



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Sistema de Detección de Hombre al Agua mediante tecnología
Long Range Wide Area Network*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: M^a Nieves Cabrera Fernández de
Castañeda

DIRECTORES: José María Núñez Ortuño
Norberto Fernández García

CURSO ACADÉMICO: 2023-2024

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Sistema de Detección de Hombre al Agua mediante tecnología
Long Range Wide Area Network*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

El aumento del tráfico marítimo y la demanda de viajeros después de la pandemia han incrementado el riesgo de accidentes y emergencias en la mar. Para abordar esta situación, este trabajo se centra en el diseño e implementación de un sistema basado en la tecnología LoRaWAN para la detección automática de situaciones de hombre al agua y el envío de señales de alarma junto con la posición GPS del náufrago, permitiendo su monitorización en tiempo real. Se emplea el dispositivo portátil LGT92, que transmite su localización y emite una señal de alarma a través de la red LoRaWAN sin necesidad de conexión a internet.

Se evaluó el sistema mediante varias pruebas, incluyendo una simulación real en una lancha de instrucción. Se llevó a cabo un estudio de interferencias y de propagación en el medio acuático para comprender mejor el rendimiento del sistema en condiciones reales. Además, se realizó un análisis de la precisión de distancias para garantizar la fiabilidad de las mediciones. El sistema desarrollado ha demostrado eficacia en la detección automática de situaciones de hombre al agua, garantizando una respuesta rápida en emergencias.

PALABRAS CLAVE

Hombre al agua, LoRaWAN, *Internet Of Things*, detección, seguimiento, localización.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente a los tutores de este Trabajo de Fin de Grado, el Sr. Norberto Fernández y el Sr. José María Núñez, por su orientación, apoyo y dedicación a lo largo de todo el proceso. Su experiencia ha sido fundamental para superar los desafíos y alcanzar los objetivos del trabajo.

A la Escuela Naval Militar y al Centro Universitario de la Defensa, por darme la oportunidad de reforzar mis valores y contribuir a mi formación integral.

A mis padres y a mi hermana, por inculcarme la importancia del trabajo constante y bien hecho. Por ser el pilar de mi trayectoria académica y personal, por creer en mí y por estar siempre.

A mis amigas, por acompañarme en cada paso que doy y apostar por mí.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	7
Acrónimos	8
1 Introducción y objetivos	10
1.1 Contexto y motivación	10
1.2 Objetivos y metodología	11
1.3 Estructura de la memoria	11
2 Estado del arte	13
2.1 Sistemas vigentes de detección comercial	13
2.1.1 Sistemas basados en radiofrecuencia.....	13
2.1.1.1 Navicom RT650 MOB	13
2.1.1.2 MOB+.....	14
2.1.1.3 Sea Tag	14
2.1.2 Sistemas basados en el Sistema de Identificación Automática	15
2.1.2.1 EasyRESCUE-PRO3.....	15
2.1.2.2 Fastfind Crew	16
2.1.3 Sistemas basados en satélite	16
2.1.3.1 ResQLink AIS Personal Locator Beacon (PLB).....	16
2.1.4 Sistemas basados en inteligencia artificial	17
2.1.4.1 MOBtronic.....	17
2.2 Sistemas vigentes de detección en buques militares	18
2.2.1 Sistema de localización de personal en Buques de Acción Marítima	18
2.2.2 On Board Personnel Tracking System de Marine&Technologies.....	19
2.3 Sistemas de comunicación inalámbrica	19
2.3.1 Bluetooth Low Energy.....	20
2.3.2 ZigBee.....	21
2.3.3 Sigfox.....	21
2.3.4 Long Range (LoRa)	22
2.3.5 Comparativa diferentes tecnologías inalámbricas	23
2.3.6 Internet de las cosas	24
2.3.7 Low Power Wide Area Networks (LPWAN).....	24
2.3.7.1 Tecnología Long Range (LoRa).....	24
2.3.7.2 Tecnología Long Range Wide Area Network	25

2.4 Legislación vigente	26
2.4.1 Organizaciones Internacionales	26
2.4.2 Legislación en América	27
2.5 Procedimiento de situación MOB actual en las Lanchas de Instrucción	28
2.5.1 Características de la lancha de instrucción	28
2.5.2 Procedimiento de recogida de MOB.....	29
3 Desarrollo del TFG.....	31
3.1 Metodología	31
3.1.1 Herramientas hardware	32
3.1.1.1 Dispositivo tracker LGT92.....	32
3.1.1.2 Gateway LPS8N	33
3.1.1.3 Antena Omnidireccional OMB.868.B05F21	35
3.1.2 Herramientas software	36
3.1.2.1 Instalación y configuración de Oracle VM Virtualbox	36
3.1.2.2 Instalación y configuración de Mosquitto	37
3.1.2.3 Suscripción MQTT.fx.....	38
3.1.2.4 Instalación y configuración de Node-Red	39
3.1.2.5 Instalación y configuración de Putty	40
3.1.2.6 Instalación y configuración Python	41
3.1.3 Reconocimiento de situación de hombre al agua	41
3.1.3.1 Activación mediante geozona.....	43
3.1.3.2 Activación manual y por distancia del sistema de alarma.....	43
3.1.4 Programación	44
3.1.4.1 Conexión y suscripción cliente MQTT y broker MQTT.....	44
3.1.4.2 Implementación de la activación mediante geozona	45
3.1.4.3 Implementación de la activación alarma manual y por distancia.....	48
3.2 Problemas encontrados	49
4 Pruebas y resultados	51
4.1 Estanqueidad del dispositivo tracker LGT92.....	51
4.1.1 Prueba de estanqueidad del dispositivo tracker LGT92	51
4.1.2 Resultados de la estanqueidad del dispositivo LGT92	52
4.2 Método de geozona	55
4.2.1 Pruebas empleando método por geozona.....	55
4.2.2 Resultados método de activación por geozona	58
4.3 Método empleando método de activación manual y por distancia	62
4.3.1 Pruebas empleando método de activación manual y por distancia.....	62

4.3.2 Resultados método de activación manual y por distancia	63
4.4 Lancha de instrucción Barrutia	67
4.4.1 Prueba del sistema a bordo de LLII Barrutia.....	67
4.4.2 Resultados prueba experimental en lancha de instrucción Barrutia	69
4.5 Limitaciones.....	70
5 Conclusiones y líneas futuras	74
5.1 Conclusiones	74
5.2 Líneas futuras	75
5.2.1 Líneas futuras del trabajo realizado	75
5.2.2 Microchip integrado en personas	75
6 Bibliografía.....	77
Anexo I: Implicaciones Sociales y Ambientales	83
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	84
Anexo III: Carta Almirante Linda Fagan	85
Anexo IV: Código método Activación Manual y por Distancia	87
Anexo V: Reacciones Iniciales MOB	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Navicom RT650 MOB [10].....	13
Figura 2-2 Antena receptora xHUB de FellMarine [12]	14
Figura 2-3 Lifetag xFOB de FellMarine [12].....	14
Figura 2-4 Brazaletes Sea Tag de Ausmar [13]	15
Figura 2-5 EasyRESCUE-PRO3 de Weatherdock [15]	15
Figura 2-6 Fastfind Crew [16].....	16
Figura 2-7 ResQLink Personal Locator Beacon de ACR [18].....	17
Figura 2-8 RescueME PLB3 de Ocean Signal [19].....	17
Figura 2-9 Dispositivo MOBtronic de MARSS [20]	18
Figura 2-10 Funcionamiento MOBtronic de MARSS [20].....	18
Figura 2-11 Pulseras WOW de Royal Caribbean [28]	20
Figura 2-12 Microchip BLE RN4871-I/RM140 [33].....	21
Figura 2-13 Módulo ZICM357SP2-1-R de CEL [34].....	21
Figura 2-14 Arquitectura tecnología Sigfox [35]	22
Figura 2-15 Módulo UPLYNX-M-RCZ1 de Sigfox [36]	22
Figura 2-16 Módulo SX1276 de Semtech [37]	23
Figura 2-17 Tecnologías Inalámbricas Velocidad Transmisión vs Alcance [38]	23
Figura 2-18 Capas LoRaWAN [47]	25
Figura 2-19 Estructura LoRaWAN [47].....	26
Figura 2-20 Lancha de instrucción Barrutia.....	28
Figura 2-21 Bichero de una lancha de instrucción	29
Figura 2-22 Muñeco MOB	29
Figura 2-23 Personal pertrechado.....	30
Figura 3-1 Flujo de información de la arquitectura IoT	31
Figura 3-2 <i>Tracker</i> LGT92 de Dragino [62]	32
Figura 3-3 <i>Gateway</i> LPS8N [66].....	33
Figura 3-4 Inicio LPS8N	34
Figura 3-5 Configuración MQTT	34
Figura 3-6 Configuración en modo ABP	35
Figura 3-7 Interfaz LPS8N	35
Figura 3-8 Antena Omnidireccional OMB.868.B05F21[67]	35
Figura 3-9 Configuración Oracle VM VirtualBox Raspbian	37
Figura 3-10 Suscripción a <i>topics</i> en MQTT.fx.....	39
Figura 3-11 Configuración del nodo MQTT en Node-Red.....	40
Figura 3-12 Configuración Putty para acceder a la VM.....	40

Figura 3-13 Configuración Putty para acceder al dispositivo LGT92 I.....	41
Figura 3-14 Configuración Putty para acceder al dispositivo LGT92 II.....	41
Figura 3-15 <i>Payload</i> del <i>tracker</i> LGT92.....	42
Figura 3-16 Código de suscripción a MQTT I.....	45
Figura 3-17 Código de suscripción a MQTT II.....	45
Figura 3-18 Pantalla Código Suscripción MQTT	45
Figura 3-19 Código geozona I.....	47
Figura 3-20 Código geozona II.	47
Figura 3-21 Código geozona III.....	47
Figura 3-22 Código geozona IV.....	48
Figura 3-23 Líneas 74 - 85 de activación de alarma manual y por distancia I.....	48
Figura 3-24 Líneas 88 - 96 de activación de alarma manual y por distancia II	48
Figura 3-25 Líneas 14 - 23 de activación de alarma manual y por distancia III	49
Figura 3-26 Líneas 67 - 78 de activación de alarma manual y por distancia IV	49
Figura 3-27 Funda estanca [89].....	50
Figura 4-1 Situación de las pruebas de estanqueidad.....	51
Figura 4-2 Prueba de estanqueidad en la dársena.....	52
Figura 4-3 Gráfica para muestras sin funda protectora en aire	54
Figura 4-4 Gráfica para muestras con funda protectora en aire	55
Figura 4-5 Gráfica para muestras con funda protectora en el medio acuático	55
Figura 4-6 Geozona explanada de la Escuela Naval Militar	56
Figura 4-7 Distancia entre los puntos de la geozona.....	57
Figura 4-8 Resultados método geozona I.....	58
Figura 4-9 Resultados método geozona II.....	59
Figura 4-10 Resultados método geozona III	60
Figura 4-11 Resultados método geozona IV	60
Figura 4-12 Mapa HTML con posiciones de geozona I.....	61
Figura 4-13 Resultados método geozona V.....	61
Figura 4-14 Resultados método geozona VI	62
Figura 4-15 Mapa HTML con posiciones de geozona II	62
Figura 4-16 Gráfica medias móviles de la distancia	65
Figura 4-17 Representación puntos GPS en Google Earth	65
Figura 4-18 Resultados método de activación manual y por distancia	66
Figura 4-19 Mapa HTML método manual y por distancia.....	67
Figura 4-20 Muñeco MOB con dispositivo IoT.....	67
Figura 4-21 <i>Gateway</i> en puente alto.....	67

Figura 4-22 Antena en puente alto	68
Figura 4-23 Monitorización visual de MOB	68
Figura 4-24 Método de recogida de MOB	68
Figura 4-25 Resultados en la lancha de instrucción I.....	69
Figura 4-26 Resultados en la lancha de instrucción II	69
Figura 4-27 Resultados en la lancha de instrucción III	70
Figura 4-28 Mapa con resultados de lancha de instrucción I.....	70
Figura 4-29 Mapa con resultados de lancha de instrucción II.....	70
Figura 4-30 Comparativa posiciones reales vs posiciones LGT92	71
Figura 4-31 Medidas de posiciones para el punto 1	72
Figura 4-32 Posiciones GPS estático.....	72
Figura 4-33 Valor atípico de distancia	72
Figura 4-34 Pérdida de conexión LGT92 y LPS8N	73
Figura IV-1 Código de método activación manual y por distancia I	87
Figura IV-2 Código de método de activación manual y por distancia II	87
Figura IV-3 Código de método de activación manual y por distancia III.....	88
Figura IV-4 Código de método de activación manual y por distancia IV	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Resumen características dispositivos	19
Tabla 2-2 Especificaciones tecnología MOB. Elaboración propia basada en datos de [30]	20
Tabla 2-3 Comparativa Tecnologías Inalámbricas. Elaboración propia basada en datos de [30]	23
Tabla 2-4 Características LoRa. Elaboración propia basada en datos de [44]	25
Tabla 2-5 Elementos Red LoRaWAN. Elaboración propia basada en datos de [47] [48]	26
Tabla 2-6 Características LLII Barrutia. Elaboración propia basada en datos de [57]	28
Tabla 3-1 Formato <i>topics</i> de los dispositivos IoT	38
Tabla 3-2 <i>Payload tracker</i> [87]	42
Tabla 4-1 Estadística descriptiva I	53
Tabla 4-2 Estadística descriptiva II	53
Tabla 4-3 Estadística descriptiva III	54
Tabla 4-4 Puntos GPS resultantes de la geozona Google Earth	55
Tabla 4-5 Distancias geozona	56
Tabla 4-6 Datos distancia por activación manual	64
Tabla 4-7 Estadística descriptiva para la distancia I	64
Tabla 4-8 Diferencia de distancia mediante activación manual en Google Earth	65
Tabla 4-9 Posiciones GPS de la geozona tomadas con LGT92	71
Tabla 4-10 Muestras GPS para el punto 1	71
Tabla V-1 Listado comprobación MOB	89

ACRÓNIMOS

ABP	<i>Activation by Personalization</i>
AIS	<i>Automatic Identification System</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
APPSKEY	<i>Application Session Key</i>
AT	<i>Attention</i>
BAM	<i>Buques de Acción Marítima</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CEP	<i>Circular Error Probable</i>
CLIA	<i>Cruise Lines International Association</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CVSSA	<i>Cruise Vessel Security and Safety Act</i>
DCS	<i>Damage Control System</i>
DARPA	<i>Defense Advanced Research Project Agency</i>
DSC	<i>Digital Selective Calling</i>
FABA	<i>Fábrica de Artillería de Bazán Sistemas</i>
FOTA	<i>Firmware Over-The-Air</i>
FSC	<i>Flag State Control</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
HDOP	<i>Horizontal Dilution of Precision</i>
HI	<i>Hybrid Intelligence</i>
IA	<i>Inteligencia Artificial</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IAMSAR	<i>International Aeronautical and Maritime Search and Rescue</i>
ISM	<i>International Safety Management Code</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
LLII	<i>Lanchas de Instrucción</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
LoRaWAN	<i>Long Range Wide Area Network</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i>
MMSI	<i>Maritime Mobile Service Identity</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
MOB	<i>Man Overboard</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>

NETSKEY	<i>Network Session Key</i>
OIT	Organización Internacional del Trabajo
OGP	Oficial de Guardia en Puente
OMI	Organización Marítima Internacional
OPTS	<i>On Board Personnel Tracking System</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
OTLE	Observatorio de Transporte y Logística en España
PSC	<i>Port State Control</i>
PLB	<i>Personal Locator Beacon</i>
RF	Radiofrecuencia
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RLS	<i>Return Link Service</i>
RR	<i>Regulaciones Radio</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
SASEMAR	Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima
SICP	Sistema Integrado de Control de Plataforma
SLP	Sistema de Localización de Personal
SOLAS	<i>Safety of Life at Sea</i>
TRR	Tarjeta Reacción Rápida
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UNB	<i>Ultra Narrow Band</i>
VM	<i>Virtual Machine</i>

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Contexto y motivación

El sector marítimo ha experimentado una transformación significativa en las últimas décadas, tanto en el ámbito militar como en el civil. El océano se ha convertido en un escenario estratégico para las operaciones militares, permitiendo la proyección del poder naval y asegurando la protección y defensa de los intereses nacionales. Además, el sector marítimo tiene una gran importancia económica y social, ya que facilita el comercio internacional, el transporte de mercancías y personas, la explotación de recursos naturales y la preservación del medio ambiente.

Esta transformación se refleja en los datos publicados por el Observatorio de Transporte y Logística en España (OTLE) [1]. Este observatorio, que abarca a 28 Autoridades Portuarias, registró aproximadamente 139 mil buques en 2021, lo que representó un aumento del 17,9 % en comparación al año anterior. Este incremento marca una recuperación después de la disminución experimentada en 2020 debido a la pandemia. El crecimiento se observó tanto en el transporte de pasajeros como en el de mercancías, siendo más significativo en el primer caso (57,0 %) debido a las restricciones de movilidad impuestas por la pandemia, mientras que en el caso de las mercancías el crecimiento fue del 8,4%.

El informe también detalla la variación interanual de la demanda de viajeros en puertos estatales, la cual alcanzó el 25,9%. Este aumento se atribuye principalmente al crecimiento del tráfico en los puertos del Estado. Si se segrega por tipo de transporte marítimo, se observa un gran incremento para el segmento de cruceros (74,2 %), posiblemente debido a la reducción de las restricciones impuestas por la pandemia. Por otro lado, el aumento fue más moderado en el cabotaje¹ (27,3 %), mientras que para el tráfico exterior mostró una variación negativa (-27,2 %) [1].

En relación con la seguridad en el transporte marítimo, en 2021 se registró el número más alto de emergencias marítimas desde 2006, con un aumento del 12,6% en comparación con el año anterior. La Sociedad de Salvamento de Seguridad Marítima (SASEMAR) respondió a un total de 7.833 emergencias marítimas durante ese periodo [1].

Durante el mismo año, se observó un incremento significativo en el número de fallecidos y desaparecidos en emergencias marítimas, pasando de 167 a 212, lo que supone un aumento del 26,9 %, y de 98 a 141, suponiendo un aumento de 43,9 %, respectivamente. En cuanto a las personas que recibieron asistencia, la cifra aumentó ligeramente de 45.227 a 45.720, representando un incremento del 1,1 %. A excepción del año 2018, los números registrados en 2021 en cuanto a personas asistidas y fallecidas constituyen uno de los más altos de la historia [1].

¹ Navegación que hacen los buques entre los puertos de un mismo país sin apartarse de la costa [2].

De acuerdo con la Asociación Internacional de Líneas de Cruceros (*Cruise Lines International Association*, CLIA), el transporte marítimo experimentó una ligera caída del 0,4% en 2022 [3]. Sin embargo, según Statista [4], una plataforma mundial de datos e informes estadísticos, los datos más recientes disponibles sobre el número de pasajeros de crucero en el mundo en 2022 fueron de 20.7 millones. Aunque esta cifra indica una recuperación con respecto a los años afectados por la pandemia, aún está por debajo de los 29.7 millones registrados en 2019 [5]. Según la Organización Marítima Internacional (OMI) [6], el transporte marítimo de pasajeros representa el 2,7% del total del transporte marítimo mundial.

No obstante, el océano también plantea riesgos y desafíos, entre los que se encuentra la posibilidad de una situación de hombre al agua (*Man Overboard*, MOB). Salvamento Marítimo, define esta situación como [7]:

“caída accidental al agua de un tripulante durante la navegación”.

Este es un accidente grave que puede suceder cuando una persona cae al mar desde un barco o un avión, ya sea por circunstancias fortuitas o deliberadas. La supervivencia de la víctima depende en gran medida de la rapidez y eficiencia con la que se realice el rescate, lo que requiere sistemas de detección y localización apropiados. Dichos sistemas, deben ser compatibles con los protocolos y equipos de emergencia existentes, además de tener en cuenta las condiciones ambientales y meteorológicas que pueden afectar al rescate.

En este contexto, con el fin de mejorar la eficiencia en el rescate en situaciones de hombre al agua, cuya frecuencia se ve influenciada por el auge del transporte marítimo de personas, surge la necesidad de desarrollar un sistema de detección de hombre al agua. Se propone el empleo de la tecnología *Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN), que es un protocolo de comunicación inalámbrica de largo alcance y bajo consumo. Esta tecnología permitirá transmitir datos de posición desde dispositivos portátiles a un nodo central con posibilidad de conexión a la red, facilitando la localización y el seguimiento de un posible naufrago.

