son capaces de conocer la temperatura de un objeto o sustancia teniendo en cuenta la radiación que emiten y sin necesidad de contacto directo.

En el caso en que las temperaturas a medir fueran extremadamente altas o bajas, el instrumento a utilizar sería un termopar, capaz de trabajar a dichas temperaturas. El termopar es un circuito formado por dos metales diferentes, unidos por uno de sus extremos y separados por el otro. Cuando en la unión se detecta una diferencia de temperatura, se genera una tensión eléctrica que se interpreta como señal y puede ser leída en un dispositivo.

Existen dispositivos de medición de temperatura que tienen incorporado el sensor de humedad. Con esta solución se reduciría el espacio que ocupa la carga útil.



Figura 16. Sensor de temperatura y humedad Bosch – Fuente: Digi-Key Electronics

Detector cargas estáticas

La medición de la cantidad de cargas electrostáticas se realiza mediante sensores electrostáticos. Estos sensores funcionan apuntando el aparato hacia el objetivo al que queremos realizar la medición y contienen un amplificador que calcula y muestra la señal obtenida.

Debido a la estrecha relación entre la humedad y las cargas electrostáticas, algunos sensores electrostáticos son capaces de medir también la humedad.



Figura 17. Sensor de cargas electrostáticas.

Detector partículas

Las partículas se detectan por medio de sensores que hacen pasar un flujo de aire a través de un tubo que, con un rayo láser ilumina las partículas que lo atraviesan. Es en ese momento en el que se puede contabilizar la cantidad de partículas presentes. El sensor de la Figura 18 detecta partículas PM2,5 y PM10.



Figura 18. Detector de partículas – Fuente: RS Soluciones Industriales

Detector de compuestos orgánicos volátiles

Los COV se monitorean midiendo el número de moléculas de gases suspendidas en el aire. Son capaces de medir pequeñas cantidades debido a su alta sensibilidad.

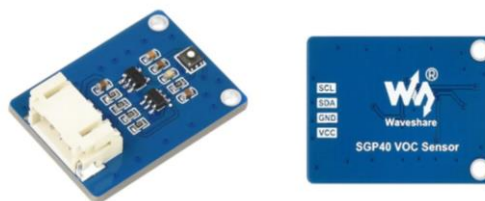


Figura 19. Sensor de COV.

Sistemas de sensores integrados

En algunas ocasiones, se pueden encontrar sistemas de sensores integrados que están compuestos por varios sensores en un mismo dispositivo. Esta se trata de una solución viable e interesante ya que se reduce el espacio que ocupa la carga útil en el dron y lo hace más ligero y fácil de maniobrar.

Un ejemplo de sistema de sensores integrados es el detector de gases **DJI Prophet AM**. Este dispositivo contiene sensores de gases y partículas. A continuación, se listan los gases y partículas que puede detectar en tiempo real:

- Ozono (O3)
- Dióxido de nitrógeno (NO2)
- Óxido de carbono (CO)
- Dióxido de azufre (SO2)
- Metano (CH4)
- Ácido clorhídrico (HCl)
- Ácido sulfhídrico (H2S)
- Compuestos orgánicos volátiles (VOC)
- Partículas PM2,5
- Partículas PM10



Figura 20. Sensor DJI Prophet AM – Fuente: DJI Madrid

Otra solución de sensores integrados es la **Sniffer 4D** que puede ir equipada hasta con 8 sensores escogidos por el usuario. Los sensores disponibles para escoger son los siguientes:

- Sensor de partículas PM2,5 y PM10
- Sensor electroquímico de dióxido de nitrógeno (NO2) y ozono (O3)
- Sensor electroquímico de dióxido de nitrógeno (NO2)
- Sensor electroquímico de monóxido de carbono (CO)
- Sensor electroquímico de dióxido de azufre (SO2)
- Sensor de VOC (Compuestos Orgánicos Volátiles). Detección por fotoionización.
- Sensor electroquímico de sulfuro de hidrogeno (H2S)
- Sensor de infrarrojo no dispersivo de metano (CH4).



Figura 21. Sniffer 4D – Fuente: Snnifet 4D.

Cada dispositivo descrito anteriormente, se encuentra actualmente disponible en formatos miniaturizados pudiéndose describir como microsensores capaces de equiparse en vehículos no tripulados como el propuesto en este trabajo y que actualmente se usa en operaciones similares en los sectores mineros e industriales, lo que garantiza la toma correcta de datos con alto nivel de fiabilidad, la maniobrabilidad y la interacción hombre máquina requerida en las situaciones que se han expuesto anteriormente. Es importante destacar que se debe definir una correcta misión de inspección con el apoyo de la Sociedad de Clasificación de manera que apliquen correctamente las guías de trabajo con los drones.