1.2 Objetivos y metodología

El tráfico de buques y la demanda de viajeros han mostrado un crecimiento positivo tras la pandemia, reflejando la reactivación de la movilidad y la actividad económica; no obstante, este crecimiento implica un mayor riesgo de accidentes y emergencias.

Con el propósito de abordar este desafío, este trabajo se enfoca en el diseño e implementación de un sistema basado en la tecnología LoRaWAN. Este sistema tiene como objetivo detectar automáticamente situaciones de hombre al agua y enviar una señal de alarma junto con la posición GPS del naufrago, permitiendo su monitorización en tiempo real. Para lograrlo, se propone el uso de un dispositivo portátil denominado LGT92, el cual, tras su activación, transmitirá periódicamente su localización a través de la red LoRaWAN sin el uso de internet. Este enfoque, permitirá alertar rápidamente al buque implicado suponiendo una reducción significativa en el tiempo de rescate. Además, se realizará una evaluación del rendimiento del sistema en términos de cobertura, consumo y fiabilidad en el medio acuático.

1.3 Estructura de la memoria

El presente trabajo se centra en el desarrollo de un sistema de detección de hombre al agua mediante el uso de tecnologías IoT (*Internet of Things*, IoT) y comunicación inalámbrica. En el capítulo 1, se contextualiza la importancia de esta problemática y se establecen los objetivos del proyecto. A continuación, se presenta la estructura del trabajo para guiar al lector a través de los distintos apartados.

El capítulo 2 revisa los sistemas comerciales y militares de detección de hombre al agua existentes, destacando diferentes enfoques tecnológicos como la radiofrecuencia, el Sistema de Identificación Automática (*Automatic Identification System*, AIS), los sistemas satelitales y la inteligencia artificial. Además, se analizan las tecnologías de comunicación inalámbrica, como Bluetooth Low Energy, Zigbee,

Sigfox y Long Range (LoRa) junto con una comparativa de estas tecnologías. Se evalúan las características del procedimiento de recogida de hombre al agua y se examinan también las regulaciones internacionales y nacionales relacionadas con la seguridad marítima.

A lo largo del capítulo 3 se detalla la metodología empleada, describiendo las herramientas *hardware* y *software* utilizadas, como el dispositivo *tracker* LGT92, el *gateway* LPS8N y diversas aplicaciones y plataformas de *software*. Se aborda el proceso de configuración y puesta en marcha de estas herramientas, así como el desarrollo del algoritmo de detección de hombre al agua basado en la activación manual y activación basada en la distancia. Los Problemas encontrados durante el desarrollo del proyecto se analizan en profundidad, destacando las dificultades relacionadas con la configuración de *hardware* y *software*, así como las limitaciones técnicas encontradas.

El capítulo 4 se analiza el sistema, presentando los resultados de pruebas de estanqueidad y activación del dispositivo LGT92, utilizando diferentes métodos como la activación por geozona, y manualmente y por distancia, además de llevar a cabo una prueba experimental en la lancha de instrucción Barrutia. Asimismo, se abordan las limitaciones identificadas durante el estudio.

Finalmente, el capítulo 5 resume las principales conclusiones del proyecto, enfatizando las implicaciones y limitaciones del sistema desarrollado y se proponen posibles líneas de investigación futuras para mejorar y ampliar el sistema de detección de hombre al agua.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Sistemas vigentes de detección comercial

A nivel comercial, existen diferentes tipos de sistemas de detección de hombre al agua. A continuación, se describen los dispositivos de detección de hombre al agua actuales en función de su principio de funcionamiento.

2.1.1 Sistemas basados en radiofrecuencia

En el medio acuático, la propagación de ondas de radiofrecuencia (RF) sufre una pérdida de energía significativa [8]. Esta pérdida depende de la frecuencia de la señal: cuanto más baja sea la frecuencia, menor será la atenuación [9]. A pesar de este problema, grandes empresas del ámbito naval apuestan por dispositivos basados en RF. Dado que, en general, las antenas de dichos dispositivos permanecen a flote o por encima de la superficie del agua.

2.1.1.1 Navicom RT650 MOB

El Navicom RT650 MOB, véase Figura 2-1, es un dispositivo de seguridad marítima que combina una radio VHF, un receptor AIS y un sistema de alarma MOB [10].

Este sistema permite localizar y rescatar a las personas que caen al agua desde una embarcación, mediante unos brazaletes que se comunican con la unidad receptora instalada en el barco. Cuando la radio está conectada a equipos GPS, puede obtener información sobre su ubicación actual y la hora local. Puede admitir hasta 16 brazaletes, que pueden ser activados de forma manual o automática. La activación manual se realiza pulsando un botón que emite una señal sonora y visual en el brazalete. La activación automática se produce cuando el brazalete detecta que se ha alejado más de 100 metros de la embarcación, lo que indica una posible caída al agua. En ambos casos, el brazalete envía una señal de socorro a la unidad receptora, que muestra la dirección y la distancia a la que se encuentra el naufrago [11].



Figura 2-1 Navicom RT650 MOB [10]

2.1.1.2 MOB+

MOB+ es un sistema que consiste en dos dispositivos: una antena receptora, llamada xHUB, véase Figura 2-2, y un transmisor que se lleva en la muñeca, llamado xFOB, véase Figura 2-3. Ambos dispositivos funcionan en el rango de frecuencia de los MHz y se comunican entre sí de forma inalámbrica. Según las características mostradas en la página *web* oficial [12], antes de iniciar la navegación, es necesario sincronizar los dispositivos pulsando manualmente el transmisor xFOB. El modo de activación puede ser automático, tras el contacto del náufrago con el agua o cuando el alcance entre los dispositivos supera los 15 metros. En cualquiera de estos casos, el sistema envía una señal de socorro a la antena receptora, que a su vez detiene automáticamente el motor de la embarcación. De esta forma, se evita que el náufrago y la embarcación queden a la deriva.



Figura 2-2 Antena receptora xHUB de FellMarine [12]



Figura 2-3 Lifetag xFOB de FellMarine [12]

2.1.1.3 Sea Tag

El Sea Tag, véase Figura 2-4, se trata de un brazaletes conectado a un *smartphone* mediante una aplicación gratuita a través de Bluetooth. Si el tripulante que lleva el brazaletes cae al agua, el *smartphone* emite una alarma automáticamente y envía un mensaje de emergencia a los contactos seleccionados. El mensaje incluye la latitud y la longitud del lugar de la caída. El Sea Tag funciona con cobertura móvil y es compatible con la mayoría de los *smartphones*, sin necesidad de instalar ningún dispositivo *hardware* adicional [13].



Figura 2-4 Brazaete Sea Tag de Ausmar [13]

2.1.2 Sistemas basados en el Sistema de Identificación Automática

El sistema AIS es una tecnología que facilita la comunicación y el seguimiento de los barcos en el mar. Consta de un dispositivo GPS y una radio que envían y reciben mensajes AIS. Estos mensajes incluyen datos como el nombre, la posición, la velocidad y el rumbo del barco. Los mensajes AIS siguen unos estándares internacionales definidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) [14]. A continuación, se detallan los dispositivos basados en AIS.

2.1.2.1 EasyRESCUE-PRO3

El dispositivo de seguridad marítima easyRESCUE-PRO3, mostrado en la Figura 2-5, es un sistema que combina tres modos de alerta y localización para casos de caída al agua: AIS, llamada selectiva digital (*Digital Selective Calling, DSC*) y *homing* a 121,5 MHz [15].

Según la empresa Weatherdock [15], pionera en la fabricación de dispositivos destinados a la seguridad marítima, el easyRESCUE-PRO3 se activa cuando un tripulante cae al agua con un chaleco salvavidas específico. Al inflarse el chaleco, el dispositivo se activa y realiza tres acciones:

- Enviar una señal de alerta AIS a los barcos con receptor AIS que se encuentren en un radio de 15 millas náuticas. Esta señal, indica la posición, velocidad y dirección del naufrago, permitiendo una monitorización actualizada cada minuto
- Realizar una llamada de socorro DSC a los barcos que hayan sido preprogramados (hasta un máximo de 8). Esta llamada transmite la misma información que la señal AIS.
- Emitir una señal *homing* a 121,5 MHz. Esta señal puede ser detectada por los barcos con receptor *homing*, pudiendo ser usada para variar el rumbo hacia la víctima. La señal *homing* tiene un alcance de 3 millas náuticas y su precisión aumenta a medida que se acerca al naufrago.



Figura 2-5 EasyRESCUE-PRO3 de Weatherdock [15]

2.1.2.2 *Fastfind Crew*

El FastFind Crew, véase Figura 2-6, es una baliza de localización personal salvavidas equipada con tecnología AIS. Esta baliza tiene un alcance de 4 millas náuticas y puede sumergirse hasta 50 metros. Permite programar un número de identificación MMSI (*Maritime Mobile Service Identity*), el cual permitirá la visualización en el plotter de la posición del náufrago, ofreciendo una transmisión continua de al menos 36 horas. Puede activarse manualmente o por contacto con el agua, además cuenta con baterías de litio de larga duración y luz estroboscópica SOS de alta potencia [16].



Figura 2-6 Fastfind Crew [16]

2.1.3 *Sistemas basados en satélite*

Las comunicaciones por satélite son un tipo especial de enlace de comunicación que ofrece ventajas como la comunicación inalámbrica, la capacidad de cubrir grandes áreas, el acceso a un elevado ancho de banda y la independencia de las redes terrestres. Estas ventajas son especialmente relevantes para las líneas de transporte marítimo, que requieren una comunicación fiable y constante entre los barcos y la costa [17].

2.1.3.1 *ResQLink AIS Personal Locator Beacon (PLB)*

El ResQLink AIS *Personal Locator Beacon* (PLB) es un dispositivo de localización personal que incorpora tanto transpondedores satelitales como locales.

Según la información obtenida de la página *web* de la compañía ACR Electronics [18], el dispositivo, que se muestra en Figura 2-7, tiene la ventaja de poder conectarse a un teléfono inteligente. Al acercar el teléfono al PLB, se abre automáticamente una aplicación denominada ACR Product, la cual muestra información adicional del estado del dispositivo. En cuanto a su activación, el ResQLink está diseñado para ser instalado dentro de un chaleco salvavidas y activarse automáticamente al inflarse, permitiendo un alcance global gracias a su capacidad para transmitir señales de socorro a través de la red de satélites Cospas-Sarsat. El dispositivo combina el Servicio de Enlace de Retorno (*Return Link Service, RLS*), que confirma la recepción del mensaje de socorro por parte de los servicios de emergencias, con la tecnología de Comunicación de Campo Cercano (*Near Field Communication, NFC*) y AIS.

El ResQLink AIS utiliza múltiples niveles de señalización, incluyendo *homing* a 121,5 MHz, GNSS (*Global Navigation Satellite System*) formado por GPS, Galileo, Glonass y AIS. Estos sistemas de señalización proporcionan una posición precisa y una alerta local a los barcos, con AIS incorporado en el área [18].

En la Figura 2-8, se muestra un dispositivo comercial de prestaciones similares, llamado RescueME PLB3 de la empresa Ocean Signal [19].



Figura 2-7 ResQLink Personal Locator Beacon de ACR [18]



Figura 2-8 RescueME PLB3 de Ocean Signal [19]

2.1.4 Sistemas basados en inteligencia artificial

La inteligencia artificial (IA) aplicada a la seguridad marítima contribuye a la detección y prevención de situaciones de riesgo con mayor eficacia, precisión y rapidez. Mediante la IA, se pueden recopilar y analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real, así como emplear algoritmos de aprendizaje automático para procesar la información proveniente de sensores, como cámaras de video, radares y sensores de movimiento. Un ejemplo de este tipo de sistemas es el MOBtronic de MARSS, mostrado en la Figura 2-9 [20].

2.1.4.1 MOBtronic

MOBtronic es un sistema que permite detectar automáticamente a las personas que caen al mar desde un buque. El sistema está compuesto por varias unidades autónomas que incorporan micro radares, cámaras térmicas y un sofisticado análisis de vídeo y procesamiento de datos. MOBtronic cumple con los estándares internacionales de seguridad marítima, incluyendo la CVSSA (*Cruise Vessel Security and Safety Act*) y la norma ISO (*International Organization for Standardization*) 21195:2020 [20].



Figura 2-9 Dispositivo MOBtronic de MARSS [20]

Para garantizar una cobertura óptima, las unidades MOBtronic se instalan en lugares estratégicos a lo largo de la cubierta del buque, véase Figura 2-10. Cada unidad tiene un alcance de 80 metros, asegurando una alta probabilidad de detección del 95%. En caso de una caída al mar, el sistema transmite la información a NiDAR CORE, una plataforma basada en IoT y en la inteligencia híbrida² (*Hybrid Intelligence, HI*), que recopila los datos sobre la velocidad, la dirección y la forma de la persona, facilitando así las labores de rescate [20].

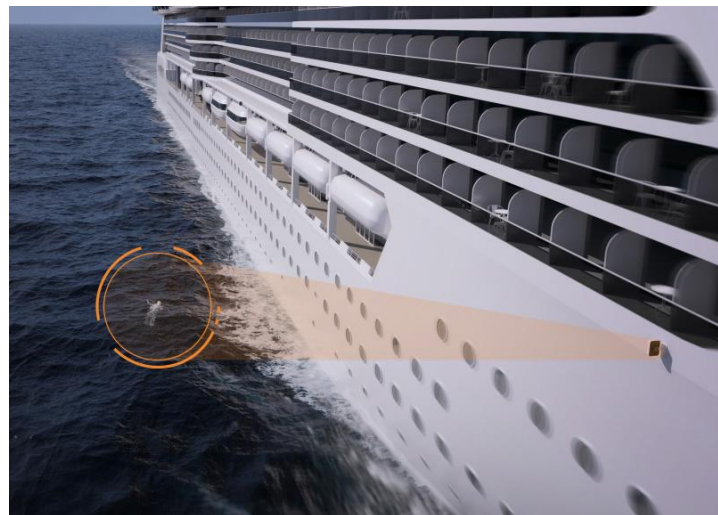


Figura 2-10 Funcionamiento MOBtronic de MARSS [20]

2.2 Sistemas vigentes de detección en buques militares

2.2.1 Sistema de localización de personal en Buques de Acción Marítima

El sistema de localización de personal desarrollado por la Fábrica de Artillería de Bazán Sistemas (FABA) y aplicado en los Buques de Acción Marítima (BAM) [22], utiliza la tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (*Radio Frequency Identification, RFID*) para supervisar al personal a bordo. El Sistema de Localización de Personal (SLP) rastrea a los miembros de la tripulación que entran en áreas controladas por lectores de tarjetas RFID activas. Estas tarjetas, que deben llevar todos los miembros de la tripulación, tienen un identificador único. Los lectores están situados en áreas de acceso, cubiertas y locales, y envían la información recogida a *switches* que centralizan y distribuyen las señales a las subestaciones del SLP más cercanas.

² Combinación de la inteligencia humana y la inteligencia artificial, con el objetivo de expandir el intelecto humano en lugar de reemplazarlo [21].

El SLP se integra en el Sistema Integrado de Control de Plataforma (SICP), lo que permite controlar el acceso a áreas restringidas, supervisar el embarque y desembarque, y localizar al personal en tiempo real por compartimentos o áreas.

No obstante, el SLP presenta ciertos inconvenientes. Requiere configuración de los lectores y ajustes de las antenas cuando hay cambios en la estructura del buque. Además, al estar integrado en el SICP, puede generar muchas falsas alarmas si los umbrales de estas no están bien definidos. El principal desafío de este sistema radica en la autonomía de las tarjetas RFID activas, ya que debido a su diseño, estas tarjetas no permiten cambiar las baterías una vez agotadas [22].

2.2.2 On Board Personnel Tracking System de Marine&Technologies

Marine&Technologies (Martec) [23] es una empresa privada italiana especializada en aplicaciones de defensa y seguridad desde 1994. Entre los sectores en los que opera, se encuentran la Armada italiana, los cruceros y los mega yates. Uno de los productos que ha desarrollado la compañía es el Sistema de Seguimiento de Personal a Bordo (*On Board Personnel Tracking System*, OPTS) [21]. Se trata de un sistema basado en tecnologías de RFID activo, que permite el monitoreo en tiempo real de la presencia de personas dentro de zonas peligrosas del barco. Para ello, cada persona a bordo lleva una etiqueta personal que es detectada automáticamente por las antenas ubicadas en las zonas monitoreadas del barco [24]. Además, el OPTS tiene una interfaz directa con el Sistema de Control de Daños (*Damage Control System*, DCS) [25] y con la base de datos del personal del barco, donde se almacena información relevante como el nombre o el perfil operativo de cada persona. Esta interfaz y esta conexión permiten proporcionar al usuario del DCS información clara y detallada sobre las identidades y ubicaciones del personal a bordo [24].

A continuación, en la Tabla 2-1, se resumen las características de los sistemas anteriormente mencionados. No se incluyen las especificaciones de los sistemas militares por motivos de confidencialidad.

Tabla 2-1 Resumen características dispositivos

Nombre	Activación alarma	Monitorización	Alcance	Característica específica	Transmisión Señal	Principio Funcionamiento
<i>Navicom RT650 MOB</i>	Manual o automática	Sí	100 m	-	Comunicación radio VHF	Radiofrecuencia
<i>MOB+</i>	Automática	No	No especificado	Detención motores	Comunicación radio (MHz)	Radiofrecuencia
<i>Sea Tag</i>	Automática	No	No especificado	Aplicación móvil	Bluetooth	Radiofrecuencia
<i>EasyRESCUE-PRO3</i>	Automática	Sí	AIS 15 millas <i>Homing</i> 3 millas	Empleo en chaleco salvavidas	AIS DSC <i>Homing</i> 121,5 MHz	AIS
<i>FastFind Crew</i>	Manual o automática	Sí	4 millas	Baterías litio y luz estroboscópica	AIS	AIS
<i>ACR ResQLink AIS</i>	Automática	Sí	Global	Teléfono inteligente con aplicación	Satélite COSPAS-SARSAT	AIS y Satélite
<i>MOBtronic</i>	Automática	Sí	80 m	NiDAR CORE	IoT	Inteligencia Artificial

2.3 Sistemas de comunicación inalámbrica

La primera red basada en radio por paquetes, ALOHANET, se desarrolló en la Universidad de Hawaii en 1971. Esta red permitía a los ordenadores situados en siete campus repartidos por cuatro islas comunicarse con un ordenador central en Oahu mediante transmisión por radio. La arquitectura de la red utilizaba una topología en estrella con el ordenador central en su centro. El ejército estadounidense se interesó mucho por la combinación de datos por paquetes y radio de difusión propia de ALOHANET. Durante los años 70 y principios de los 80, la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de

Defensa (*Defense Advanced Research Project Agency*, DARPA) invirtió recursos significativos para desarrollar redes que empleasen radios por paquetes para comunicaciones tácticas en el campo de batalla [26].

Varias compañías de cruceros han comenzado a implementar sistemas inalámbricos en su experiencia para los pasajeros, un ejemplo notable es la pulsera WOW de Royal Caribbean, una etiqueta RFID que sirve tanto como llave de la habitación como una forma de registrar las compras realizadas a bordo en la tarjeta de crédito registrada del pasajero [27].



Figura 2-11 Pulseras WOW de Royal Caribbean [28]

Los sistemas inalámbricos que permiten enviar paquetes de datos pequeños a largas distancias y con un bajo consumo de energía se denominan Redes de Área Amplia de Baja Potencia (*Low Power Wide Area Networks*, LPWAN). Estos sistemas se han utilizado principalmente en el ámbito del IoT, donde los datos procedentes de uno o varios sensores se transmiten mediante una puerta de enlace a un servidor de red. Desde allí, los datos se pueden visualizar en diferentes aplicaciones y se pueden enviar instrucciones al módulo [29].