Capítulo 9. Definición del procesamiento de datos

En el momento en que el dron ha recopilado los datos a través de los sensores, es necesario analizarlos para extraer la información significativa y poder analizarlos. Para ello, se utiliza el IoT (*Internet of Things*), que se define como la agrupación e interconexión de dispositivos a través de una red para que puedan interaccionar entre ellos sin la necesidad de la intervención humana. En este caso, los objetos a agrupar son los sensores mencionados anteriormente que recopilarán los datos más relevantes, los analizarán y generarán alarmas y mensajes que se enviarán a la persona responsable para ayudarla a tomar las decisiones correctas sobre las acciones a realizar. Este sistema podría incluso iniciar protocolos de actuación de forma automática.

9.1. Transmisión de datos

El intercambio de datos entre el dron y el dispositivo a bordo debe realizarse a través de una conexión inalámbrica. Debido a que el dron trabajará en tanques y espacios cerrados principalmente, es posible que la conexión inalámbrica se pierda en algún momento de la intervención. Es importante que, aunque esta conexión se pierda, el dron pueda seguir volando de forma autónoma.

Una de las ventajas de la conexión autónoma es que la persona responsable del dron podrá cambiar su configuración para hacerlo funcionar de una forma u otra dependiendo de los datos recogidos. Otra de las ventajas es la de tener *feedback* del dron para comprobar que el sistema funciona según lo previsto.

Durante el vuelo, el dron puede almacenar los datos recogidos en la memoria interna. Una vez acabada la intervención, estos datos se podrán descargar a un dispositivo para su posterior análisis. No obstante, la plataforma de análisis de datos puede estar sincronizada para la recepción de datos remota en caso de disponer de la configuración de red necesaria basada en

redes inalámbricas seguras. En este sentido, las alertas remotas se pueden enviar en tiempo real o casi real.

9.2. Software a bordo

El sistema de procesamiento de datos de a bordo se basará en los datos del sistema de navegación y de los sensores. Es por eso por lo que el software, además de ser capaz de cartografiar el espacio gracias a la tecnología SLAM, deberá procesar y mostrar en un dispositivo los datos recogidos por los sensores.

El sistema de navegación utilizará los sensores LiDAR para saber en qué dirección seguir la trayectoria. Esta información se verá reflejada de modo cartográfico en el dispositivo de a bordo.

Por otro lado, cada sensor tomará los datos específicos y los pondrá a disposición de la unidad de procesamiento del dron, que los enviará al dispositivo de a bordo.



Figura 22. Sistema de procesamiento de datos – Fuente: Propia

9.3. Valoración

Una vez los datos recolectados estén disponibles en los dispositivos escogidos y estén listos para ser tratados, la persona responsable deberá analizarlos atentamente y valorarlos para tomar la decisión correcta. Para ello, se deberá crear una tabla de valoración donde se puedan consultar si los datos recolectados se encuentran dentro del límite normal o alguno de ellos presenta algún tipo de peligro para la tripulación, la carga o el medio ambiente. En dicha tabla, se crearán 3 niveles de alerta que indicarán el nivel de peligrosidad de los datos recogidos y cuánto de seguro es estar expuesto en cada espacio. Los datos que completan la Tabla 3 se han obtenido del

documento titulado “Límites de exposición profesional para agentes químicos en España” del año 2019, propiedad del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST)⁸.

Para poder interpretar los datos del documento mencionado, se deben comprender los siguientes conceptos.

VLA (Valores Límite Ambientales)

Son valores de referencia para las concentraciones de sustancias químicas en el aire a las cuales los trabajadores pueden estar expuestos a diario durante toda la vida laboral sin sufrir efectos adversos para su salud. Estos valores se establecen teniendo en cuenta la información disponible sobre la composición de los elementos químicos, experimentos animales o estudios epidemiológicos, entre otros. Los VLA se utilizan para la evaluación y control de los riesgos por inhalación de sustancias químicas. En el caso que alguno de los elementos pueda absorberse por algún otro medio y en una cantidad significativa, se debería poner en marcha el control biológico, para poder cuantificar la cantidad de sustancia absorbida. Los agentes químicos afectados se muestran con la nota “Vía dérmica” en el documento.

VLA-ED (Valores Límite Ambientales – Exposición Diaria)

Es el valor de referencia para la Exposición Diaria (ED) y representa la concentración de cualquier agente químico a la que los trabajadores pueden estar expuestos durante 8 horas diarias y 40 semanales durante toda su vida laboral sin sufrir efectos adversos.

VLA-EC (Valores Límite Ambientales – Exposición de Corta Duración)

Es el valor de referencia para la Exposición de Corta Duración (EC) y no debe ser superado por ninguna Exposición de Corta Duración (EC) a lo largo de la jornada laboral. La EC es la concentración media de un agente químico en la zona de respiración del trabajador calculada para un período de 15 minutos a lo largo de la jornada laboral. Las sustancias químicas que tienen efectos agudos reconocidos pero los principales efectos tóxicos son crónicos, el VLA-EC deberá

⁸ Instituto Nacional de Seguridad y. Salud en el Trabajo (INSST) O.A M.P. (2019). *Límites de exposición profesional para agentes químicos en España*. 2019. <https://www.insst.es/documents/94886/188493/Limites+de+exposicion+profesional+para+agentes+quimicos+2019.pdf>

estar complementado por el valor VLA-ED. En cambio, las concentraciones de las sustancias químicas con efectos agudos sólo estarán valoradas con el VLA-EC.

En la Tabla 3 se mencionan los agentes químicos que más intervienen en los buques petroleros, quimiqueros, gaseros y de carga general.

Agente químico	VLA-ED	VLA-EC
Monóxido de carbono	20 ppm	100 ppm
Dióxido de carbono	5000 ppm	-
Sulfuro de hidrógeno	5 ppm	10 ppm
Metano	1000 ppm	-
Monóxido de nitrógeno	2 ppm	-
Dióxido de nitrógeno	0,5 ppm	1 ppm
Dióxido de azufre	0,5 ppm	1 ppm

Tabla 3. Valores Límite Ambientales – Fuente: Propia.

	NIVEL 1 - Seguro	NIVEL 2 – Seguro con algún peligro	NIVEL 3 – No seguro
Concentración de oxígeno (O2)	19,5 % < O2 < 23,5 %	23,5 19,5	O2 < 19,5 % O2 > 23,5 %
Concentración de monóxido de carbono (CO)	< 20 ppm	20 ppm	> 20 ppm
Concentración de dióxido de carbono (CO2)	< 5000 ppm	5000 ppm	> 5000 ppm
Concentración de sulfuro de hidrógeno (H2S)	< 5 ppm	5 ppm	> 5 ppm
Concentración de metano (CH4)	< 1000 ppm	1000 ppm	> 1000 ppm
Concentración de monóxido de nitrógeno (NO)	< 2 ppm	2 ppm	> 2 ppm
Concentración de dióxido de nitrógeno (NO2)	< 0,5 ppm	0,5 ppm	> 0,5 ppm

Concentración de partículas PM 2,5⁹	< 5 µg/m3 (24 horas)	5 µg/m3 (24 horas)	> 5 µg/m3 (24 horas)
Concentración de partículas PM 10⁹	< 15 µg/m3 (24 horas)	15 µg/m3 (24 horas)	> 15 µg/m3 (24 horas)
Temperatura corporal	> 10 °C < 32 °C	10 °C 32 °C	> 32 °C < 10 °C
Humedad	> 50 % < 70 %	50 % 70 %	> 70 % < 50 %
Cargas estáticas	< 1,5 mJ a 1500 V	1,5 mJ a 1500 V	< 1,5 mJ < 1500 V

Tabla 4. Concentraciones y niveles de seguridad - Fuente: Propia

⁹ Organización Mundial de la Salud. Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire: partículas en suspensión (PM2.5 y PM10), ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono. Resumen. [En línea]. 2021. [Consulta: enero 2023] Disponible en: < <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/346062/9789240035461-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y> >

Capítulo 10. Planteamiento de un cuadro de mando

Un cuadro de mando se define como un espacio digital en el que se muestran una serie de indicadores numéricos y gráficos que ofrecen una visión general, objetiva y en tiempo real que ayuda a la toma de decisiones de las personas responsables de una actividad. Es el intermediario entre los sensores y el dispositivo en el que se visualicen los datos recogidos. El objetivo de este sistema es proporcionar puntos de acceso para recopilar la información más importante del barco para poder gestionar su seguridad y rendimiento. Los datos recopilados se enviarán a un servidor que ofrecerá un acceso a los datos desde cualquier plataforma y dispositivo conectado.

La implementación de un cuadro de mando comienza escogiendo qué datos deben aparecer en el cuadro de mando, en qué formato y cómo debe ser la alarma que se activa cuando uno de los valores es incorrecto. El exceso de información puede tener consecuencias negativas. Es por este motivo por el que el objetivo principal es disponer únicamente de los datos necesarios para generar información útil.

Con la información recolectada se pueden realizar las siguientes acciones:

- Almacenar los datos para tener un registro de lo que ocurre en el buque.
- Visualizar la información y tener un control en tiempo real.
- Ejecutar alarmas de forma automática.
- Realizar informes y ejecutar acciones preventivas.