En la actualidad, el mercado ofrece una amplia gama de tecnologías inalámbricas. No obstante, para que sean adecuadas y fiables en un posible escenario de hombre al agua, dichas tecnologías deben cumplir con ciertas especificaciones. En la Tabla 2-2, se clasifican dichos requisitos:

Tabla 2-2 Especificaciones tecnología MOB. Elaboración propia basada en datos de [30]

Eficiencia energética	El dispositivo debe mantener su funcionalidad durante toda la navegación sin necesidad de cargarlo o cambiar su batería.
Alcance	El dispositivo debe ser capaz de rastrear la posición del náufrago.
Tolerancia a interferencias	El sistema debe tener la capacidad de soportar miles de transmisores en una sola red sin causar interferencias.
Tamaño	Los dispositivos deben ser lo suficientemente cómodos para que los pasajeros puedan llevarlos en todo momento, probablemente en forma de pulsera o collar.
Precio	El dispositivo debe ser económico ya que se distribuirá entre todos los miembros de la dotación.

A continuación, se realiza una comparación entre cuatro tecnologías inalámbricas, evaluando cuál de ellas se ajustaría mejor a los requisitos indicados en la Tabla 2-2. Las tecnologías seleccionadas para este análisis son *Bluetooth Low Energy* (BLE), ZigBee, Sigfox y LoRa.

2.3.1 Bluetooth Low Energy

La tecnología BLE es una versión inalámbrica de bajo consumo de la conocida tecnología Bluetooth. Su objetivo es mantener una comunicación inalámbrica a corta distancia con un consumo energético

mínimo. Por esta razón, BLE es ideal para aplicaciones que no necesitan enviar o recibir grandes cantidades de datos de forma continua y que quieren aprovechar al máximo la vida útil de la batería [31].

Para lograr este bajo consumo, BLE opera en el espectro de 2.4 GHz y utiliza 40 bandas estrechas de 2 MHz cada una. Además, tiene una alta sensibilidad de recepción que alcanza los -93 dB, lo que le permite tener un alcance efectivo de unos 100 metros. Según los cálculos realizados por Texas Instruments, una empresa global que diseña y fabrica chips [32], un dispositivo BLE puede funcionar durante unos 400 días con una sola batería de celda de moneda de 230 mAh si transmite un dato cada segundo. Actualmente, en el mercado se pueden encontrar módulos de BLE de varios tamaños y precios. Se toma como ejemplo, el módulo RN4871-I/RM140 de Microchip, véase Figura 2-12. Existen tamaños disponibles entre 6 mm x 8 mm y 12 mm x 22 mm y precios no superiores a 10 euros [33].



Figura 2-12 Microchip BLE RN4871-I/RM140 [33]

2.3.2 ZigBee

ZigBee es una técnica de transmisión de código abierto que opera en tres frecuencias diferentes: 2450 MHz, 915 MHz y 868 MHz. Estas frecuencias se dividen en un total de 27 canales. De los 27 canales, diez se utilizan en la región americana y operan a 915 MHz a una velocidad de 40 kbps, un canal se utiliza en la región europea y opera a 868 MHz a una velocidad de 20 kbps y los 16 canales restantes operan en la frecuencia mundial sin licencia de 2450 MHz a una velocidad de 250 kbps [31].

Los nodos ZigBee tienen un alcance efectivo de 10 metros en interiores y un alcance en exteriores máximo de hasta 100 metros. Con una batería de celda de moneda a 120mAh, Zigbee tiene una vida útil estimada de la batería de 4 meses bajo condiciones óptimas, basada en un tamaño de paquete de 102 bytes y un intervalo de 10 segundos entre transmisiones [30].

Actualmente, en el mercado se pueden encontrar varios módulos de ZigBee disponibles, se toma como ejemplo, el módulo ZICM357SP2-1-R, microchip fabricado por la empresa californiana CEL (California Eastern Laboratories), con un tamaño aproximado de 24 mm x 16,5 mm y precios aproximados de 20 euros [34].



Figura 2-13 Módulo ZICM357SP2-1-R de CEL [34]

2.3.3 Sigfox

La tecnología Sigfox ha sido desarrollada por la empresa francesa Sigfox en 2009. Esta tecnología opera en el espectro de radiofrecuencia de 868 MHz en Europa, variando según la normativa de cada región [35].

Para transmitir datos, utiliza una tecnología de banda ultra estrecha (*Ultra Narrow Band, UNB*), la cual minimiza el consumo de energía y maximiza la cobertura. El transmisor Sigfox consume en modo activo entre 120 y 300 mA y 5 μ A cuando está inactivo. Con una batería de 200 mAh, se estima que puede funcionar durante 2,5 meses con un ciclo de trabajo de 15 minutos. La velocidad de transmisión de Sigfox es de 100 bits/s y permite alcanzar un rango de distancias de hasta 50 km. Sin embargo, esta tecnología tiene algunas limitaciones: solo puede enviar un máximo de 140 mensajes *uplinks* por día, con una carga útil máxima de 12 bytes por mensaje [30]. Estas limitaciones se imponen para garantizar una mejor eficiencia energética, al limitar la cantidad de mensajes, se logra prolongar la vida útil de la batería y restringir la cantidad de datos en el espectro. Además, Sigfox prioriza la cobertura y la eficiencia energética sobre la velocidad de transmisión

La Figura 2-14 representa el flujo de datos en una red Sigfox, comenzando con los dispositivos que envían información a las estaciones base. Posteriormente, los datos se almacenan y procesan en la nube Sigfox antes de ser entregados a las plataformas IoT del cliente para su análisis.



Figura 2-14 Arquitectura tecnología Sigfox [35]

En Figura 2-15, se muestra el módulo UPLYNX-M-RCZ1 de la propia empresa Sigfox, con un tamaño aproximado de 19 mm x 13.5 mm x 2 mm. La tecnología Sigfox no es de código abierto, por tanto, el usuario debe adquirir el módulo y una suscripción anual. En el caso de España, la suscripción asciende a un precio de 15 euros por dispositivo, tomando un límite máximo de 100 dispositivos [36].



Figura 2-15 Módulo UPLYNX-M-RCZ1 de Sigfox [36]

2.3.4 Long Range (LoRa)

La tecnología LoRa, que opera en el espectro de 868 o 902 MHz, es conocida por su capacidad para transmitir datos a largas distancias, con un alcance efectivo de hasta 15 km. Durante la transmisión, LoRa utiliza una potencia máxima de 32 mA, y cuando está en modo de reposo, su consumo de energía se reduce a 1 μ A. Este bajo consumo de energía permite una mayor vida útil de la batería. Si se asume que el chip LoRa consume 32 mA constantemente mientras transmite, un transmisor LoRa puede tener una vida útil estimada de hasta 150 días con un intervalo de transmisión de 1 minuto y una carga útil de 30 bits por mensaje [30].

Un ejemplo de un módulo que utiliza esta tecnología es el mostrado en la Figura 2-16, el modelo SX1276 de la empresa Semtech. Actualmente, tiene un precio estimado menor a 10 euros [37].



Figura 2-16 Módulo SX1276 de Semtech [37]

2.3.5 Comparativa diferentes tecnologías inalámbricas

En la Tabla 2-3, se comparan las tecnologías inalámbricas en base al alcance, precio y tamaño de los respectivos módulos.

Tabla 2-3 Comparativa Tecnologías Inalámbricas. Elaboración propia basada de datos de [30]

Tecnología	Alcance (m)	Precio (€)	Tamaño (mm)	Módulo
BLE	100	<10	9 x 11,5 x 2,1	RN4871-I/RM140
ZigBee	100	≈ 20	24 x 16,5	ZICM357SP2-1-R
Sigfox	50.000	Suscripción por cada dispositivo	19 x 13.5 x 2	UPLYNX-M-RCZ1
LoRa	15.000	< 10	No especificado	SX1276

Se destaca la limitación en alcance de las tecnologías BLE y ZigBee, además del alto precio de la tecnología privada Sigfox.

En la Figura 2-17, se comparan varias tecnologías inalámbricas en función a la velocidad de transmisión de datos, medida en Mbps y al alcance, medido en kilómetros.

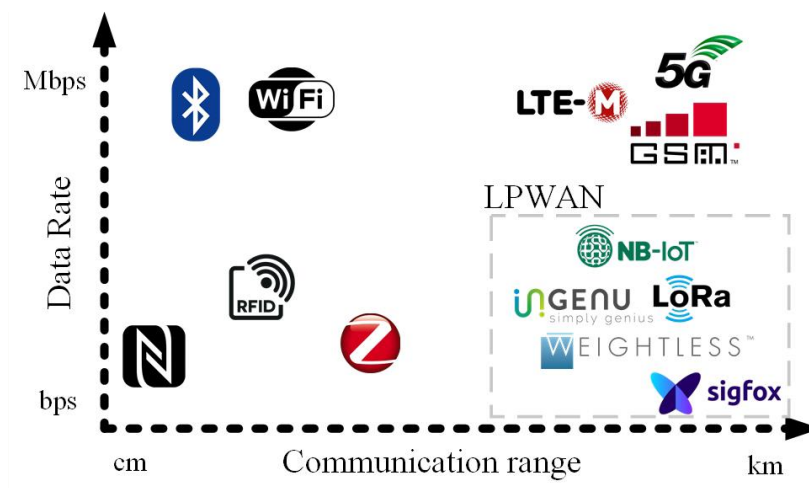


Figura 2-17 Tecnologías Inalámbricas Velocidad Transmisión vs Alcance [38]

En base a los datos recopilados, se decide emplear la tecnología LoRa como tecnología base para el sistema de detección de hombre al agua, por su buen alcance, bajo coste, tamaño de módulo y bajo consumo de energía.

A continuación, se explorará la tecnología que sustenta la solución propuesta de este trabajo. Antes de analizar detalladamente el protocolo LoRaWAN, es fundamental conocer el concepto de Internet de las Cosas, la base de las redes basadas en LoRa.

2.3.6 Internet de las cosas

El concepto de IoT se remonta a 1982, cuando una máquina expendedora de refrescos se conectó a Internet y fue capaz de informar sobre las bebidas que contenía y su temperatura. Años más tarde, en 1999, Kevin Ashton propuso el término "Internet de las cosas" para describir un sistema de dispositivos interconectados mediante redes [39].

Desde entonces, el Internet de las Cosas ha experimentado un crecimiento notable en los últimos años. Según [40], se preveía un valor en ingresos de más de 1 billón de dólares para el 2024, en cambio, según Statista, en 2022, el tamaño del mercado del IoT se valoró cerca de 250 billones de dólares, y se proyecta que crezca a 620 billones de dólares para 2030 [41]. Además, se espera que el número de dispositivos IoT conectados en todo el mundo casi se duplique, aproximándose a 15 mil millones en 2020 a más de 29 mil millones en 2030 [42]. Este crecimiento se ha visto impulsado por avances en la miniaturización de componentes electrónicos, el desarrollo de redes inalámbricas y la potencia de cálculo de los sistemas.

Analizando los datos estadísticos anteriores, se concluye que el crecimiento exponencial del Internet de las Cosas plantea desafíos significativos para la infraestructura actual de Internet, además, según un artículo sobre la revista científica de Enfoque UTE [39], se requerirá una nueva arquitectura abierta que aborde problemas de seguridad, calidad de servicio y privacidad.

No obstante, este concepto ha cobrado especial relevancia en la industria tecnológica, manifestándose en una amplia variedad de productos y sistemas. El concepto de IoT es permitir el intercambio autónomo de información útil entre diferentes dispositivos del mundo real incrustados a nuestro alrededor e impulsados por las tecnologías de radiofrecuencia y las redes de sensores inalámbricos [39]. Para ello, se requiere un largo alcance de comunicación, un consumo de energía muy bajo y una eficiencia de costos. Sin embargo, las tecnologías de corto alcance más usadas (como BLE y ZigBee) no cumplen con los requisitos de transmisión a larga distancia. Por otro lado, las soluciones basadas en comunicaciones móviles celulares (como 2G, 3G y 4G) ofrecen un mayor alcance de transmisión, pero consumen mucha energía del dispositivo. Por esta razón, las aplicaciones de IoT han impulsado el desarrollo de las redes de área amplia de bajo consumo (LPWAN).

2.3.7 Low Power Wide Area Networks (LPWAN)

Las LPWAN son redes inalámbricas que facilitan el envío de datos entre dispositivos y estaciones base o *gateways* que se encuentran a cientos de metros o pocos kilómetros de distancia, consumiendo muy poca energía [43].

Las redes inalámbricas presentan tres factores: el consumo energético, el alcance o distancia entre receptor y transmisor y la capacidad de transmisión de datos. No obstante, no hay una red que satisfaga los tres factores, sino que se debe renunciar a uno para mejorar los otros. Las tecnologías LPWAN aseguran un largo alcance de transmisión y un bajo consumo de batería, sacrificando la cantidad de datos que pueden transmitir [43].

En estas redes se destacan dos tecnologías principales: SigFox y LoRa. Sin embargo, tras la comparativa de la Tabla 2-3, se analiza de forma exhaustiva la tecnología LoRa.

2.3.7.1 Tecnología Long Range (LoRa)

Fue desarrollada en sus orígenes por Semtech y en la actualidad está administrada por LoRa Alliance. Trabaja dentro de la banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) estando autorizadas en Europa las frecuencias de 915 y 886 MHz. Esto posibilita que cualquier persona pueda utilizar esta tecnología sin necesidad de licencia, respetando los parámetros de transmisión. Se presenta como una solución integral en entornos donde la cobertura de comunicaciones es escasa o inexistente, y donde no siempre hay acceso a la red eléctrica. La tecnología LoRa aborda tanto el problema de alcance de la red como la falta de red eléctrica.

En la Tabla 2-4, se enumeran las características principales de LoRa obtenidas de [44]:

Tabla 2-4 Características LoRa. Elaboración propia basada en datos de [44]

<i>Largo Alcance</i>	Conecta dispositivos a una distancia de hasta 40 km
<i>Bajo Consumo</i>	Requiere energía mínima
<i>Seguro</i>	Cuenta con cifrado AES128
<i>Estandarizado</i>	Ofrece interoperabilidad de dispositivos y disponibilidad global de redes
<i>Geolocalización</i>	Ofrece la capacidad de determinar la ubicación de dispositivos sin emplear GPS. Permite hallar la ubicación mediante la triangulación de señales de radio.
<i>Móvil</i>	Mantiene la comunicación con dispositivos en movimiento
<i>Alta capacidad</i>	Soporta millones de mensajes por estación base
<i>Bajo coste</i>	Reduce los gastos operativos

2.3.7.2 Tecnología Long Range Wide Area Network

La tecnología LoRaWAN se ha desarrollado como un protocolo de comunicación específicamente diseñado para conectar dispositivos de baja potencia a Internet. Su objetivo principal radica en facilitar la conexión inalámbrica de una amplia gama de dispositivos, como sensores y actuadores, en redes de área amplia, ya sea a nivel regional, nacional o global. Entre sus características clave se encuentran la comunicación bidireccional, la seguridad de extremo a extremo y la capacidad de proporcionar servicios de localización. Este protocolo se utiliza ampliamente en aplicaciones de Internet de las Cosas, como el seguimiento de activos, el monitoreo ambiental y la automatización industrial [45].

Para comprender mejor las diferencias entre LoRa y LoRaWAN, es importante tener en cuenta que LoRa se refiere a la capa física, es decir, la capa 1 del modelo OSI (*Open System Interconnection*), centrándose en los aspectos técnicos relacionados con la transmisión de datos a través del aire, como la modulación, el ancho de banda y la frecuencia. Por otro lado, LoRaWAN define el protocolo de comunicación entre los dispositivos y la red, equivalente a las capas 2 y 3 del modelo OSI [46], véase Figura 2-18.

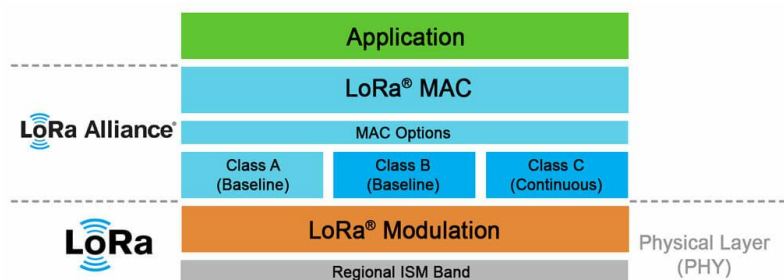


Figura 2-18 Capas LoRaWAN [47]

LoRaWAN está formada por una topología de estrella de estrellas, donde los mensajes se transmiten entre los dispositivos finales y un servidor central de red por medio de las estaciones base. Las estaciones base se comunican con el servidor de red mediante conexiones IP estándar y solo hacen de puente transparente, convirtiendo los paquetes IP en paquetes de radiofrecuencia y viceversa. La comunicación inalámbrica se basa en las propiedades de largo alcance de la capa física LoRa, lo que permite una conexión directa entre el dispositivo final y una o más estaciones base. Todos los modos admiten comunicación bidireccional, y hay soporte para grupos de direcciones de multidifusión, lo que facilita un uso eficiente del espectro para tareas como actualizaciones de firmware a través del aire (*Firmware Over-The-Air, FOTA*) u otros mensajes de difusión masiva [45].

Según [48], la red LoRaWAN consta de cuatro elementos básicos. En la Tabla 2-5, se clasifican y se describen dichos elementos.

Tabla 2-5 Elementos Red LoRaWAN. Elaboración propia basada en datos de [47] [48]

<i>Nodo LoRa</i>	Sensores o aplicaciones donde se realiza el testado y el control.
<i>Pasarela</i>	Los datos que envían los nodos finales son recibidos por todas las pasarelas que estén dentro del alcance y reenviados al servidor de red basado en la nube, donde se procesan y se envían a las aplicaciones correspondientes.
<i>Servidor de red</i>	Administra toda la red LoRaWAN, identifica el destino de los datos, los reenvía al servidor de aplicaciones adecuado y permite el intercambio de datos y la autorización de sensores.
<i>Servidor de aplicaciones</i>	Aloja el software encargado de procesar los datos de la aplicación de forma segura y recibe los datos del servidor <i>web</i> .

En la Figura 2-19, se muestra la relación de dichos elementos, conformando así la estructura de red. Los nodos envían o reciben datos de forma inalámbrica utilizando la modulación LoRa hacia y desde las puertas de enlace. Dichas puertas de enlace actúan como puentes, permitiendo recibir mensajes de los nodos y reenviarlos al servidor de red. A continuación, el servidor de red gestiona toda la infraestructura de la red LoRaWAN, facilitando el intercambio de datos. Por último, el servidor de aplicaciones, procesa los datos de la aplicación de forma segura [47].

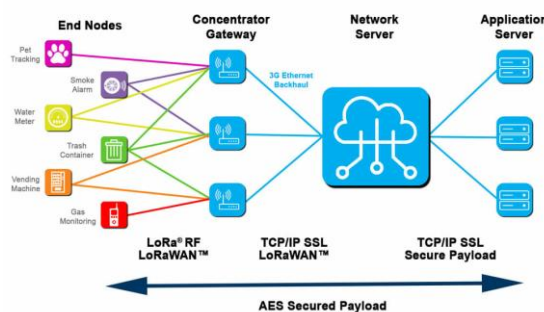


Figura 2-19 Estructura LoRaWAN [47]

2.4 Legislación vigente

2.4.1 Organizaciones Internacionales

La Organización Marítima Internacional es un organismo internacional creado en 1948 para promover la cooperación entre los gobiernos en materia de seguridad marítima, eficiencia de la navegación y protección del medio ambiente marino. La OMI desarrolla y adopta normas internacionales que deben ser acatadas por todos los países con actividad marítima [49].

La seguridad de los pasajeros y la tripulación a bordo de los barcos es una prioridad fundamental para las organizaciones marítimas internacionales, incluyendo tanto la OMI como a la Organización Internacional del Trabajo (OIT). Estas entidades han establecido una serie de procedimientos de seguridad y protocolos de emergencia diseñados para prevenir y abordar los casos de personas caídas al agua, que constituyen una de las principales causas de pérdida de vidas en la mar. Dichos procedimientos incluyen la evaluación de riesgos para prevenir caídas al agua debido a errores humanos o condiciones ambientales adversas, la provisión de equipos necesarios a bordo, como boyas salvavidas con luz y humo, botes de rescate y dispositivos de localización, así como la ubicación estratégica de estos equipos a lo largo de la embarcación.

Para facilitar un acceso y uso efectivo de estos equipos, es crucial proporcionar capacitación y realizar ejercicios periódicos para la tripulación. Además, es fundamental supervisar y hacer cumplir estos procedimientos mediante la regulación de entidades como el Control del Estado en el Puerto³ (*Port State Control*, PSC) y el estado de bandera (*Flag State Control*, FSC). Los procedimientos de emergencia para el rescate de personas caídas al agua están establecidos en el Convenio para la Seguridad de la Vida en el Mar (*Safety Of Life At Sea*, SOLAS), en las convenciones de la OIT de 1996 y en el Código Internacional de Gestión de la Seguridad (*International Safety Management Code*, ISMC) [51] [52] [53].

Sin embargo, estas regulaciones no requieren la instalación de sistemas o equipos específicos que permitan detectar caídas al agua de personas, lo cual podría mejorar significativamente las posibilidades de supervivencia. Solo algunos tipos de barcos, como los cruceros y los pesqueros, tienen que cumplir con reglas específicas de detección de hombre al agua, como la legislación establecida por Estados Unidos [54].

2.4.2 Legislación en América

La Ley de Seguridad de Buques de Crucero (*Cruise Vessel Security and Safety Act*, CVSSA) de 2010 establece el requisito para las líneas de cruceros de contar con sistemas automáticos de detección de caídas al agua de personas, así como de facilitar medidas de rescate inmediatas. La normativa específica, según [55]:

“el barco debe integrar tecnología que pueda utilizarse para capturar imágenes de pasajeros o detectar a los pasajeros que han caído por la borda, en la medida en que dicha tecnología esté disponible”.

Algunos expertos critican que la ley no garantiza la supervivencia ni el rescate de las personas que caen por la borda, y que las líneas de crucero solo cumplen con el mínimo legal. Lamentablemente, el 90% de las líneas de cruceros, no equipan sus barcos con sistemas automáticos de detección, a pesar de que existen sistemas de alerta disponibles [54].

En el Anexo III: Carta Almirante Linda Fagan, se insta a la Guardia Costera y a las líneas de cruceros a tomar todas las medidas posibles para prevenir incidentes de hombre al agua. La implementación generalizada de dispositivos de detección ayudaría a la Guardia Costera a tener información oportuna y precisa durante las misiones de búsqueda y rescate, lo que sería de gran interés, pues cualquier retraso en la aplicación de soluciones podría ser la diferencia entre la vida y la muerte en el próximo incidente de caída al agua.

2.4.3 Legislación en España

Tras consultar a los instructores de área del Centro de Seguridad Marítima Integral Jovellanos, cuya responsabilidad es establecer, desarrollar y diseñar una formación completa en salvamento y seguridad marítima, se ha obtenido información relevante sobre la obligatoriedad de implementar sistemas de detección automática de personas caídas al agua en España [56]. La respuesta obtenida para la consulta se reproduce a continuación.

“Hasta dónde llega nuestra información, no existe ninguna obligación (con referencia a convenios internacionales del ámbito mercante o pesca referente a dispositivos de MOB), de disponer a bordo de sistemas de detección automática/electrónica de personas al agua. La detección de personas al agua regulada en el IAMSAR vol III (*International Aeronautical and Maritime Search and Rescue*) se trata de una detección visual siguiendo patrones de búsqueda en las maniobras con buques/medios aéreos.

³ Inspección de buques de bandera extranjera en los puertos nacionales, verificando que el estado del buque y su equipo cumplan con las regulaciones internacionales [50].

La actuación desde el buque pasa por dar la voz de alarma, no perder de vista al naufrago y realizar la maniobra de aproximación de Willianson, Boutakow, etc., y hacer la recogida con la ayuda del bote de rescate.

Es posible encontrar, exclusivamente a nivel sectorial dentro de industrias como la eólica marina o la del gas y petróleo o incluso la aeronáutica, la obligación de equipar a su personal con alguno de esos dispositivos y con alguna de las tecnologías disponibles 121,5 MHz, 406 MHz, 243 MHz, GPS y AIS. Hoy en día, aunque no es obligatorio se utilizan las PLB en los chalecos salvavidas y que pueden ser satelitarias o AIS de circuito abierto o cerrado y que dan la alarma en caso de caída al agua.”

2.5 Procedimiento de situación MOB actual en las Lanchas de Instrucción

Se estudia la eficiencia y viabilidad del procedimiento actual de una situación de hombre al agua en la lancha de instrucción Barrutia, véase la Figura 2-20.



Figura 2-20 Lancha de instrucción Barrutia

2.5.1 Características de la lancha de instrucción

Las lanchas de instrucción (LLII) tipo Rodman 66, se emplean en una variedad de ejercicios y prácticas, que abarcan desde la navegación básica hasta maniobras más avanzadas, como la navegación nocturna, la operación de sistemas de comunicación y la respuesta a situaciones de emergencia en la mar, como la recuperación de un hombre al agua. En este ejercicio, se evalúan las reacciones iniciales de la dotación ante la emergencia simulada, así como la efectividad del método de recogida empleado, con el fin de garantizar la preparación óptima de los futuros oficiales de la Armada.

En la Tabla 2-6, se especifican las características generales de la lancha según el manual oficial elaborado por la Escuela Naval Militar [57].

Tabla 2-6 Características LLII Barrutia. Elaboración propia basada en datos de [57]

Eslora total	20,50 m
Manga del casco	4,90 m
Puntal	2,56 m
Calado aproximado en rosca	0,90 m
Velocidad máxima	20 nudos
Velocidad de crucero	15 nudos
Tripulación prevista	16 personas

2.5.2 Procedimiento de recogida de MOB

En las Lanchas de Instrucción de la Armada, el procedimiento de rescate de un hombre al agua difiere significativamente del empleado en otros tipos de buques. Mientras que comúnmente, se emplea un nadador de rescate y una embarcación para este fin, en las LLII se recurre al uso del bichero, véase Figura 2-21. Durante los ejercicios de hombre al agua, se representa al náufrago mediante un muñeco MOB, véase Figura 2-22. En cada salida a la mar, se debe comprobar la correcta estiba de los roscos salvavidas y el estado del material utilizado en cada situación de emergencia.

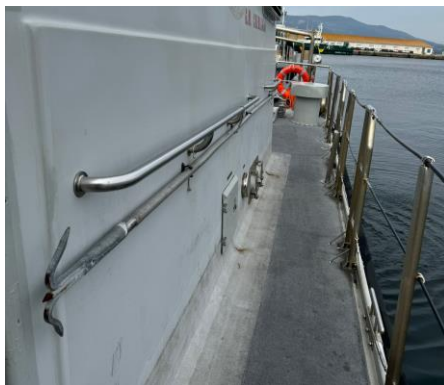


Figura 2-21 Bichero de una lancha de instrucción



Figura 2-22 Muñeco MOB

El personal de la dotación debe estar pertrechado y alistado correctamente en todo momento, véase la Figura 2-23. Durante las maniobras, los miembros de la dotación que se encuentren en la cubierta exterior del buque deben llevar puesto un casco, un chaleco salvavidas, botas y guantes de seguridad. Además, el Oficial de Guardia en puente (OGP) debe tener a su disposición una lista de comprobación rápida, conocida como Tarjeta de Reacción Rápida (TRR), en la que se incluyen las acciones iniciales ante este tipo de emergencias. En el Anexo V: Reacciones Iniciales MOB, se muestra el listado de comprobación de las acciones iniciales establecidas en las LLII.



Figura 2-23 Personal pertrechado

Para una gestión eficiente de las novedades y una rápida identificación del naufrago, se debe mantener actualizada la lista de personal presente a bordo en el puente. El Oficial de Guardia en puente debe estar preparado en todo momento para elegir el método de rescate más adecuado según las condiciones meteorológicas, los recursos disponibles y las limitaciones operativas del buque.

De manera secuencial, el OGP y el personal del puente deben seguir una serie de acciones en el siguiente orden:

1. Activar la voz de alarma.
2. Señalizar la posición del naufrago.
3. Elegir el método de recogida adecuado.
4. Transmitir mensajes y señales pertinentes.
5. Realizar distintas maniobras para la aproximación, evaluando las ventajas e inconvenientes de cada una.
6. Cronometrar el tiempo que lleva el naufrago en el agua y tener en cuenta la tabla de supervivencia en el agua.
7. Proporcionar información a través de las órdenes generales.

Además, de tener en cuenta la TRR correspondiente en todo momento.

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Metodología

En este capítulo, se detalla cómo es el flujo de información en la arquitectura de red IoT que se pretende implementar mediante dos dispositivos IoT de usuario, un *gateway* LoRa, un servidor MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) y un ordenador. En la Figura 3-1, se muestra cómo los dispositivos IoT, utilizando un tema específico (*topic*), envían mensajes (*payloads*) a un *gateway* a través de la tecnología LoRa. Posteriormente, el *gateway* LoRa transmite estos datos al servidor MQTT. Este último actúa como intermediario, recibiendo y gestionando los *payloads* de los dispositivos IoT. Finalmente, se muestra cómo el ordenador, a través de un cliente específico, se conecta al servidor MQTT para recibir y procesar estos datos, permitiendo realizar cualquier operación deseada.

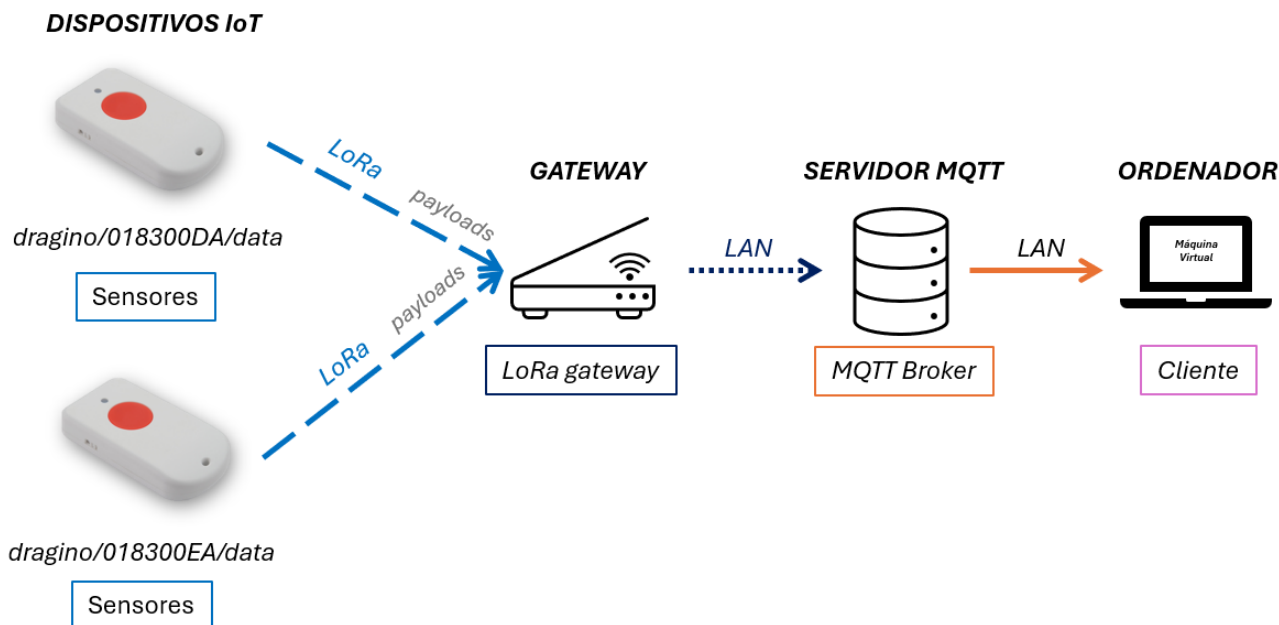


Figura 3-1 Flujo de información de la arquitectura IoT

Para una comprensión más completa de los conceptos relacionados con la estructura de red, se definen:

- *Broker*: Actúa como un intermediario en la comunicación entre dispositivos dentro de una red. En el ámbito de IoT y la comunicación a través de MQTT, un *broker* funciona como un servidor centralizado que recibe mensajes procedentes de diversos dispositivos [58].

- *Payload*: En el contexto de transmisión de datos entre dispositivos, representa el mensaje. Contiene la información que se desea transmitir, como lecturas de sensores o estados de los dispositivos [59].
- *Topic*: Se refiere a una etiqueta o identificador utilizado para clasificar los mensajes dentro del sistema de mensajería MQTT. Los dispositivos emiten mensajes en *topics* específicos, mientras que otros dispositivos pueden suscribirse a estos *topics* para recibir los mensajes pertinentes [58].

3.1.1 Herramientas hardware

El presente trabajo se centra en la implementación y evaluación de dos herramientas *hardware* específicas: dos dispositivos *tracker* LGT92 y una puerta de enlace LPS8N de la empresa Dragino. Además, se detallan las características de una antena omnidireccional OMB.868.B05F21, empleada como un recurso de *hardware* auxiliar.

3.1.1.1 Dispositivo tracker LGT92

El LGT92, véase la Figura 3-2, es un dispositivo de rastreo GPS formado por un microcontrolador de Ultra Bajo Consumo de Energía STM32L072 [60] y un módulo LoRa SX1276/1278 [37]. Además, integra un módulo GPS de bajo consumo L76-L [61] y un acelerómetro de 9 ejes. Mediante la tecnología LoRa, puede transmitir datos a largas distancias con tasas de transferencia bajas, siendo especialmente adecuado para aplicaciones profesionales de seguimiento [62].



Figura 3-2 Tracker LGT92 de Dragino [62]

El LGT92 cuenta con varios elementos esenciales que le permiten llevar a cabo sus funciones de seguimiento:

- Módulo GPS: Posibilita al dispositivo determinar su localización geográfica mediante la recepción de señales de satélites GPS.
- Módulo LoRaWAN: Facilita la comunicación inalámbrica de larga distancia con bajo consumo energético, permitiendo así el envío de datos de ubicación a servidores o redes.
- Sensores: Puede integrar diversos sensores, como un acelerómetro, útiles para detectar movimiento o la orientación del dispositivo.
- Batería: el LGT92 cuenta con una batería de larga duración de 1000mA de iones de litio que permite un seguimiento continuo sin necesidad de recargas frecuentes [62].
- Antenas: Utilizadas para la recepción de señales GPS y la transmisión de datos a través de LoRaWAN.

Para la configuración de los dispositivos se emplea la herramienta de *software* Putty. En la sección 3.1.2.5, se detalla su instalación y configuración.

El LGT92 se configura mediante los comandos AT (*Attention*), un grupo de instrucciones que se emplean para establecer comunicación con dispositivos a través de interfaces serie. Estos dispositivos pueden incluir *módems* y dispositivos Bluetooth y otros equipos de comunicación. Dichos comandos se transmiten como cadenas de texto sencillas y generalmente se inician con las letras "AT", seguidas de una secuencia particular que indica la acción que se pretende ejecutar o la información que se desea recuperar del dispositivo.

Tras el estudio de los comandos disponibles en el manual de la empresa Dragino [63], se deciden utilizar los siguientes comandos para configurar los dispositivos teniendo en cuenta las necesidades requeridas:

- Se establece el modo ABP (*Activation by Personalization*) mediante el comando `AT+NJM=0`. En este modo de activación, tanto el dispositivo como la red LoRaWAN cuentan con información previamente configurada que les permite autenticarse y establecer una conexión sin tener que realizar un intercambio de claves dinámicas [64]. En este modo, se emplean dos claves predefinidas en los dispositivos: la APPSKEY (*Application Session Key*) y la NETSKEY (*Network Session Key*), las cuales son utilizadas para cifrar y descifrar los mensajes entre el dispositivo y la red, asegurando así la comunicación.
- El módulo GPS permanecerá siempre encendido y posicionándose para permitir la monitorización de la ubicación del dispositivo, para lo que se utiliza el comando `AT+FTIME=0`.
- Se configura el módulo GPS en modo *normal* mediante `AT+NMEA886=1`. Este modo habilita el uso del GPS para propósitos generales.
- Para conocer el valor del RSSI (*Received Signal Strenght Indicator*), se configura el formato del *payload* mediante `AT+RSSI`.

3.1.1.2 Gateway LPS8N

El *gateway* LPS8N, véase la Figura 3-3, es utilizado en las redes LPWAN para conectar dispositivos de IoT con la infraestructura de red. Actúa como un centro de recepción de datos de múltiples dispositivos IoT y los envía a la red LPWAN para su procesamiento y análisis. Su función principal es recopilar información de los dispositivos y facilitar su comunicación con la nube o un servidor central. Además de recibir datos, el *gateway* puede enviar instrucciones y ajustes a los dispositivos IoT conectados [65].



Figura 3-3 Gateway LPS8N [66]

Para acceder a la configuración e interfaz web del dispositivo LPS8N, se inicia sesión con el nombre de usuario “root” y la contraseña establecida de fábrica, véase la Figura 3-4. El LPS8N debe estar configurado para trabajar en el modo de servicio de MQTT, tener suscritos los dispositivos LGT92 y debe poder transmitir en la frecuencia de LoRa correspondiente a Europa, 868 MHz.

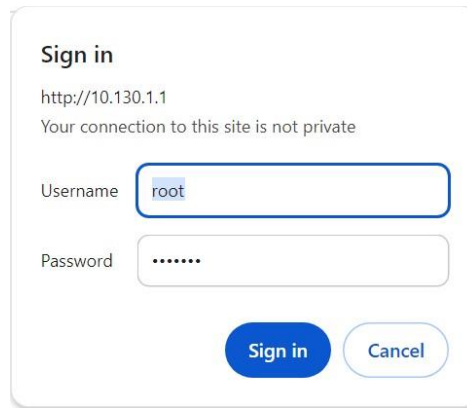


Figura 3-4 Inicio LPS8N

En la Figura 3-5, se muestra cómo es la configuración del cliente MQTT. Para ello, se establece como puerto el 1884 y como *broker address* la IP perteneciente a la máquina virtual, explicada en la sección 3.1.2.1. Se marcan las opciones de activar publicación y activar suscripción para habilitar el uso de los *topics* a emplear.

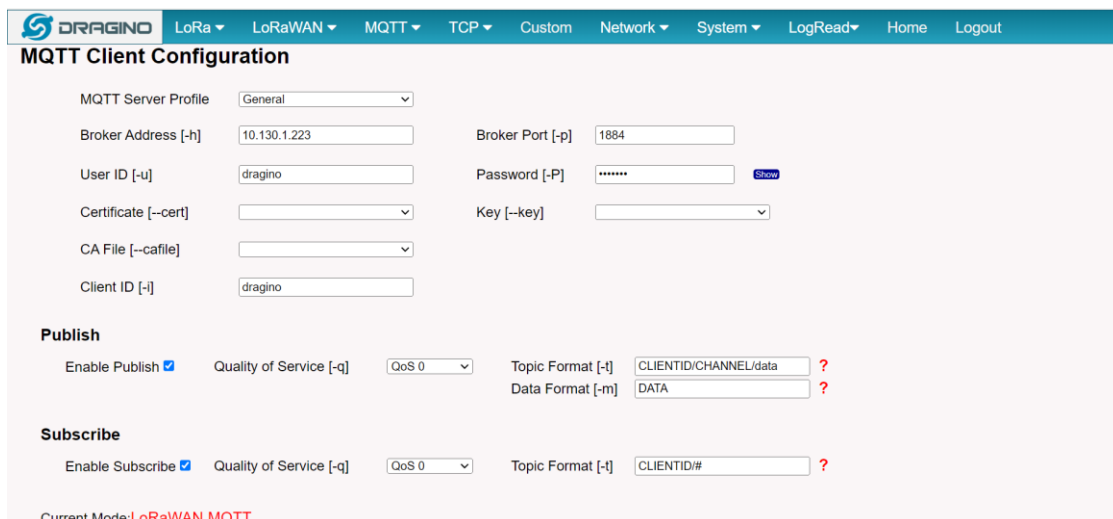


Figura 3-5 Configuración MQTT

En la Figura 3-6, se añaden las claves de cada *tracker* IoT. Generalmente, estas claves, únicas para cada dispositivo, se encuentran ubicadas dentro de la caja donde se almacena el dispositivo o en una etiqueta adherida a la parte posterior del mismo. Las claves son esenciales para establecer una conexión segura y confiable en la red LoRaWAN. Además, se marca la casilla de activación del descifrado ABP, lo que permite cifrar y descifrar los mensajes entre el dispositivo y la red. Posteriormente, en la Figura 3-7, se muestra la interfaz *web* de la vista general del sistema.