PROBLEMA	SOLUCIÓN
El principal problema es el peligro al que los operarios estaban expuestos durante las operaciones en ciertos espacios. No tener ningún dispositivo que analice la atmósfera y otras variables hace que el espacio sea peligroso para los trabajadores.	El dron con los sensores integrados envía los datos recolectados al sistema de procesamiento de datos, que los traduce y envía al cuadro de mandos. Este último muestra los datos de forma gráfica en el dispositivo del operario, que podrá tomar una decisión rápida en función de los datos recibidos.

Tabla 5. Solución del cuadro de control – Fuente: Propia.

En primer lugar, dentro del cuadro de mandos de la Figura 23, se encuentra el indicador del nivel de oxígeno presente en la zona en la que se encuentra el dron. El cuadro de control marca el nivel de concentración de oxígeno mínimo y máximo que debe haber en un espacio para que la entrada de una persona sea segura.

En segundo lugar, se encuentran los datos sobre la temperatura y humedad del ambiente. Es importante monitorear estos datos para que los operarios puedan trabajar en buenas condiciones. Además, también podrán asegurar si las condiciones de un tanque son las idóneas para empezar la carga.

En tercer lugar, se encuentran los indicadores sobre la concentración de material particulado. Se muestra una escala con los valores del indicador y la concentración máxima permitida de cada tipo de partículas.

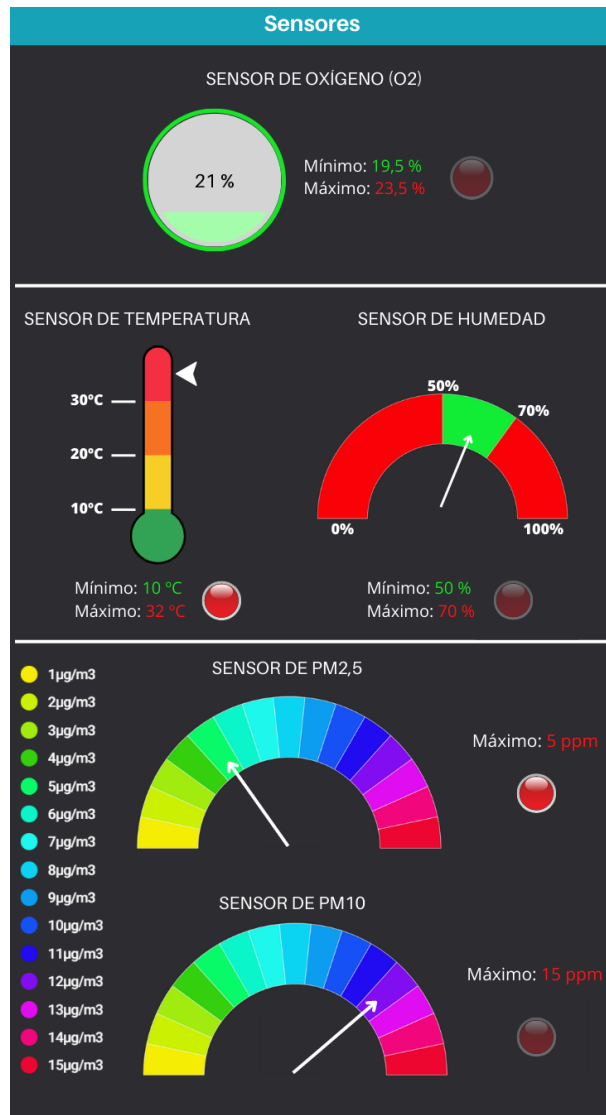


Figura 23. Sensores del cuadro de mandos 1 - Fuente: Propia.

En el caso que cualquiera de los valores del cuadro de mandos esté fuera del rango permitido siendo un peligro para el oficial, una alarma se activará y llegará al dispositivo mostrando un mensaje de alerta.

En la siguiente pantalla del cuadro de mandos de la Figura 24, se pueden visualizar las concentraciones de los gases más peligrosos a los que un oficial puede estar expuesto a bordo. También se muestran las concentraciones máximas admisibles por la normativa a las que una persona puede estar expuesta durante su jornada laboral. Como los casos anteriores, una alarma aparecerá cuando uno de los valores se encuentre por encima del máximo permitido y sea un peligro para la persona expuesta.



Figura 24. Sensores del cuadro de mandos 2 - Fuente: Propia.

Capítulo 11. Conclusiones

El Trabajo de Fin de Grado es un proyecto que se inicia planteando ciertas hipótesis y objetivos a cumplir, proponiendo una metodología concreta para resolver dichos propósitos. A continuación, se dan respuesta a los objetivos planteados inicialmente comentando los aspectos más relevantes del proceso.