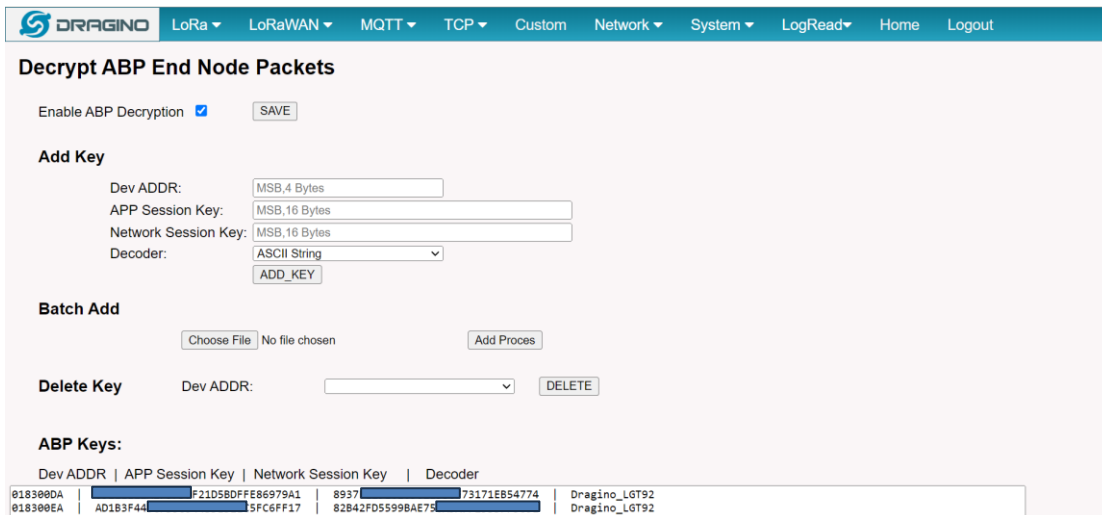


Figura 3-6 Configuración en modo ABP

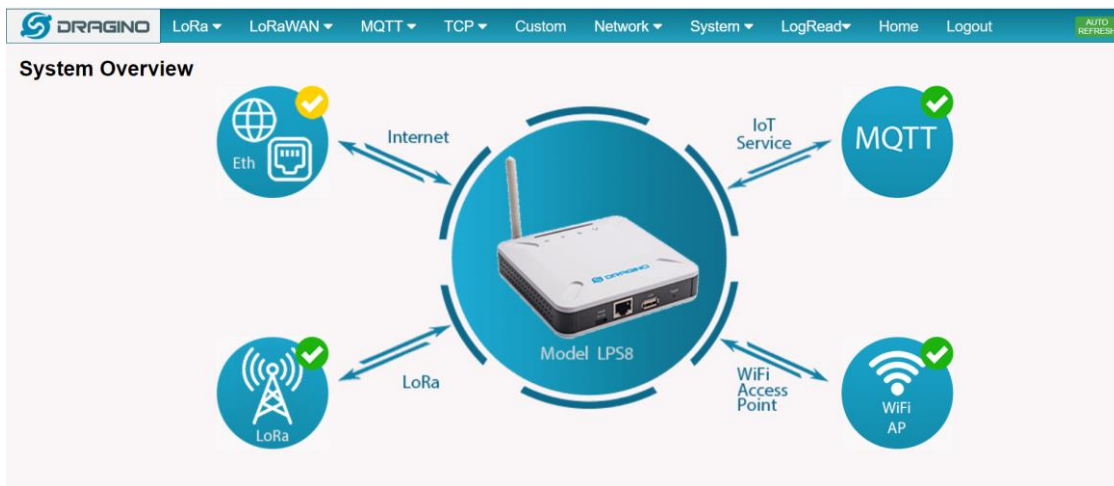


Figura 3-7 Interfaz LPS8N

3.1.1.3 Antena Omnidireccional OMB.868.B05F21

La antena OMB.868.B05F21 de la empresa de Taoglas, véase la Figura 3-8, es una antena pasiva de diseño colinear, con una ganancia de 5 dBi y una impedancia de 50 Ohmios. Está Diseñada para operar en un rango de frecuencia de 860 MHz hasta 870 MHz y está fabricada con fibra de vidrio resistente. Su clasificación IP65 la hace resistente al polvo y al agua, lo que le permite su uso en exteriores. Además, puede soportar temperaturas extremas que oscilan entre los -40°C y los 60°C. Tiene un conector tipo N hembra, el cual facilita su instalación en diversas configuraciones [67].



Figura 3-8 Antena Omnidireccional OMB.868.B05F21[67]

3.1.2 Herramientas software

La estructura de red de este proyecto se basa en un conjunto de herramientas *software* que trabajan en conjunto para cumplir con los objetivos principales del proyecto. Estas herramientas incluyen Mosquitto, Python y Node-Red. Además, se usan como herramientas *software* de apoyo, MQTT.fx, Putty y Notepad++. Para consolidar y centralizar la estructura de red, se emplea una máquina virtual (*Virtual Machine*, VM) con Raspbian como sistema operativo.

- Mosquitto es un *broker* de mensajes que utiliza el protocolo MQTT, que es ampliamente empleado para la comunicación IoT [68].
- Python es un lenguaje de programación versátil, conocido por su legibilidad y simplicidad. Se emplea en diversas áreas como el desarrollo de páginas *web*, procesamiento de datos y automatización de procesos [69].
- Node-Red es una herramienta de programación visual que permite conectar dispositivos, servicios y APIs (*Application Programming Interface*) de una manera sencilla y rápida [70].
- MQTT.fx es un cliente del protocolo MQTT que permite la conexión con *brokers* para evaluar proyectos antes de su implementación, mejorando la calidad del software y la reducción de carga de trabajo manual [71].
- Putty es una herramienta utilizada principalmente por administradores de sistemas y desarrolladores para acceder de forma segura a servidores remotos y realizar tareas de administración y desarrollo [72].
- Notepad++, es un editor de texto avanzado de código abierto diseñado para sistemas Windows [73].
- Para crear la estructura de red mostrada en la Figura 2-19, se decide instalar una máquina virtual, Oracle VM Virtualbox, con el fin de encapsular todos los programas necesarios en un entorno independiente [74].

Cada una de estas herramientas desempeña un papel crucial en la estructura de la red. Mosquitto se encarga de la recepción y envío de mensajes, Node-Red permite la interconexión y la comprobación del flujo de datos entre los diferentes componentes. Mediante la programación Python se generan los programas necesarios para procesar los datos procedentes de los dispositivos IoT. Por otro lado, Notepad++ se emplea como editor de texto para el desarrollo de *scripts*⁴, mientras que MQTT.fx se utiliza como cliente MQTT para facilitar la conexión con el *broker*. Además, para consolidar y centralizar la estructura de red, se emplea la máquina virtual.

A continuación, se proporcionan las pautas necesarias para la descarga e instalación de estas herramientas, así como una explicación detallada de cómo se relacionan entre sí.

3.1.2.1 Instalación y configuración de Oracle VM Virtualbox

Oracle VM VirtualBox es un *software* de virtualización de código abierto desarrollado por Oracle Corporation. Permite a los usuarios ejecutar múltiples sistemas operativos en un solo equipo físico, conocido como el sistema *host*. Cada sistema operativo se ejecuta en su propia máquina, que actúa como un sistema informático virtual con su propia CPU (*Central Processing Unit*), memoria, interfaz de red y almacenamiento, pero que se crea y gestiona en el *hardware* físico del *host* [76] [77].

El sistema operativo empleado es Raspbian 11 (Raspberry Pi OS) [78]. Esta configuración permite un desarrollo y pruebas más eficientes, ya que se puede trabajar en un entorno que simula el del *hardware* final sin necesidad de tenerlo físicamente. Además, la utilización de Raspbian, una distribución de Linux optimizada para Raspberry Pi, asegura una compatibilidad total con este tipo de *hardware*, muy utilizado en proyectos de IoT.

⁴ Conjunto de instrucciones o comandos escritos en un lenguaje de programación [75].

Para su instalación se siguen los siguientes pasos:

1. Se descarga la versión de Oracle VM VirtualBox que corresponda al sistema operativo en el que se va a instalar [79]. En este caso, se requiere la versión para Windows 11 PRO con sistema operativo de 64 bits. A continuación, se completa la instalación tras los pasos en pantalla.
2. Se descarga la imagen ISO de Raspbian (Raspberry Pi OS) desde la página oficial [80].
3. Se crea una nueva máquina virtual en VirtualBox y se configura la cantidad de memoria RAM el espacio en el disco duro y el adaptador de puerto. Se establece el adaptador de puerto Realtek RTL8852BE WiFi 6 802.11ax PCIe Adapter para poder facilitar el acceso vía Wifi al LPS8N.
4. Se asocia la imagen ISO de Raspbian con la máquina virtual siguiendo los pasos en pantalla para su instalación, véase la Figura 3-9.

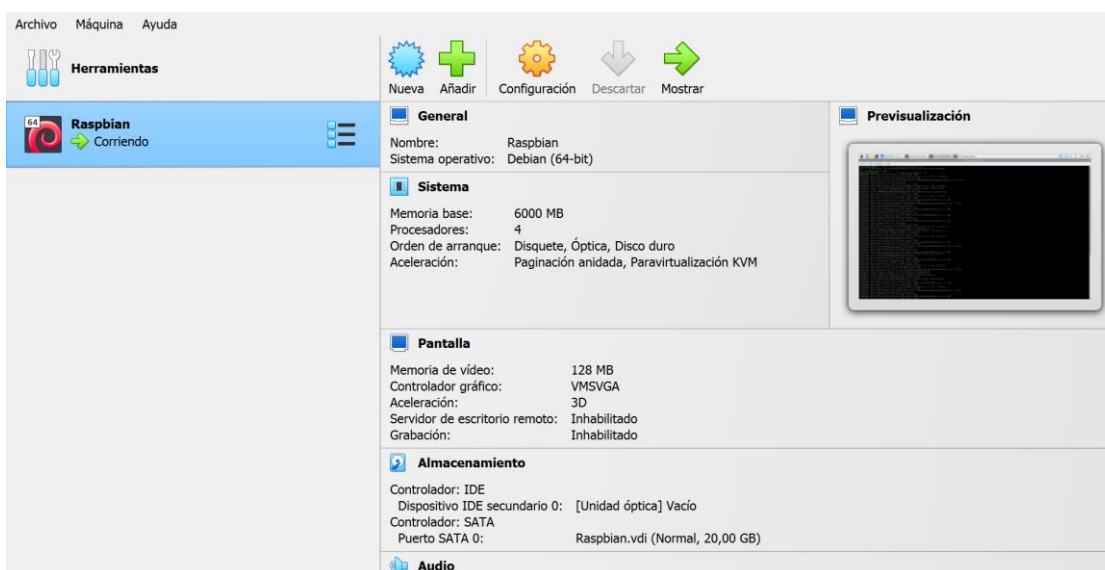


Figura 3-9 Configuración Oracle VM VirtualBox Raspbian

3.1.2.2 Instalación y configuración de Mosquitto

Eclipse Mosquitto, es un *broker* de mensajes de código abierto que implementa el protocolo MQTT. Mosquitto facilita la comunicación entre dispositivos, permitiendo que un dispositivo publique mensajes en un tema específico mientras que otros dispositivos se suscriben a ese tema para recibir los mensajes [68].

A continuación, se enumeran los pasos para instalar Mosquitto en una VM Raspbian [81].

1. Inicialmente, se actualiza el sistema en el terminal mediante los comandos:

```
sudo apt update
sudo apt upgrade
```

2. Se instala el *broker* Mosquitto y Mosquitto-clients, con el fin de permitir la publicación y la suscripción de *topics*. Para ello, se ejecuta el comando:

```
sudo apt-get install mosquitto mosquitto-clients
```

3. Para que Mosquitto se inicie automáticamente, se ejecuta:

```
sudo systemctl enable mosquitto.service
```

4. Para verificar la instalación, se comprueba el estado del programa mediante:

```
sudo systemctl status mosquitto
```

Es necesario cambiar el archivo de configuración para permitir su posterior enlace con el resto de los programas. Para ello, se procede según [82]:

5. Se realiza una copia al archivo de configuración original mediante:

```
sudo cp /etc/mosquitto/mosquitto.conf /etc/mosquitto/mosquitto.conf.back
```

6. Se abre el archivo configuración mediante un editor de texto nano.

```
sudo nano /etc/mosquitto/mosquitto.conf
```

7. Se modifica la configuración, estableciendo cambios en:

- *Listener* 1884 10.130.1.206: se establece un servidor que espera conexiones entrantes, *listener*, en el puerto 1884 en la dirección IP del *gateway* 10.130.1.206.
 - *Socket_domain IPv4*: indica que el *listener* debe escuchar solo en la versión 4 del protocolo de internet (IPv4).
 - *Connection_messages true*: se habilitan los mensajes de conexión, lo que significa que el *broker* MQTT generará un mensaje cada vez que un cliente se conecte o se desconecte.
 - *Allow_anonymous true*: permite la conexión sin proporcionar un nombre de usuario y una contraseña.
8. Se guarda y se cierra el archivo. Se reinicia el servicio de Mosquitto, con el siguiente comando:

```
sudo systemctl restart mosquitto
```

3.1.2.3 Suscripción MQTT.fx

MQTT.fx es una aplicación de escritorio diseñada para depurar y probar conexiones MQTT. Como cliente MQTT, permite conectarse a un *broker* y gestionar publicaciones o suscripciones a *topics* de manera sencilla. Esta herramienta es especialmente útil para desarrolladores, usuarios de IoT y aficionados que necesitan comunicarse eficientemente con dispositivos mediante MQTT [83].

Para comenzar con el uso y la gestión de mensajes, es necesario obtener una licencia de prueba inicial temporal de 64 días. Para ello, se siguen los pasos establecidos en la página *web* oficial del servicio de computación de Tencent Cloud [83].

Una vez obtenida la licencia temporal, se suscriben los dispositivos IoT empleados para la detección de hombre al agua con los *topics* correspondientes. En la Figura 3-10, se muestra la interfaz de la aplicación y se recuadra dónde se realiza la suscripción de los *topics*. Para ello, se sigue el formato de mostrado en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1 Formato *topics* de los dispositivos IoT

CLIENTID/	CHANNEL/	DATA
dragino	018300DA	data
dragino	018300EA	data

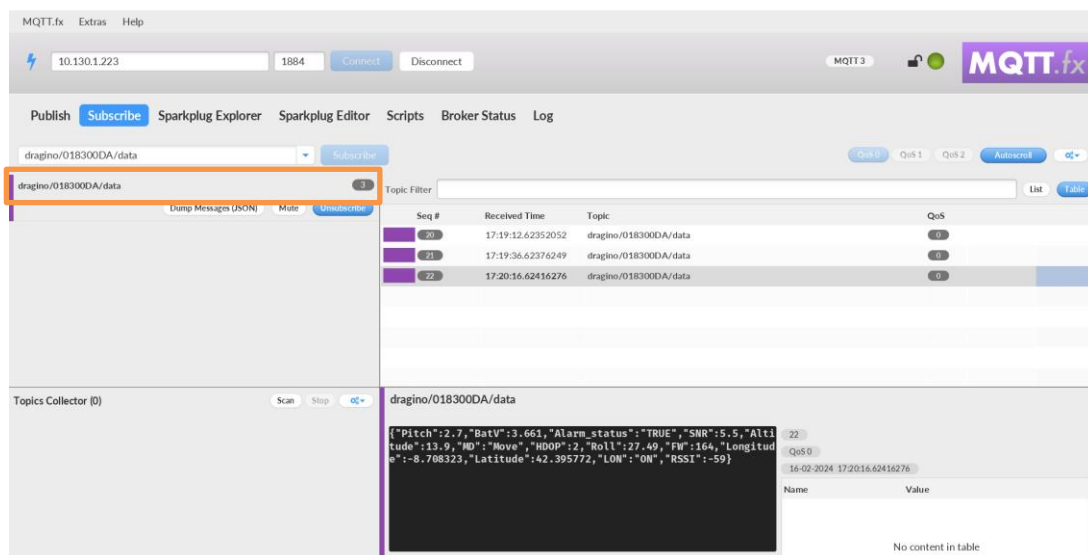


Figura 3-10 Suscripción a *topics* en MQTT.fx

3.1.2.4 Instalación y configuración de Node-Red

Node-Red, es una herramienta de programación que se basa en el concepto de "diagrama de flujo", concebido por J. Paul Morrison en la década de 1970. Esta herramienta permite la conexión de dispositivos de *hardware*, APIs y servicios en línea mediante un editor visual que simplifica la interconexión de nodos. Estos nodos, que se fundamentan en bloques de código JavaScript, se comunican estableciendo flujos de datos entre ellos [84].

Se instala Node-Red con comandos específicos obtenidos de la web oficial [85].

1. Se proporciona un *script* para instalar Node.js, npm y Node-Red, ejecutando:

```
bash <(curl -sL https://raw.githubusercontent.com/node-red/linux-installers/master/deb/update-nodejs-and-nodered)
```

2. Se lanza el sistema para verificar si la instalación ha sido correcta la instalación mediante:

```
node-red-start
```

3. Se habilita Node-Red al arrancado automático en la máquina virtual, ejecutando:

```
sudo systemctl enable nodered.service
```

4. Se accede a Node-Red a través de la interfaz web, abriendo el navegador y accediendo a la siguiente URL:

<http://localhost:1880>

Tras la instalación de Node-Red, se procede a su configuración. Para ello, en la Figura 3-11, se procede con la configuración del *broker* MQTT, indicando los datos (*host* y puerto) del servidor, así como el tópico a suscribir.

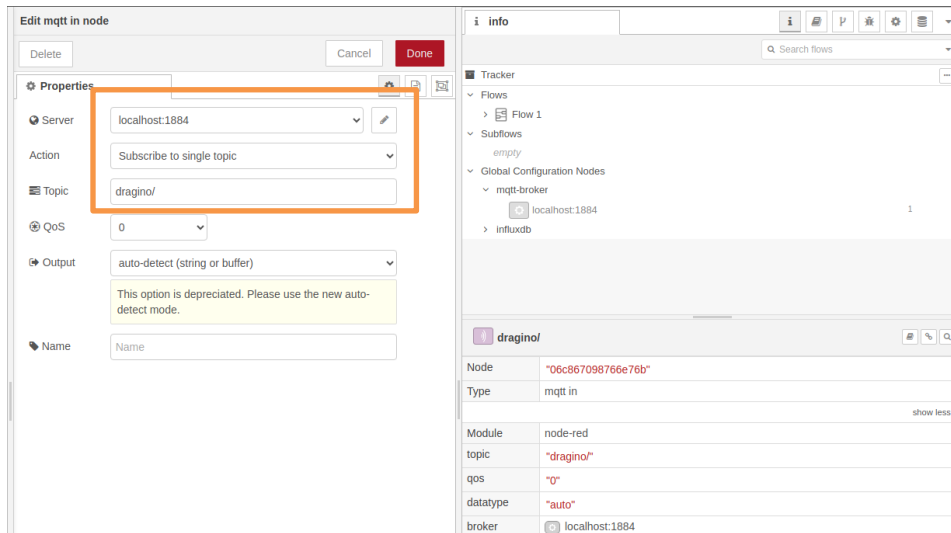


Figura 3-11 Configuración del nodo MQTT en Node-Red

3.1.2.5 Instalación y configuración de Putty

Putty es una aplicación de código abierto que funciona como un cliente de terminal, utilizado principalmente para acceder de forma remota a servidores y máquinas virtuales a través de protocolos como SSH, Telnet o Rlogin. Una de las principales ventajas de Putty para trabajar en máquinas virtuales es su capacidad para proporcionar una conexión segura y confiable, lo que permite a los usuarios administrar y configurar sistemas remotos. Además, Putty es fácil de usar y ofrece una interfaz intuitiva que simplifica la navegación y el manejo de las sesiones de terminal [86].

Para su instalación, se descarga el archivo en la página web oficial [86]. Putty se emplea para la configuración de los dispositivos LGT92 mediante los comandos AT y para acceder a la VM de forma remota.

En la Figura 3-12, se muestra la configuración para acceder a la VM de forma remota mediante Putty. La IP 10.130.1.223 se corresponde a la IP de la VM conectada por Wifi al *gateway* LPS8N. La Figura 3-13 y la Figura 3-14 muestran la configuración para acceder al dispositivo IoT LGT92 mediante Putty.