- Se han estudiado las actividades realizadas en los buques petroleros, quimiqueros, gaseros y de carga a granel, poniendo el foco en la carga y descarga de las sustancias transportadas. Se han evaluado las condiciones de trabajo peligrosas a las que se exponen los oficiales al realizar algunas de las actividades y se proponen soluciones que se pueden llevar a cabo desarrollando un dron que trabaje como acompañante del oficial.
- Se ha definido el marco regulatorio y legal que avala la pertinencia de la propuesta de esta nueva metodología además de verificar que la normativa se encuentra actualmente referida a la utilización de los drones en las tareas de inspección llevadas a cabo por las sociedades de clasificación, una normativa que aún está en fase de desarrollo y estandarización por parte de las Sociedades de Clasificación y la IACS. Igualmente, las normativas sobre la seguridad marítima y la seguridad en el trabajo apuntan a la adopción de las nuevas tecnologías que mejoren las condiciones de seguridad de la gente del mar.
- Se han evaluado varios sensores disponibles en el mercado que son compatibles para realizar las medidas propuestas. Estos tienen el tamaño miniaturizado correcto para ser instalados en los pequeños drones que realizarán los trabajos de corto alcance.
- Se ha determinado que existen actualmente unidades o drones con tamaño, autonomía y versatilidad suficiente que permiten transportar los sensores necesarios y que pueden ser maniobrados óptimamente por los oficiales que lleven a cabo las operaciones de inspección, por tanto, la tecnología se encuentra en un estado de madurez tecnológica suficiente para su utilización. En la actualidad, los drones de este tipo se usan en tareas de inspección rutinaria para verificar el estado del casco o de otras secciones del buque, dentro de las estrategias de inspección de algunas sociedades de clasificación como DNV,

LR o ABS, entre otras, por tanto, este trabajo nos permite concluir que estamos ante una tecnología potencialmente diversificable y aplicable en éste nuevo ámbito de trabajo.

- Se ha podido proponer una estrategia para la recolección de los datos, su análisis, comunicación y los niveles de respuesta que pueden enviarse de manera gráfica, para una fácil y rápida toma de decisiones por parte de los oficiales a cargo de la inspección y verificación de espacios de trabajo seguros, mediante la utilización de cuadros de mando.
- Las conclusiones de proyecto también se fundamentan en el resultado de la encuesta realizada a profesionales del sector naval en la que los resultados valoraban positivamente el hecho de utilizar un dron en las actividades peligrosas realizadas a bordo. Mayoritariamente, la realización de la inspección remota por uno de los oficiales de la tripulación fue una opción bien acogida por los encuestados. Cabe destacar que con la encuesta no se pretendió establecer parámetros estadísticos, sino más bien, consultar a profesionales con experiencia en el sector (oficiales que han trabajado en este tipo de buques) que validaran objetivamente la propuesta explicada en el presente Trabajo de Final de Gradp.

Bibliografía

- [1] IACS. (2021). *Procedural requirements for service suppliers - Rev.16 Aug 2021* (UR Z17). <https://iacs.org.uk/publications/unified-requirements/ur-z/ur-z17-rev16-cln/>
- [2] IACS. (2022). *Remote Classification Surveys* (UR Z29). <https://iacs.org.uk/media/8890/ur-z29.pdf>
- [3] El dron de la Agencia Europea de Seguridad Marítima vuelve a El Estrecho para el control de las emisiones contaminantes de buques y el apoyo a emergencias marítimas. [en línea]. *Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana*. 14 de julio del 2022. [Consulta: septiembre 2022]. Disponible en <<https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/sala-de-prensa/noticias/jue-14072022-1132>>
- [4] Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana. Plan Estratégico para el desarrollo del sector civil de los drones en España 2018-2021. [en línea]. *Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana*. [Consulta: octubre 2022]. Disponible en <<https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/planes-estrategicos/drones-espania-2018-2021>>
- [5] Navantia introduce el uso de drones en la inspección de tanques de buques. *La Vanguardia*. 28 de febrero del 2018. [Consulta: octubre 2022] Disponible en <<https://www.lavanguardia.com/vida/20180228/441152434688/navantia-introduce-el-uso-de-drones-en-la-inspeccion-de-tanques-de-buques.html>>
- [6] Bureau Veritas realiza con éxito la inspección en remoto del "Méditerranée" con drones submarinos. [en línea] *Bureau Veritas España*. 27 de enero del 2021. [Consulta: octubre 2022]. Disponible en <<https://www.bureauveritas.es/newsroom/marina-naval-buque-inspeccion-certificacion-remoto-mediterranee-dron-drones-submarinos-corsica-linea>>
- [7] Seguridad Social: ¿Quiénes somos? [en línea]. *Seguridad Social*. [Consulta: octubre 2022]. Disponible en <<https://www.seg-social.es/wps/portal/wss/internet/Conocenos/QuienesSomos/29421>>

- [8] Port State Control. [en línea]. International Maritime Organization. [Consulta: octubre 2022]. Disponible en <<https://www.imo.org/en/OurWork/MSAS/Pages/PortStateControl.aspx>>
- [9] Memorandum, Paris MoU. [en línea] *Paris MoU*. [Consulta: octubre 2022]. Disponible en <<https://www.parismou.org/inspections-risk/library-faq/memorandum>>
- [10] El comercio marítimo, gran motor de la economía mundial reclama profesionales cualificados. [en línea]. *Bureau Veritas Formación*. [Consulta: octubre 2022]. Disponible en <https://www.bureauveritasformacion.com/Boletin/noticias_home/BVF-noticia-comercio-maritimo.html>
- [11] About Equasis. [en línea]. *Equasis*. [Consulta: noviembre 2022] Disponible en <https://www.equasis.org/EquasisWeb/public/About?fs=HomePage&P_ABOUT=MainConcern.html>
- [12] Contaminación por la Industria Naval. [en línea]. *Oceana Europe*. [Consulta: noviembre 2022]. Disponible en <<https://europe.oceana.org/es/contaminacion-por-la-industria-naval-0/>>
- [13] Blanco Cumplido, N. Gas Free. [en línea]. *Nuria Blanco Cumplido*. [Consulta: noviembre 2022] Disponible en <<https://nuriablancocumplido.com/2016/11/29/t3/>>
- [14] Servicios, L. (2021, 24 de enero). Los buques y sus espacios confinados. [En línea]. *Lafran Servicios*. [Consulta: noviembre 2022] Disponible en <<https://lafranservicios.com/2021/01/24/los-buques-y-sus-espacios-cerrados/>>
- [15] MUKHERJEE, Paromita. Common Hazards of Bulk Cargo On Ships. [en línea]. *Marine Insight*. 11 de abril de 2021 [Consulta: noviembre 2022]. Disponible en: <<https://www.marineinsight.com/marine-safety/9-common-hazards-of-dry-bulk-cargo-on-ships/>>
- [16] ANISH. Hazards On Oil Tanker Ship. [en línea]. *Marine Insight*. 5 de marzo de 2019 [Consulta: noviembre 2022]. Disponible en: <<https://www.marineinsight.com/guidelines/20-hazards-on-oil-tanker-ship-every-seafarer-must-know/>>
- [17] Gas Tanker Basics - Definitions and Hazards. [en línea]. *Cult of Sea*. [Consulta: noviembre 2022]. Disponible en: <<https://cultofsea.com/cargo-work/gas-tankers-basic-definitions-hazards/>>

- [18] How Gas Detectors Work. *Martek Marine* [en línea]. *Martek Marine*. 3 de abril del 2022. [Consulta: noviembre 2022] Disponible en: <<https://www.martek-marine.com/blog/how-gas-detectors-work/>>
- [19] Vessel Types Explained. [en línea]. *One Ocean*. [Consulta: diciembre 2022]. Disponible en <<https://www.oneocean.com/news/vessel-types-explained/>>
- [20] Hazards of carrying noxious liquid chemicals at sea and safety practice. [en línea] *Chemical Tanker Solutions*. [Consulta: diciembre 2022] Disponible en <<http://www.chemicaltankerguide.com/safety.html>>
- [21] Controles OBQ y ROB. [en línea]. *Science Laboratory and Certification*. [Consulta: diciembre 2022] Disponible en <<https://www.gozetim.com/es/gozetim/genel-gozetimler/obq-rob-kontrolleri/>>
- [22] Why SLAM is Becoming the New GPS. [en línea]. *Edge AI and Vision Alliance*. Abril 2017. [Consulta: diciembre 2022]. Disponible en <<https://www.edge-ai-vision.com/2017/04/why-slam-is-becoming-the-new-gps/>>
- [23] Andreas Schütze. (2015). Integrated Sensor Systems for Indoor Applications: Ubiquitous Monitoring for Improved Health, Comfort and Safety. *Procedia Engineering*, 120, 492–496. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815023449>
- [24] Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo, Real Decreto n.º 681/2003 (2003, 18 de junio) (España). *Boletín Oficial del Estado*, (145). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-12099>
- [25] Real Decreto 144/2016, de 8 de abril, por el que se establecen los requisitos esenciales de salud y seguridad exigibles a los aparatos y sistemas de protección para su uso en atmósferas potencialmente explosivas y por el que se modifica el Real Decreto 455/2012, de 5 de marzo, por el que se establecen las medidas destinadas a reducir la cantidad de vapores de gasolina emitidos a la atmósfera durante el repostaje de los vehículos de motor en las estaciones de servicio, Real Decreto n.º 144/2016 (2016, 14 de abril) (España). *Boletín Oficial del Estado*, (90). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2016-3539>
- [26] Bikram, S. Tank Inspection On Ships. [en línea] *Marine Insight*. 4 de enero del 2020. [Consulta: diciembre 2022] Disponible en <<https://www.marineinsight.com/guidelines/inspecting-tanks-onboard-ships/>>