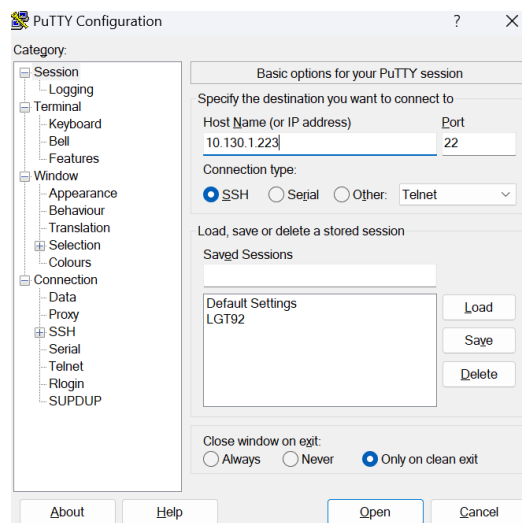


Figura 3-12 Configuración Putty para acceder a la VM

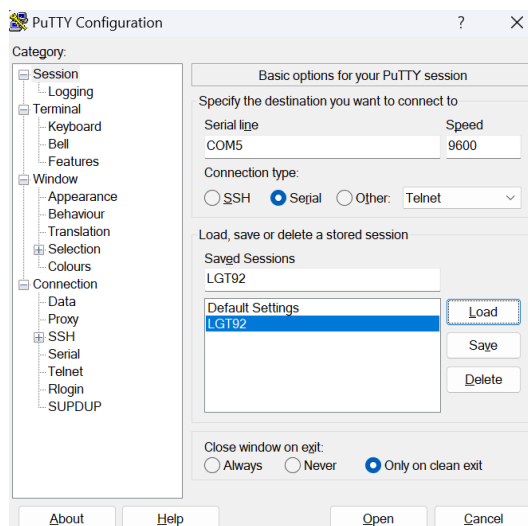


Figura 3-13 Configuración Putty para acceder al dispositivo LGT92 I

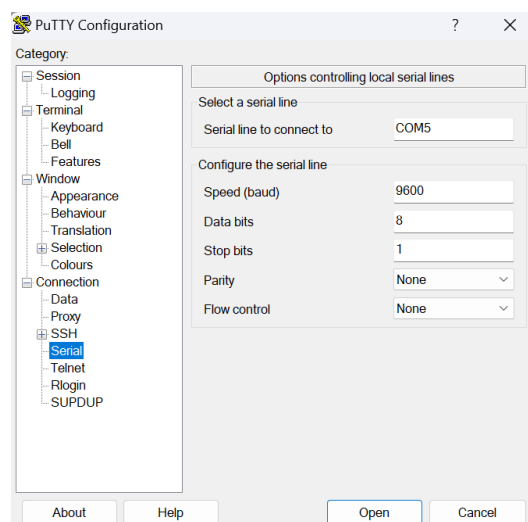


Figura 3-14 Configuración Putty para acceder al dispositivo LGT92 II

3.1.2.6 Instalación y configuración Python

Una vez se ha comprobado mediante Node-Red la transmisión efectiva de mensajes entre los dispositivos IoT y el servicio de mensajería MQTT, se decide crear un programa mediante Python que permita leer directamente los mensajes en la cola de MQTT y que implemente las condiciones de reconocimiento en el caso de una situación de hombre al agua.

Python, se ha convertido en uno de los lenguajes de programación más versátiles y accesibles, utilizado en diversos campos que van desde el desarrollo web hasta la ciencia de datos. La popularidad de Python en el desarrollo de aplicaciones IoT se debe a su simplicidad y versatilidad, así como a su amplia biblioteca de módulos que facilitan la interacción con *hardware* y el procesamiento de datos [69]. En la VM, se encuentra instalado por defecto Python 3.9.2.

3.1.3 Reconocimiento de situación de hombre al agua

Para establecer los criterios de identificación y seguimiento de una situación de hombre al agua, se comienza analizando los valores contenidos en los *payloads* enviados por los *trackers*. En la Tabla 3-2, se muestra la composición de dichos mensajes.

Tabla 3-2 Payload tracker [87]

Size (bytes)	4	4	2	1	2 (optional)	2 (optional)	1 (optional)	2 (optional)
Value	Latitude	Longitude	Alarm & BAT	FLAG	Roll	Pitch	HDOP	Altitude

Los *payloads* están compuestos por los siguientes valores:

- *Latitude*: Indica la latitud geográfica donde se encuentra el dispositivo.
- *Longitude*: Indica la longitud geográfica donde se encuentra el dispositivo.
- *Alarm & BAT*: Indicador de alarma y el estado de la batería del dispositivo.
- *FLAG*: Indicación luminosa para una condición específica del dispositivo. El valor, formado por 1 bit, corresponde a la capacidad de activar o desactivar la actividad del LED que indica la transmisión de datos. Dicha transmisión está activa cuando el valor es igual a 1.
- *Roll*: Ángulo de inclinación lateral del dispositivo.
- *Pitch*: Ángulo de inclinación hacia adelante o hacia atrás del dispositivo.
- *HDOP (Horizontal Dilution of Precision)*: Medida de la precisión horizontal del dispositivo GPS.
- *Altitude*: Indica la altitud sobre el nivel del mar donde se encuentra el dispositivo.

Los valores clasificados como *optional* pueden ser modificados y configurados según las necesidades del sistema. Estos valores pueden incluir información adicional que no es esencial para la transmisión de datos, pero es útil para ciertos análisis posteriores. En la Figura 3-15, se muestra la configuración de los *payloads* pertenecientes al dispositivo *dragino/018300DA/data*.

```
{ "Pitch":3.85,"BatV":3.986,"Alarm_status":"TRUE","SNR":5.2,"Altitude":11.9,"MD":"Move","HDOP":2,"Roll":4.14,"FW":164,"Longitude":-8.705562,"Latitude":42.395104,"LON":"ON","RSSI":-82}
```

Figura 3-15 Payload del tracker LGT92

En base a los *payloads* recibidos y a las prestaciones de los sensores incorporados en los *trackers* LGT92, se exploran diferentes posibilidades para detectar caídas de personas al mar desde la cubierta de un buque.

1. Sistema de alarma mediante geozona: El código permite verificar si la posición del dispositivo MOB está dentro o fuera de una geozona poligonal y muestra una alarma si está fuera. Sin embargo, en un escenario práctico de navegación marítima, la eficacia de este sistema se ve limitada debido a las coordenadas dinámicas de la cubierta de un barco en movimiento.
2. Análisis de aceleración: Se basa en utilizar el cambio de aceleración detectado por el acelerómetro del *tracker* durante la caída de una persona al agua. Inicialmente, se esperaba poder identificar las variaciones significativas de la aceleración. Sin embargo, durante el desarrollo de este TFG, el valor de dicho acelerómetro no puede ser conocido y manipulado.
3. Análisis de *pitch* y *roll*⁵: Se basa en examinar la utilidad de los valores de inclinación y balanceo para la detección de situaciones de hombre al agua. Se propone desarrollar un algoritmo que supervise continuamente estos valores y, al exceder ciertos umbrales predefinidos, active una alerta de hombre al agua. Sin embargo, para garantizar la fiabilidad y eficacia de este método,

⁵ Inclinación y balanceo.

se considera esencial incorporar la orientación del dispositivo. De lo contrario, podrían surgir múltiples soluciones posibles, lo que afectaría negativamente a la precisión del sistema. Por lo tanto, se descarta esta aproximación.

4. Activación manual del sistema de alarma: Se considera la opción de activar la alarma de caída de hombre al agua manualmente mediante el botón de emergencia integrado en el dispositivo LGT92.
5. Activación basada en la distancia: Se sugiere establecer un monitoreo constante de la posición de ambos *trackers*. Uno de ellos, se instalará de manera fija en el buque (para conocer su posición) y el otro, sería portado por el personal del que queremos poder detectar una posible caída. En esta situación, no es necesario activar manualmente el estado de alarma mediante la pulsación del botón. Cuando la distancia entre ellos supere un umbral predefinido, ajustado según la eslora del buque, se activará la alarma de posible hombre al agua. Una vez más, se representarán los puntos GPS adquiridos para una mejor visualización.

Tras considerar varias alternativas para la detección de hombres al agua, se decide implementar tres métodos específicos: geozona estática, método manual y método basado en distancia. Se implementará un código Python para el método de la geozona y otro distinto que aglutinará la implementación del método manual y el basado en distancia.

En las siguientes subsecciones, se mostrarán detalles de implementación de los distintos métodos considerados en la práctica.

3.1.3.1 Activación mediante geozona

Este método está diseñado específicamente para aplicaciones teóricas, ya que, en situaciones reales de navegación marítima, los puntos que delimitan la geozona no permanecen en posiciones estáticas. Para llevar a cabo un experimento práctico mediante este método, se deberían considerar los siguientes aspectos técnicos:

- Actualización dinámica de la geozona: Es necesario actualizar continuamente las coordenadas de la geozona para reflejar la nueva posición del barco en movimiento. Esto implica recalcularse las coordenadas de la geozona en función de la posición actual del barco en tiempo real.
- Frecuencia de actualización: La frecuencia de actualización de la geozona debe ser lo suficientemente alta para garantizar que las coordenadas se ajusten con precisión a la posición actual del barco. Una actualización lenta podría generar un desfase significativo entre la posición real del barco y la geozona, lo que afectaría negativamente a la efectividad del sistema de detección de hombre al agua.

Sin embargo, en el contexto del presente trabajo se ha considerado únicamente el caso de la geozona estática, en el que, para reconocer una situación de hombre al agua se establecen las siguientes condiciones:

- En el código empleado, se define una zona geográfica estática mediante puntos GPS que representan los vértices de un polígono. El dispositivo es capaz de detectar cuando se encuentra dentro o fuera de esta geozona, activando la alarma cuando el dispositivo se encuentre fuera de ella.
- Además, se establece un punto de referencia inicial en la zona central del polígono delimitado por la geozona. La alarma se activa cuando la distancia entre el punto de referencia y el *tracker* excede un valor específico, determinado por las dimensiones de la geozona.

3.1.3.2 Activación manual y por distancia del sistema de alarma

Este método emplea dos dispositivos LGT92. Uno de ellos, estará situado en el puente de gobierno del barco denominado “Puente”, mientras el otro, el dispositivo “MOB” será portado por el usuario. Para activar la alarma del sistema manualmente, el código proporcionado debe permitir que el cliente MQTT se conecte al servidor MQTT y se suscriba a los temas específicos del sistema, en este caso, los

correspondientes a `dragino/018300DA/data` y a `dragino/018300EA/data`. Una vez que se publique un mensaje en el sistema y el cliente lo reciba, se procede en base a las siguientes condiciones:

- La activación de la alarma de hombre al agua solo debe ocurrir cuando el valor del estado de la alarma esté en modo *true*, lo cual se indica cuando el *payload* muestra `Alarm_status = "TRUE"`.
- Se deben identificar los valores de latitud y longitud de cada dispositivo *tracker*.
- Tras obtener la posición GPS, se calcula la distancia en metros entre ambos puntos. Este valor refuerza el estado de alarma de la situación de emergencia. Cuando la distancia supere un valor establecido en función de la eslora del buque, se activará la señal de alarma de hombre al agua.
- Finalmente, se representan los puntos obtenidos en un mapa interactivo para una mejor visualización y seguimiento.

La activación de la alarma a través del método de distancia implicará una monitorización continua de la distancia entre el dispositivo MOB y el puente. Una vez que esta distancia supere un umbral predefinido, se enviará automáticamente una señal de posible hombre al agua. Es importante destacar que, para este método, no se requiere la activación manual del botón de alarma.

3.1.4 Programación

Se procede a la explicación incremental del código final implementado.

3.1.4.1 Conexión y suscripción cliente MQTT y broker MQTT

Se decide emplear la librería `Paho-Mqtt`, una biblioteca cliente de código abierto que implementa el protocolo MQTT. La biblioteca soporta una amplia gama de lenguajes de programación, incluido Python, lo que la hace accesible para una gran comunidad de desarrolladores. Para la instalación de dicha librería, se procede en el terminal según [88]:

```
pip install paho-mqtt
```

El código de suscripción, mostrado en la Figura 3-16 y en la Figura 3-17, implementa varias funciones que se activarán ante diferentes eventos de la conexión MQTT. A continuación, se describen dichas funciones:

- `'on_connect'`: Esta función se llama cuando el cliente MQTT se conecta correctamente al servidor MQTT. En esta función, se imprime un mensaje indicando que se está estableciendo la conexión. Si la conexión falla, se imprime el motivo del fallo. Si la conexión es exitosa, se imprime la hora actual y se suscribe a dos temas específicos, véase desde la línea 6 hasta la línea 13 de la Figura 3-16.
- `'on_disconnect'`: Esta función se llama cuando el cliente MQTT se desconecta del servidor MQTT. Imprime un mensaje indicando que se está desconectando. Si la desconexión es debido a un error, se imprime el motivo del error. Esta función inicia en la línea 16 y finaliza en la línea 19 de la Figura 3-16.
- `'on_message'`: Esta función se llama cuando el cliente MQTT recibe un mensaje en uno de los temas a los que está suscrito, véanse líneas 22 y 24 de la Figura 3-16. Imprime un mensaje indicando que se ha recibido un *payload* y muestra la hora actual, el mensaje recibido y el *topic* del mensaje.
- `'on_unsubscribe'`: Se llama a esta función al desuscribirse de un tema, el código se muestra desde la línea 27 hasta la línea 32 de la Figura 3-16. Se imprime un mensaje indicando que se está desuscribiendo y si la desuscripción falla, imprime el motivo del fallo.
- `'on_subscribe'`: Desde la línea 35 hasta la línea 40 de la Figura 3-17 se llama a la función cuando el cliente MQTT se suscribe correctamente a un tema. Imprime un mensaje indicando que se está suscribiendo. Si la suscripción falla, imprime el motivo del fallo.

El resto del código, desde la línea 43 hasta la línea 58, crea un cliente MQTT, configura las credenciales de acceso al servidor MQTT, establece las funciones de *callback* para los diferentes eventos y conecta el cliente al servidor MQTT especificado. Finalmente, el cliente MQTT entra en un bucle infinito ('loop_forever()') para mantener la conexión activa y procesar los eventos de forma continua. En la Figura 3-18, se muestran los mensajes obtenidos por pantalla tras interpretar este código.

```

1  import paho.mqtt.client as mqtt
2  import ssl
3  from datetime import datetime as dt
4
5  # Función que maneja la conexión exitosa al servidor MQTT y la suscripción a los temas específicos.
6  def on_connect(client, userdata, flags, reason_code, properties=None):
7      print("Estableciendo conexión")
8      if reason_code.is_failure:
9          print(reason_code)
10     else:
11         print(f"{dt.now()} Conectado!")
12         client.subscribe(topic="dragino/018300DA/data")
13         client.subscribe(topic="dragino/018300EA/data")
14
15     # Función que maneja la desconexión del cliente MQTT del servidor MQTT.
16     def on_disconnect(client, userdata, flags, reason_code, properties=None):
17         print("Desconectando")
18         if reason_code.is_failure:
19             print(reason_code)
20
21     # Función que maneja la recepción de mensajes en los temas suscritos.
22     def on_message(client, userdata, message, properties=None):
23         print("Payload recibido")
24         print(f"{dt.now()} Mensaje recibido {message.payload} del topic '{message.topic}'")
25
26     # Función que maneja la desuscripción del cliente MQTT de un tema.
27     def on_unsubscribe(client, userdata, mid, reason, properties=None):
28         print("Desuscribiendo")
29         if len(reason) > 0 and reason[0].is_failure:
30             print(reason[0])
31         else:
32             print(f"{dt.now()} Unsubscribed!")
33

```

Figura 3-16 Código de suscripción a MQTT I

```

33
34     # Función que maneja la suscripción exitosa del cliente MQTT a un tema.
35     def on_subscribe(client, userdata, mid, reason, properties=None):
36         print("Suscribiendo")
37         if len(reason) > 0 and reason[0].is_failure:
38             print(reason[0])
39         else:
40             print(f"{dt.now()} Subscribed!")
41
42     # Configuración del cliente MQTT.
43     client = mqtt.Client(client_id="cliente_python", callback_api_version=mqtt.CallbackAPIVersion.VERSION2)
44     client.username_pw_set("dragino", "dragino")
45
46     # Asignación de las funciones de callback.
47     client.on_connect = on_connect
48     client.on_disconnect = on_disconnect
49     client.on_subscribe = on_subscribe
50     client.on_unsubscribe = on_unsubscribe
51     client.on_message = on_message
52
53     # Conexión al servidor MQTT especificado.
54     print("Conectando...")
55     client.connect(host="10.130.1.223", port=1884, keepalive=60)
56
57     # Mantenimiento de la conexión activa mediante un bucle infinito.
58     client.loop_forever()

```

Figura 3-17 Código de suscripción a MQTT II

```

marinievs@raspberrypi:~$ python subscribe.py
Conectando...
Estableciendo conexión
2024-03-22 00:15:14.070228 Conectado!
Suscribiendo
2024-03-22 00:15:14.070763 Subscribed!
Suscribiendo
2024-03-22 00:15:14.070831 Subscribed!
Payload recibido
2024-03-22 00:15:39.885369 Mensaje recibido b'{"Pitch":2.79,"BatV":3.99,"Alarm_status":"TRUE","SNR":7.2,"Altitude":31.4,"MD":"Move","HDOP":1.2,"Roll":0.57,"F
W":164,"Longitude":0,"Latitude":0,"LON":"ON","RSSI":-47}' del topic 'dragino/018300DA/data'
Payload recibido
2024-03-22 00:15:53.073601 Mensaje recibido b'{"Pitch":2.8,"BatV":3.986,"Alarm_status":"TRUE","SNR":7.7,"Altitude":24.8,"MD":"Move","HDOP":1.2,"Roll":0.59,"F
W":164,"Longitude":-8.708491,"Latitude":42.395624,"LON":"ON","RSSI":-49}' del topic 'dragino/018300DA/data'

```

Figura 3-18 Pantalla Código Suscripción MQTT

3.1.4.2 Implementación de la activación mediante geozona

Tras lo detallado en la subsección anterior, el código presentado en las Figura 3-19, Figura 3-20, Figura 3-21 y Figura 3-22 contiene una serie de funciones diseñadas para establecer conexiones, desconexiones, procesamiento y suscripción a un servidor MQTT utilizando la biblioteca de paho.mqtt.client. Asimismo, implementa la funcionalidad para monitorear la posición del *tracker* LGT92 en relación con una zona geográfica específica.

- En las líneas 10 y 11 de la Figura 3-19, se establecen las coordenadas del punto de referencia, mientras que en la línea 19, se definen los puntos que conforman un polígono representativo de la geozona.
- La línea 23 de la Figura 3-19, se utiliza para crear un mapa interactivo mediante la biblioteca folium centrado en unas coordenadas próximas a la zona de interés de longitud 42.395223 Norte y 8.705712 Este.
- La función “on_message”, detallada desde la línea 45 hasta la línea 89 de las Figura 3-20 y Figura 3-21, se encarga de procesar los mensajes recibidos a través de MQTT y lleva a cabo las siguientes acciones:
 - Verificar si las coordenadas del dispositivo se encuentran dentro de la geozona o fuera de ella. En la línea 67 de la Figura 3-20, se calcula la distancia entre el punto de referencia y el dispositivo IoT utilizado mediante la biblioteca geodesic.
 - En la línea 83 de la Figura 3-21, se actualiza el mapa con un nuevo marcador que representa la posición actual del dispositivo.
 - Desde la línea 72 a la línea 80 de la Figura 3-21, se imprimen las alarmas en la consola según las condiciones establecidas. Si el dispositivo MOB está dentro del polígono y la distancia es menor a un valor límite establecido, se imprime un mensaje de “¡No Alarma!” junto con la posición del dispositivo. Si el dispositivo MOB está fuera del polígono y la distancia es superior al límite, se imprime un mensaje de “¡Alarma!” junto con la posición del dispositivo.
 - En la línea 86 de la Figura 3-21, se guarda el mapa actualizado en un archivo HTML.
- En la Figura 3-22, se establece una conexión MQTT con el servidor y se inicia un bucle para mantener la conexión activa.

Además, el código implementa una serie de filtro de errores, que incluyen:

- Verificación de la validez de las coordenadas GPS válidas: En la línea 55 de la Figura 3-20, antes de procesar las coordenadas recibidas, el código verifica si tanto la latitud como la longitud son iguales a cero.
- Manejo de excepciones en la función de procesamiento de mensajes: La función “on_message()” utiliza un bloque “try-except” para manejar excepciones que pueden surgir durante el procesamiento del mensaje MQTT, véase la línea 47 de la Figura 3-20 y la línea 88 de la Figura 3-21.
- Filtrado de medianas: Desde la línea 59 a la 63 de Figura 3-20 se aplica un filtrado de medianas para reducir el efecto de valores atípicos o ruidosos de los datos de entrada, proporcionando así una estimación más precisa de la posición actual del dispositivo.
- Validación de la cantidad de datos recibidos: Antes de calcular la mediana de las posiciones de longitud y latitud (línea 61 de la Figura 3-20), se verifica si hay suficientes datos disponibles, calculándose únicamente si hay al menos tres puntos disponibles en la lista de posiciones pues el filtrado de mediana usa tres muestras.

```

1 import paho.mqtt.client as mqtt
2 import json
3 from datetime import datetime as dt
4 from shapely.geometry import Point, Polygon
5 import folium
6 from geopy.distance import geodesic
7 import numpy as np
8
9 # Definir las coordenadas de referencia (valor estático)
10 referencia_lon = float(input("Introduce la longitud de referencia: "))
11 referencia_lat = float(input("Introduce la latitud de referencia: "))
12 coord_referencia = Point(referencia_lon, referencia_lat)
13
14 # Variables globales para almacenar las coordenadas y filtrar la mediana
15 posiciones_longitud = []
16 posiciones_latitud = []
17
18 # Definir los puntos del polígono
19 coords = [(-8.705626, 42.395331), (-8.705480, 42.395265), (-8.705572, 42.395140), (-8.705723, 42.395206)]
20 poly = Polygon(coords)
21
22 # Crear un mapa interactivo
23 mapa = folium.Map(location=[42.395223, -8.705712], zoom_start=2)
24
25 # Agregar los puntos del polígono al mapa
26 folium.Polygon(coords, color='yellow').add_to(mapa)
27
28 # Guardar el mapa como un archivo HTML llamado "geozona.html"
29 mapa.save('geozona.html')
30
31 # Función para la conexión MQTT
32 def on_connect(client, userdata, flags, reason_code, properties=None):
33     print("Conexión establecida")
34     if reason_code.is_failure:
35         print(f"Conexión fallida con código de razón: {reason_code}")
36     else:
37         print(f"{dt.now()} Conectado!")
38         client.subscribe(topic="dragino/018300DA/data")

```

Figura 3-19 Código geozona I.

```

39 # Función para la desconexión MQTT
40 def on_disconnect(client, userdata, flags, reason_code, properties=None):
41     print("Desconexión")
42     if reason_code.is_failure:
43         print(f"Desconexión inesperada con código de razón: {reason_code}")
44 # Función para procesar el mensaje MQTT
45 def on_message(client, userdata, message):
46     global posiciones_longitud, posiciones_latitud
47     try:
48         payload = json.loads(message.payload.decode('utf-8'))
49         topic = message.topic
50         if topic == "dragino/018300DA/data":
51             device_name = "MOB"
52             lat = float(payload["Latitude"])
53             lon = float(payload["Longitude"])
54             # Verificar si el valor de latitud y longitud es igual a 0
55             if lat == 0 and lon == 0:
56                 print("Error de GPS. Posicionando dispositivo")
57                 return
58             # Filtrado de posiciones y cálculo de la mediana
59             posiciones_longitud.append(lon)
60             posiciones_latitud.append(lat)
61             if len(posiciones_longitud) >= 3:
62                 longitud_mediana = np.median(posiciones_longitud[-3:])
63                 latitud_mediana = np.median(posiciones_latitud[-3:])
64
65             # Calcular distancia a la posición de referencia
66             coord_mediana = Point(longitud_mediana, latitud_mediana)
67             distancia = geodesic(coord_referencia.coords[0], coord_mediana.coords[0]).meters
68             print(f"Distancia a posición de referencia: {distancia} metros")

```

Figura 3-20 Código geozona II.

```

69 # Verificar si las coordenadas están dentro del polígono
70 coordenadas = Point(longitud_mediana, latitud_mediana)
71 dentro_poligono = coordenadas.within(poly)
72 if distancia > 15 and not dentro_poligono:
73     print(f"{dt.now()} ¡Alarma! {device_name} fuera de la geozona. Posición: ({longitud_mediana}, {latitud_mediana})")
74 elif distancia < 15 and dentro_poligono:
75     print(f"{dt.now()} ¡No Alarma! Posición dentro de la geozona. Posición: ({longitud_mediana}, {latitud_mediana})")
76 else:
77     if distancia > 15:
78         print(f"{dt.now()} ¡Alarma! {device_name} fuera de la geozona. Posición: ({longitud_mediana}, {latitud_mediana})")
79     else:
80         print(f"{dt.now()} ¡Posible alarma {device_name}!. Posición: ({longitud_mediana}, {latitud_mediana})")
81
82 # Crear un nuevo marcador en el mapa con la posición actual
83 folium.Marker([latitud_mediana, longitud_mediana], popup=device_name).add_to(mapa)
84
85 # Guardar el mapa actualizado como un archivo HTML llamado "geozona_actualizada.html"
86 mapa.save('geozona_actualizada.html')
87 return
88 except Exception as e:
89     print(f"Error al procesar el mensaje: {e}")
90
91 # Función para la suscripción MQTT
92 def on_subscribe(client, userdata, mid, reason, properties=None):
93     print("Suscribiendo")
94     if len(reason) > 0 and reason[0].is_failure:
95         print(reason[0])
96     else:
97         print(f"{dt.now()} Suscrito al topic!")
98
99 # Función para la cancelación de la suscripción MQTT
100 def on_unsubscribe(client, userdata, mid, reason_code, properties=None):
101     print(f"{dt.now()} Desuscrito del topic")

```

Figura 3-21 Código geozona III

```

102
103 client = mqtt.Client(client_id="cliente_python", callback_api_version=mqtt.CallbackAPIVersion.VERSION2)
104 client.username_pw_set("dragino", "dragino")
105 # Definir los Callbacks
106 client.on_connect = on_connect
107 client.on_disconnect = on_disconnect
108 client.on_subscribe = on_subscribe
109 client.on_unsubscribe = on_unsubscribe
110 client.on_message = on_message
111
112 print("Conectando...")
113 client.connect(host="10.130.1.223", port=1884, keepalive=30)
114
115 client.loop_forever()

```

Figura 3-22 Código geozona IV

3.1.4.3 Implementación de la activación alarma manual y por distancia

El código del Anexo IV: Código método Activación Manual y por Distancia tiene como objetivos, establecer una conexión y suscripción a un *broker* MQTT para recibir datos de posición GPS y el estado de alarma de los dispositivos MOB y Puente. Una vez recibidas las coordenadas de estos dispositivos, el código actualiza un mapa interactivo en tiempo real. Este mapa actualizado se guarda como un archivo HTML llamado “mapa.html”. Además, el código implementa dos métodos de detección de hombre al agua.

El primer método, véanse líneas 74-85 de Figura 3-23, detecta el estado de alarma asociado al *payload* cuando el botón de emergencia del dispositivo LGT92 se activa, marcando TRUE.

```

73
74
75 if "Alarm_status" in payload and payload["Alarm_status"].lower() == "true":
76     if payload["Longitude"] == 0 and payload["Latitude"] == 0:
77         print(f"{dt.now()} Alarma activada en {device_name}, Error de GPS")
78     else:
79         print(f"{dt.now()} Longitud: {payload['Longitude']}, Latitud: {payload['Latitude']} desde {device_name}")
80
81 if distancia > 50:
82     print("¡Alarma, Hombre al agua!")
83     print(f"{dt.now()} Distancia entre MOB y Puente: {distancia} metros")
84 else:
85     print("¡Alarma, posible Hombre al agua!")
86     print(f"{dt.now()} Distancia entre MOB y Puente: {distancia} metros")

```

Figura 3-23 Líneas 74 - 85 de activación de alarma manual y por distancia I

Por otro lado, el segundo método (líneas 88 y 96 de Figura 4-24) calcula dinámicamente la distancia entre los dispositivos MOB y Puente, activándose la señal de alarma si la distancia supera un umbral predeterminado.

```

87
88
89 elif "Alarm_status" in payload and payload["Alarm_status"].lower() == "false":
90     if payload["Longitude"] == 0 and payload["Latitude"] == 0:
91         print(f"{dt.now()} Alarma activada en {device_name}, Error de GPS")
92     else:
93         print(f"{dt.now()} Longitud: {payload['Longitude']}, Latitud: {payload['Latitude']} desde {device_name}")
94
95 if distancia > 50:
96     print("¡Alarma, posible Hombre al agua!")
97     print(f"{dt.now()} Distancia entre MOB y Puente: {distancia} metros")

```

Figura 3-24 Líneas 88 - 96 de activación de alarma manual y por distancia II

En contraste con versiones anteriores, se introduce una función llamada “actualizar_mapa()”, mostrada en las líneas 14-23 de Figura 4-25, que utiliza la biblioteca folium para crear y actualizar un mapa con las posiciones de los dispositivos MOB y Puente, si están disponibles. Los marcadores en el mapa representan las ubicaciones de los dispositivos.


```

14 def actualizar_mapa():
15     mapa = folium.Map(location=[0, 0], zoom_start=2)
16
17     if coord_MOB:
18         folium.Marker(coord_MOB, popup='MOB').add_to(mapa)
19
20     if coord_Puente:
21         folium.Marker(coord_Puente, popup='Puente', icon=folium.Icon(color='blue', icon='point')).add_to(mapa)
22
23     mapa.save('mapa.html')
24

```

Figura 3-25 Líneas 14 - 23 de activación de alarma manual y por distancia III

En cuanto al manejo de errores, véanse las líneas 67-72 de Figura 3-26, el código descarta los *payloads* recibidos cuando la distancia calculada entre ellos excede un umbral específico. Este valor se determina considerando el tiempo de transmisión de los *payloads* y la velocidad máxima del buque, resultando en un umbral de 400 metros, como se detalla con mayor precisión en la sección 4.3.1. Además, en la línea 75 de la Figura 3-26, se verifica que los valores de latitud y longitud en los *payloads* sean diferentes de cero para garantizar su validez.

```

67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78

```

```

if distancia > 400:
    print("Distancia mayor a 400 metros, descartando payloads...")
    coord_MOB, coord_Puente = None, None
    coordenadas_MOB, coordenadas_Puente = [], []
    contador_MOB, contador_Puente = 0, 0
    return

if "Alarm_status" in payload and payload["Alarm_status"].lower() == "true":
    if payload["Longitude"] == 0 and payload["Latitude"] == 0:
        print(f"{dt.now()} Alarma activada en {device_name}, Error de GPS")
    else:
        print(f"{dt.now()} Longitud: {payload['Longitude']}, Latitud: {payload['Latitude']} desde {device_name}")

```

Figura 3-26 Líneas 67 - 78 de activación de alarma manual y por distancia IV

3.2 Problemas encontrados

Durante el desarrollo del proyecto de hombre al agua mediante la tecnología LoRaWAN, se identificaron varios desafíos que afectaron al funcionamiento y a la efectividad del sistema.

En el diseño inicial del trabajo, se contemplaba la posibilidad de activar la señal de emergencia de hombre al agua a través de la detección de cambios significativos en la aceleración durante la caída del náufrago. Sin embargo, a medida que el trabajo avanzó y se profundizó en el análisis de los componentes del sistema, se constató que no era posible obtener de manera directa los valores de aceleración necesarios para esta función. Esto se debe a que el acelerómetro integrado en el dispositivo LGT92 se dedica principalmente a la medición de los valores de *pitch* y *roll*, así como a la detección de movimiento, lo que limita su capacidad para proporcionar información detallada sobre la aceleración en sí misma. Esta limitación planteó un desafío significativo en el diseño y la implementación del sistema, requiriendo estudiar enfoques alternativos. Finalmente, se resolvió el problema optando por la activación manual y la medición de la distancia, logrando así el objetivo de activar la señal de emergencia.

Se toma la decisión de interrumpir el uso del servicio de Node-Red debido a que el nodo *Worldmap*, necesario para la representación de los puntos GPS, depende del acceso a internet. Esta dependencia representa una limitación significativa, dado que uno de los objetivos del trabajo es crear un sistema sin utilizar recursos en línea. En vista de esta situación, surge la necesidad de explorar alternativas que prescindan de la conectividad a internet. Para abordar esta situación, se ha optado por implementar una solución que permita la representación *offline* mediante el uso de Python y sus librerías, ofreciendo así una respuesta adecuada y alineada con los requisitos del proyecto.

Los *tracker* LGT92 no cuentan con protección hermética. Esta cualidad es esencial para su empleo en entornos acuáticos. Para solucionar este inconveniente, se coloca el dispositivo MOB dentro de una funda estanca, véase la Figura 3-27. Esta funda se selecciona debido a que permite pulsar fácilmente el botón de alerta ante un caso de hombre al agua y puede ser colgada para una mayor comodidad. Además, cuenta con una clasificación de impermeabilidad de IPX8 y es capaz de soportar profundidades de hasta 30 metros. Esta funda también incluye una cámara de aire que actúa como *airbag* ante posibles golpes,

proporcionando así una capacidad adicional de protección y permitiendo que el dispositivo flote en el agua [89]. Las pruebas de estanqueidad se detallan en la sección 4.1.2.



Figura 3-27 Funda estanca [89]

4 PRUEBAS Y RESULTADOS

Las primeras pruebas se centran en analizar el impacto de la funda de estanqueidad del dispositivo en la transmisión de datos, evaluando su rendimiento en términos de cobertura al aire libre y en el medio acuático. Además, para probar la fiabilidad del sistema, se realizan pruebas de detección de hombre al agua por el método de geozona y por el método de activación manual y por distancia. Finalmente, se realiza una prueba del sistema mediante la simulación de ejercicios de hombre al agua a bordo de la lancha de instrucción Barrutia. Tras la explicación detallada de cada prueba, se procede al análisis de los resultados obtenidos.

4.1 Estanqueidad del dispositivo tracker LGT92

4.1.1 Prueba de estanqueidad del dispositivo tracker LGT92

Las pruebas de estanqueidad del dispositivo *tracker* se han centrado en analizar la variación de los valores de los *payloads* recibidos en diferentes condiciones, tales como si el dispositivo se encuentra fuera o dentro de la funda protectora al aire libre, o sobre el medio acuático, dentro de la funda. En el resto de las pruebas realizadas a lo largo del trabajo, el dispositivo MOB se encuentra dentro de la funda protectora.

Inicialmente se sitúa el dispositivo en el suelo en posición horizontal en la explanada de la Escuela Naval Militar, en una zona donde no se encuentren obstrucciones que puedan afectar a la toma de muestras. Se refleja el estado de la zona para la toma de muestras en la Figura 4-1, además de la localización aproximada de la prueba mostrado mediante un punto de color naranja.

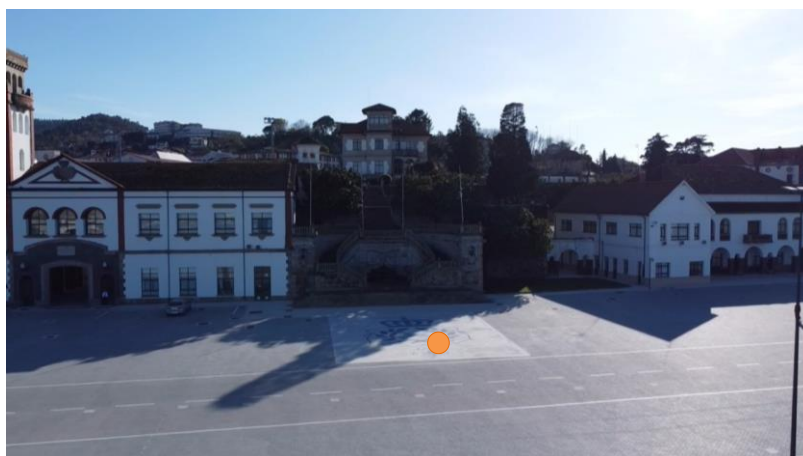


Figura 4-1 Situación de las pruebas de estanqueidad

Posteriormente, se introduce el dispositivo en la funda protectora y se vuelve a realizar el registro de medidas en la misma posición y localización anterior.

Finalmente, se introduce la funda y el dispositivo en la dársena de la Escuela Naval Militar. Se comprueba la estanqueidad y flotabilidad de la funda protectora. En la Figura 4-2, se muestra la disposición del dispositivo sobre el agua de la dársena.



Figura 4-2 Prueba de estanqueidad en la dársena

4.1.2 Resultados de la estanqueidad del dispositivo LGT92

A continuación, se evalúa el impacto de la estanqueidad de la funda protectora en la transmisión de señal del dispositivo *tracker*. Para ello, se analiza el valor de RSSI recibido en el *payload*.

El RSSI es una medida de la intensidad de la señal recibida. Cuanto mayor sea el valor del RSSI en términos de dBm, mejor será la calidad de la señal recibida. Por lo tanto, valores más negativos indican una señal más débil [90].

En las pruebas realizadas se tomaron 30 muestras en cada escenario planteado. Para calcular el intervalo de confianza para la media, se realizó un análisis de datos de estadística descriptiva con la ayuda de Excel. En el primer escenario, véase la Tabla 4-1, donde el dispositivo se encontraba fuera de la funda protectora y al aire libre, se obtuvo una media aproximada de -66 dBm, con un intervalo de confianza entre -67 y -65 dBm. En el segundo escenario, la Tabla 4-2, con el dispositivo dentro de la funda protectora y al aire libre, la media fue aproximadamente -67 dBm, con un intervalo de confianza entre -68 y -66 dBm. Por último, en el tercer escenario, la Tabla 4-3, con el dispositivo dentro de la funda sobre la superficie del mar, se obtuvo una media muy próxima a -67 dBm, con un intervalo de confianza entre -69 y -65 dBm.

Los resultados muestran que la presencia de la funda protectora no tiene un impacto significativo en la intensidad de la señal RSSI, ya sea en condiciones al aire libre o sobre la superficie del mar. Los intervalos de confianza solapados en los tres escenarios sugieren una consistencia en la transmisión de la señal, lo que indica que la funda transparente no afecta de manera adversa a la calidad de la señal transmitida por el dispositivo.

Tabla 4-1 Estadística descriptiva I

Sin funda protectora		<i>Aire</i>
Media	2,48047E-07	-66 dBm
Error típico	1,74716E-08	
Mediana	2,51189E-07	
Moda	2,51189E-07	
Desviación estándar	9,56962E-08	
Varianza de la muestra	9,15775E-15	
Curtosis	0,222436856	
Coefficiente de asimetría	0,72062403	
Rango	4,01187E-07	
Mínimo	0,0000001	
Máximo	5,01187E-07	
Suma	7,4414E-06	
Cuenta	30	
Mayor (1)	5,01187E-07	
Menor(1)	0,0000001	
Nivel de confianza(95,0%)	3,57335E-08	

Intervalo de confianza		
2,12313E-07	2,8378E-07	mW
-67	-65	dBm

Tabla 4-2 Estadística descriptiva II

Con funda protectora		<i>Aire</i>
Media	1,89145E-07	-67 dBm
Error típico	1,71295E-08	
Mediana	1,99526E-07	
Moda	2,51189E-07	
Desviación estándar	9,38221E-08	
Varianza de la muestra	8,80259E-15	
Curtosis	-0,675239064	
Coefficiente de asimetría	0,188184203	
Rango	3,66484E-07	
Mínimo	3,16228E-08	
Máximo	3,98107E-07	
Suma	5,67434E-06	
Cuenta	30	
Mayor (1)	3,98107E-07	
Menor(1)	3,16228E-08	
Nivel de confianza(95,0%)	3,50338E-08	

Intervalo de confianza		
1,54111E-07	2,24178E-07	mW
-68	-66	dBm

Tabla 4-3 Estadística descriptiva III

Con funda protectora		Agua	
Media	2,21681E-07	-67	dBm
Error típico	4,8089E-08		
Mediana	1,42191E-07		
Moda	6,30957E-08		
Desviación estándar	2,63394E-07		
Varianza de la muestra	6,93765E-14		
Curtosis	7,531308479		
Coefficiente de asimetría	2,39541761		
Rango	1,25098E-06		
Mínimo	7,94328E-09		
Máximo	1,25893E-06		
Suma	6,65042E-06		
Cuenta	30		
Mayor (1)	1,25893E-06		
Menor(1)	7,94328E-09		
Nivel de confianza(95,0%)	9,8353E-08		

Intervalo de confianza		
1,23328E-07	3,20034E-07	mW
-69	-65	dBm

Además de los análisis estadísticos realizados, también se incluyen las gráficas que muestran el valor de RSSI (en dBm) obtenido en cada medida y para cada escenario planteado. Al analizar las gráficas, se observa una distribución coherente de los valores de dBm en cada escenario. En el caso del dispositivo sin funda al aire libre, véase la Figura 4-3, se aprecia una concentración de muestras alrededor del valor medio de -66 dBm, con pocos valores dispersos en el intervalo de confianza calculado. En el escenario donde el dispositivo se encuentra dentro de la funda al aire libre, la Figura 4-4, se observa una distribución similar, con la mayoría de las muestras cerca del valor medio de -67 dBm y una dispersión limitada dentro del intervalo de confianza. Por último, en el escenario donde el dispositivo está dentro de la funda sobre la superficie del mar, véase la Figura 4-5, se obtiene una distribución similar a los escenarios anteriores, aunque con más variabilidad, dado que la varianza y el intervalo de confianza son mayores.