- [27] INSST. (2000). *NTP 567: Protección frente a cargas electrostáticas*. https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_567.pdf/e56dd285-1b4f-4432-a998-95e3827d7937
- [28] Gente de mar. *International Labour Organization* [en línea] [Consulta: enero 2023]. Disponible en: < <https://www.ilo.org/global/standards/subjects-covered-by-international-labour-standards/seafarers/lang--es/index.htm> >
- [29] Valores límite y umbrales de inmisión de contaminantes. [en línea] *Gobierno de Castilla-La Mancha*. [Consulta: diciembre 2022]. Disponible en <<http://pagina.jccm.es/medioambiente/rvca/legisla04b.htm>>
- [30] Instituto Nacional de Seguridad y. Salud en el Trabajo (INSST) O.A M.P. (2019). *Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2019*. <https://www.insst.es/documents/94886/188493/Límites+de+exposición+profesional+para+agentes+químicos+2019.pdf>
- [31] Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés. [en línea]. *EPA - Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*. [Consulta: diciembre 2022]. Disponible en <<https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>>
- [32] Bancroft Ingram, K. (2020). Análisis de accidentes e incidencias en espacios confinados de buques mercantes. Propuesta de posibles mejoras en la implementación de Código ISM. [Trabajo de Fin de Máster, Facultad de Náutica de Barcelona]. [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/331536/154615_TRABAJO%20FINAL%20DE%20MASTER%20BANCROFT%203.pdf?sequence=1∓isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/331536/154615_TRABAJO%20FINAL%20DE%20MASTER%20BANCROFT%203.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [33] Sniffer4D - Mobile Air Pollutant Mapping System. [en línea]. TPI. [Consulta: diciembre 2022]. Disponible en <<http://sniffer4d.eu/sniffer4d/>>
- [34] Sánchez-Beaskoetxea, et al. Human error in marine accidents: Is the crew normally to blame? *Maritime Transport Research* [en línea]. 2021. [Consulta: diciembre 2022]. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666822X21000083?via%3DiHub>>
- [35] Trabajar en Exterior: ¿Cuál es la Temperatura Máxima Ideal? [en línea] *Agencia Laboral*. [Consulta: diciembre 2022]. Disponible en

- < <https://blog.adltomares.es/trabajar-en-exterior-cual-es-la-temperatura-maxima-ideal/>>
- [36] Cuadro de mandos del barco, torre de control y gestión de flotas. [en línea]. 11 de junio del 2021. *OKEANIDY*. [Consulta: diciembre 2022]. Disponible en <<https://okeanidy.com/es/cuadro-de-mandos-del-barco-torre-de-control-y-gestion-de-flotas/>>
- [37] Bosch Sensortec BME680. [en línea]. *Digi-Key Electronics*. [Consulta: diciembre 2022]. Disponible en <<https://www.digikey.com/es/products/detail/bosch-sensortec/BME680/828-1077-1-ND/7401321>>
- [38] Sensor Calidad del Aire. [en línea]. *Soluciones industriales RS*. [Consulta: diciembre 2022]. Disponible en <<https://acortar.link/Uz4Okq>>
- [39] Oxígeno (O₂) - Sensor Drone. [en línea]. *Sensor Drone*. [Consulta: diciembre 2022]. Disponible en <<https://www.sensor-drone.com/project/oxigeno-o2/>>
- [40] Detector de gases para drones DJI Prophet AM Prophet Ultimate. [en línea]. *DJI ARS MADRID*. [Consulta: diciembre 2022]. Disponible en <<https://djiarsmadrid.com/es/payload-sdk-para-dji/2392-detector-de-gases-para-drones-dji-prophet-am-prophet-ultimate.html>>
- [41] Digital SGP40 VOC (Volatile Organic Compounds) Sensor, I2C Bus. [en línea]. *Waveshare Electronics*. [Consulta: diciembre 2022] Disponible en <<https://www.waveshare.com/sgp40-voc-sensor.htm>>
- [42] Sensores electrostáticos. [en línea]. *KEYENCE*. [Consulta: diciembre 2022] Disponible en <<https://www.keyence.com.mx/products/static/electrostatic/>>

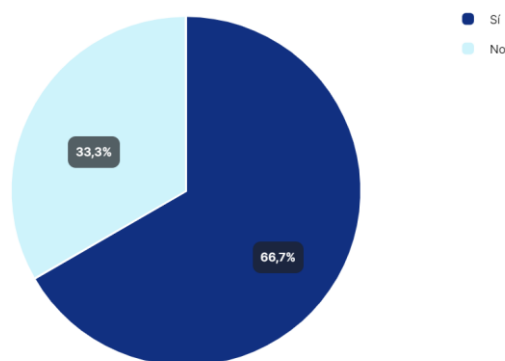
Anexo A. Consulta a expertos

Con el objetivo de conocer los peligros más evidentes y concurrentes en buques se ha contactado con diferentes trabajadores del mar que han estado embarcados en buques petroleros, gaseros y mercantes. Las personas encuestadas son expertos en la operativa de buques de este tipo que han vivido en primera persona sus peligros más habituales.

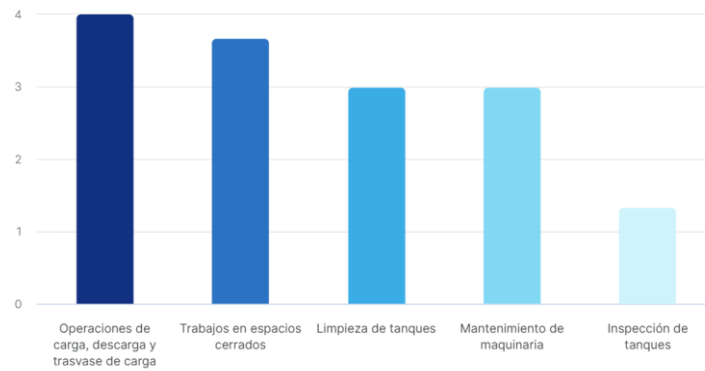
Los resultados de la encuesta realizada han sido de ayuda para este proyecto ya que han aportado información sobre actividades y sustancias peligrosas a bordo de los buques mencionados.

Las preguntas realizadas y respuestas recibidas son las siguientes:

1. **¿Ha estado expuesto o expuesta a situaciones de peligro por obligación a realizar algún tipo de tarea de mantenimiento u operación?**



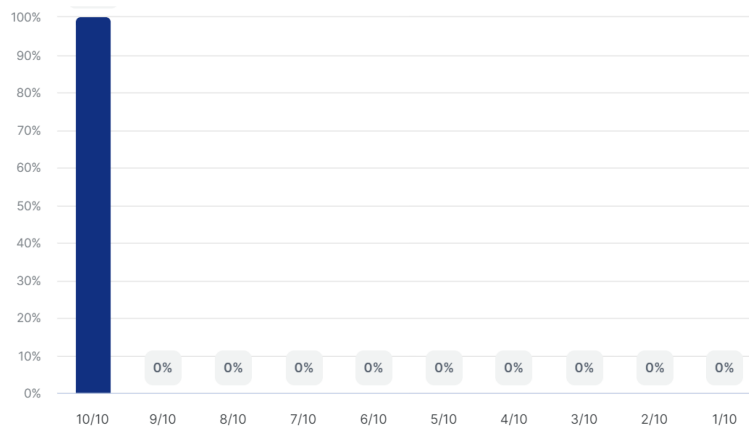
2. **Ordene las tareas de mantenimiento y operaciones de más a menos peligrosas:**



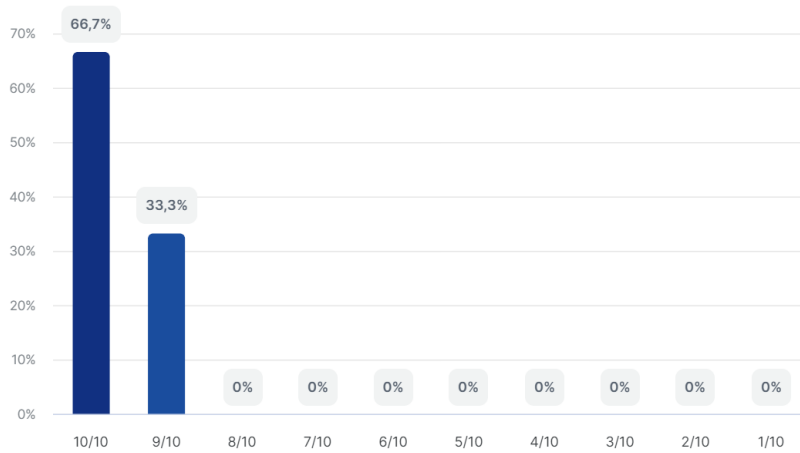
3. ¿A qué sustancia o sustancias peligrosas ha estado expuesto o expuesta?

RESPUESTA	RESPUESTAS	RATIO
Mayoritariamente CH4, CO2 y N2	1	33.3%
H2S, n-Butano, CO2...	1	33.3%
Gases de hidrocarburos, líquidos de limpieza	1	33.3%

4. Puntuar la importancia que se le da a la siguiente acción antes de entrar a un tanque: análisis de la atmósfera del tanque.



5. Puntuar la importancia que se le da a la siguiente acción antes de entrar a un tanque: desgasificación.



6. ¿Cuál de las siguientes opciones consideraría a la hora de realizar una inspección remota?