Figura 4-3 Gráfica para muestras sin funda protectora en aire



Figura 4-4 Gráfica para muestras con funda protectora en aire

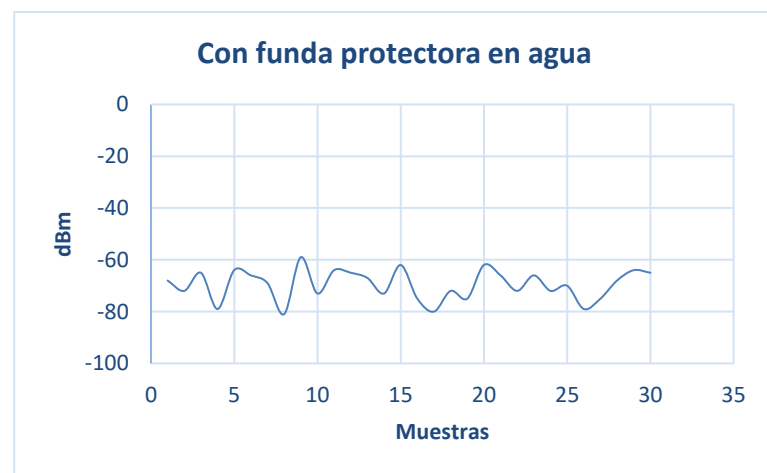


Figura 4-5 Gráfica para muestras con funda protectora en el medio acuático

4.2 Método de geozona

4.2.1 Pruebas empleando método por geozona

Se implementa un sistema de geozona utilizando las coordenadas GPS de un polígono predefinido delimitado por el escudo situado en la explanada de la Escuela Naval Militar en Marín.

Inicialmente, las coordenadas GPS que definen este polígono se calcularon tomando el promedio de varias mediciones utilizando los *trackers* LGT92. Debido a imprecisiones en las muestras, detalladas con mayor detenimiento en la sección 4.5, se toman las posiciones GPS con un móvil iPhone 15 PRO y se introducen en Google Earth. En la Tabla 4-4, se muestran los puntos GPS de la geozona establecida y la Figura 4-6, tomada con un dron DJI Mini 2, se muestra la geozona final en particular.

Tabla 4-4 Puntos GPS resultantes de la geozona Google Earth

<i>PUNTOS</i>	<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>
1	-8,705626	42,395331
2	-8,705480	42,395265
3	-8,705572	42,395140
4	-8,705723	42,395206
Referencia	-8,705596	42,395234



Figura 4-6 Geozona explanada de la Escuela Naval Militar

Para determinar el valor máximo de la distancia permitida, se toman medidas de la dimensión de la geozona y se redondean dichas posiciones, véase la Tabla 4-5. Se considera que la geozona es rectangular.

Tabla 4-5 Distancias geozona

<i>Línea perimetral</i>	<i>Distancia (metros)</i>	<i>Redondeo (metros)</i>
<i>P1-P2</i>	14,20	14
<i>P2-P3</i>	16,6	17

Después del redondeo, se calcula de una manera más precisa el valor de la hipotenusa aplicando el Teorema de Pitágoras. Posteriormente, se toma la mitad aproximada de dicho valor, ya que corresponde a la distancia máxima permitida medida desde el punto de referencia. Además, se decide aumentar el valor obtenido en cuatro metros adicionales, para compensar posibles errores en los límites de la geozona y ajustar cualquier imprecisión en la toma de medidas. Se considera que este aumento no tiene un impacto significativo en el contexto experimental, ya que, tal como se indicó en la sección 3.1.3.1, se trata más bien de un método teórico, más que práctico. Este tipo de métodos, podrían ser empleados en plataformas petrolíferas, donde el perímetro de la plataforma puede considerarse estático o en buques faenando por largos periodos de tiempo. En la Figura 4-7, se muestra la distancia entre los puntos.

$$a^2 = b^2 + c^2 \tag{I}$$

$$a = \sqrt{b^2 + c^2} = \sqrt{17^2 + 14^2} \approx 22 \text{ metros} \tag{II}$$

$$a = \frac{22}{2} = 11 \text{ metros} + 4 = \mathbf{15 \text{ metros}} \tag{III}$$

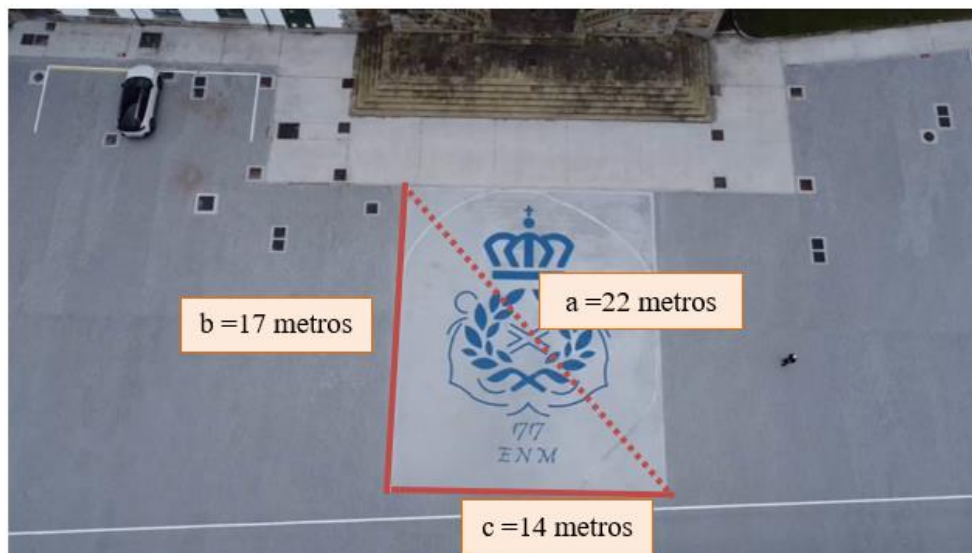


Figura 4-7 Distancia entre los puntos de la geozona

El objetivo principal de las pruebas realizadas mediante el método de la geozona es establecer con precisión la ubicación del dispositivo MOB, determinando si se encuentra dentro o fuera de la zona delimitada.

Para estudiar la viabilidad del sistema, se realizaron las primeras pruebas del método con un código que no tenía implementado el filtrado de errores ni la medición de la distancia del dispositivo MOB con el punto de referencia. Se siguió la siguiente metodología para la toma de medidas durante la prueba:

- Se inicia con movimientos del *tracker* desde fuera de la geozona hacia dentro de ella.
- Se toman posiciones a 30 metros respecto al perímetro definido por los puntos 1-4 de la geozona.
- Se toman posiciones a 15 metros respecto al perímetro definido por los mismos puntos anteriores.
- Una vez dentro de la geozona, se detectan las posiciones GPS correspondientes.

Posteriormente, se repite el proceso en sentido inverso, comenzando desde el interior de la geozona y avanzando hasta la activación de la alarma una vez que el dispositivo sale de la geozona.

Tras los resultados obtenidos, detallados en la sección 4.2.2, se procede a modificar el código para incorporar el filtrado de errores y la medición de la distancia entre el dispositivo y la posición de referencia. Para poner a prueba esta nueva versión mejorada de la implementación, se llevaron a cabo los siguientes movimientos con el dispositivo:

- Inicialmente, el *tracker* se ubica fuera de la zona delimitada y se realizan movimientos hacia su interior, con el objetivo de forzar su posición en la línea límite definida entre los puntos 1 y 4 de la geozona. Este proceso marca un punto crítico dentro del área delimitada.
- Tras reconocer la zona límite, el *tracker* se aleja de la geozona.
- Posteriormente, el dispositivo se introduce dentro de la geozona.

En la siguiente prueba realizada, el movimiento del dispositivo se inicia desde dentro de la geozona hacia afuera.

Además, se simula la situación más realista de hombre al agua. Para ello, se fuerzan las acciones esperadas en dicha situación: la detección del usuario dentro de la geozona, el posicionamiento en la zona límite y la activación de alarma.

Por último, se pone a prueba el sistema realizando movimientos arbitrarios tanto hacia el interior como al exterior de la geozona.

4.2.2 Resultados método de activación por geozona

A continuación, se muestran los resultados de las pruebas ejecutando el código sin el filtrado de errores. Se comienza realizando el movimiento del *tracker* desde fuera de la geozona hacia dentro de la geozona. En la Figura 4-8, se observan los resultados obtenidos.

- Al no tener implementado el filtrado de errores, no se descartan los *payloads* recibidos de posición GPS igual a (0,0). Dicha posición corresponde al valor por defecto tras pulsar el botón de alarma. La posición se señala en la Figura 4-8 con una línea vertical de color azul.
- Las 6 primeras posiciones registradas a una distancia de 30 metros son consistentes y precisas. Este resultado sugiere una precisión óptima del dispositivo y del sistema de posicionamiento GPS. Se señala en la Figura 4-8 con una línea de color verde.
- Asimismo, las siguientes 6 posiciones tomadas a una distancia de 15 metros del perímetro y marcadas con color amarillo en Figura 4-8, también son acertadas, lo que constata la capacidad de precisión incluso a distancias más cortas del límite de la geozona.
- Sin embargo, surge una discrepancia significativa a partir de las 2 posiciones registradas dentro de la geozona, véase la línea roja de Figura 4-8, donde el dispositivo indica que se encuentra fuera de ella, encontrándose realmente dentro. Este resultado muestra un posible error en la precisión del sistema GPS o en la interpretación de los datos por parte del dispositivo. Es importante destacar que esta discrepancia se produce cuando el dispositivo está dentro de la zona definida.

```

marinieves@raspberrypi: ~ $ python geozona.py
Conectando...
Conexión establecida
2024-03-13 19:04:05.537913 Conectado!
Suscribiendo
2024-03-13 19:04:05.539142 Subscrito al topic!
2024-03-13 19:04:21.721608 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (0.0,
0.0)
2024-03-13 19:04:58.168840 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.39
5476, -8.706014)
2024-03-13 19:05:41.311026 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395804, -8.706226)
2024-03-13 19:06:33.325619 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395512, -8.706040)
2024-03-13 19:07:10.066320 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395628, -8.706182)
2024-03-13 19:07:48.048639 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395596, -8.70621)
2024-03-13 19:08:25.088985 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395512, -8.7061)
2024-03-13 19:09:13.296784 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395464, -8.706203)
2024-03-13 19:09:47.068777 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.3954, -8.705958)
2024-03-13 19:10:22.824225 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395452, -8.705568)
2024-03-13 19:10:59.385593 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395372, -8.705745)
2024-03-13 19:11:34.990250 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395356, -8.705625)
2024-03-13 19:12:10.935632 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395432, -8.705705)
2024-03-13 19:12:46.169792 ¡No Alarma! MOB dentro de la geozona. Posición: (42.395216, -8.705559)
2024-03-13 19:13:23.666889 ¡No Alarma! MOB dentro de la geozona. Posición: (42.395352, -8.705564)
2024-03-13 19:13:59.177463 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.39562, -8.705936)
2024-03-13 19:14:40.212238 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395456, -8.705773)
2024-03-13 19:15:17.947280 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395684, -8.705922)
2024-03-13 19:15:54.147652 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395212, -8.705255)
2024-03-13 19:16:30.656278 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395672, -8.705783)
2024-03-13 19:17:05.236851 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.39536, -8.70549)

```

Figura 4-8 Resultados método geozona I

Este error puede atribuirse a diversas razones, como la calidad de la señal GPS, la interferencia electromagnética o el procesamiento de los datos por parte del dispositivo. Además, la frecuencia de actualización de los datos puede tener un papel importante, ya que una actualización más lenta podría llevar a una representación inexacta de la ubicación del dispositivo en tiempo real.

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas llevadas a cabo moviendo el *tracker* desde dentro de la geozona hacia fuera de la geozona. Los resultados, detallados en la Figura 4-9, han sido obtenidos a través de la siguiente metodología:

- Se coloca el *tracker* en el centro de la geozona y se inicia la transmisión de *payloads* tras la suscripción al *topic* correspondiente.
- La posición GPS dentro de la geozona se identifica desde el primer mensaje, véase la línea vertical de color azul de Figura 4-9.
- No obstante, se activa el pulsador de alarma para acelerar el proceso de transmisión de mensajes. Al igual que en la prueba anterior, se recibe el valor de posición por defecto tras activar la alarma de (0,0). Dicha posición se resalta en la línea de color verde de la Figura 4-9.

- Los mensajes recibidos se ajustan a la ubicación geográfica del *tracker* mientras se mueve alrededor de la geozona, registrando las posiciones dentro de ella, véase la marca de color amarillo de la Figura 4-9.
- Se posiciona el *tracker* justo en la línea perimetral entre los puntos 1 y 4, marcando el inicio de la detección del dispositivo fuera de la geozona. Se reciben un total de 3 *payloads* en este límite. En la Figura 4-9, se resaltan los mensajes de color naranja.
- Se desplaza el tracker 15 metros de la línea límite imaginaria entre los puntos 1 y 4, recibiendo 2 *payloads* fiables en esta posición, mostrados en la Figura 4-9 de color morado.
- Luego, se desplaza el dispositivo LGT92 aproximadamente 15 metros más alejado de la posición anterior, recibiendo 3 *payloads* y mostrando la señal de alarma MOB en pantalla, indicando que está fuera de la *geozona*. Se remarcan los resultados en la Figura 4-9 de color rojo.

```

marinievas@raspberrypi:~$ python geozonadef.py
Conectando...
Conexión establecida
2024-03-14 20:59:18.107334 Conectado!
Suscribiendo
2024-03-14 20:59:18.109186 Suscrito al topic!
2024-03-14 20:59:48.359371 ;No Alarma! MOB dentro de la geozona. Posición: (42.395224, -8.705625)
2024-03-14 21:00:00.111576 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (0.0, 0.0)
2024-03-14 21:00:36.614321 ;No Alarma! MOB dentro de la geozona. Posición: (42.395248, -8.705595)
2024-03-14 21:01:19.389072 ;No Alarma! MOB dentro de la geozona. Posición: (42.395248, -8.705602)
2024-03-14 21:02:01.121975 ;No Alarma! MOB dentro de la geozona. Posición: (42.39526, -8.705605)
2024-03-14 21:02:43.653494 ;No Alarma! MOB dentro de la geozona. Posición: (42.395232, -8.70561)
2024-03-14 21:03:26.598859 ;No Alarma! MOB dentro de la geozona. Posición: (42.395248, -8.70561)
2024-03-14 21:04:08.284538 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395292, -8.705702)
2024-03-14 21:04:49.693546 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395276, -8.705695)
2024-03-14 21:05:32.027826 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395316, -8.705813)
2024-03-14 21:06:13.760162 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395312, -8.70585)
2024-03-14 21:06:55.510144 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395324, -8.706012)
2024-03-14 21:07:37.476045 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395344, -8.706007)
2024-03-14 21:08:18.980430 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395356, -8.706001)
2024-03-14 21:09:01.326589 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (42.395388, -8.705972)

```

Figura 4-9 Resultados método geozona II

En conclusión, si bien las pruebas iniciales muestran una precisión aceptable del sistema GPS, la discrepancia observada en el primer caso, al estar dentro de la geozona, muestra la necesidad de una evaluación más detallada de la precisión del dispositivo y de la frecuencia de actualización de los datos para garantizar una monitorización más efectiva.

Ante estos resultados, se realizan nuevas pruebas incluyendo el filtrado de errores en las posiciones iniciales por defecto, el filtro de mediana, las expresiones de alarma mostradas por pantalla, la representación en el mapa y el límite de la distancia con el punto de referencia. En la Figura 4-10, se muestran los resultados de la primera prueba, la cual se realiza el siguiente procedimiento:

- Se descarta el *payload* inicial por ser la posición por defecto tras la activación de alarma, véase la línea azul de Figura 4-10.
- El *tracker* se sitúa inicialmente fuera de la geozona, y se reciben los cuatro primeros *payloads*. Se señala en la Figura 4-10 con una línea de color verde.
- Posteriormente, el dispositivo se desplaza hacia dentro de la geozona y se recibe el siguiente *payload*, marcado de color amarillo en la Figura 4-10. Se identifica la zona límite, delimitada entre los puntos P1 y P4, y se muestra por pantalla el mensaje de posible alarma MOB.
- El dispositivo se aleja nuevamente de la zona MOB, recibiendo 4 *payloads*. Se muestra en la Figura 4-10 de color naranja.
- Finalmente, se reconoce cuando el dispositivo entra en la geozona y se procede a mover el dispositivo dentro de ella, lo que resulta en la recepción de los dos siguientes *payloads*, remarcados en la Figura 4-10 de color rojo, demostrando la continuidad del monitoreo y la capacidad del programa para seguir el movimiento del dispositivo en tiempo real. rojo

```

marinievs@raspberrypi:~$ python geodef.py
Introduce la longitud de referencia: -8.705596
Introduce la latitud de referencia: 42.395234
Conectando...
Conexión establecida
2024-03-21 20:45:57.127604 Conectado!
Suscribiendo
2024-03-21 20:45:57.128189 Suscrito al topic!
Error de GPS. Posicionando dispositivo
Distancia a posición de referencia: 39.37411493361728 metros
2024-03-21 20:48:01.190082 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (-8.705952, 42.395236)
Distancia a posición de referencia: 38.59992923439814 metros
2024-03-21 20:48:34.412328 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (-8.705945, 42.395236)
Distancia a posición de referencia: 34.84597504100286 metros
2024-03-21 20:49:10.691824 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (-8.70591, 42.39526)
Distancia a posición de referencia: 28.567768229212913 metros
2024-03-21 20:49:44.611889 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (-8.705853, 42.39526)
Distancia a posición de referencia: 10.64160758901862 metros
2024-03-21 20:50:18.183363 ;Posible alarma MOB!. Posición: (-8.705647, 42.395152)
Distancia a posición de referencia: 16.09743761060163 metros
2024-03-21 20:50:51.974603 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (-8.705605, 42.395088)
Distancia a posición de referencia: 24.890178547543726 metros
2024-03-21 20:51:25.882015 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (-8.705605, 42.395008)
Distancia a posición de referencia: 23.66397719940189 metros
2024-03-21 20:51:59.588286 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (-8.705617, 42.39502)
Distancia a posición de referencia: 23.66397719940189 metros
2024-03-21 20:52:34.304721 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (-8.705617, 42.39502)
Distancia a posición de referencia: 5.972389224794872 metros
2024-03-21 20:53:08.225548 ;No Alarma! Posición dentro de la geozona. Posición: (-8.705617, 42.395184)
Distancia a posición de referencia: 5.814647379020235 metros
2024-03-21 20:53:41.990388 ;No Alarma! Posición dentro de la geozona. Posición: (-8.705613, 42.395184)
    
```

Figura 4-10 Resultados método geozona III

En la Figura 4-11, se presentan los resultados de la segunda prueba y en la Figura 4-12, se representan las posiciones obtenidas en el mapa interactivo y las posiciones de la geozona de forma aproximada. En esta prueba, el *tracker* se desplaza desde el interior hacia el exterior de la geozona, siguiendo las siguientes pautas:

- Se descarta el *payload* por defecto, véase el marcador de color azul en la Figura 4-11.
- El dispositivo se posiciona inicialmente dentro de la geozona, registrándose movimientos en su interior que generan 3 *payloads*. Se marcan las posiciones en color verde en la Figura 4-11.
- La alarma MOB se activa al alejar el dispositivo de los límites de la geozona, recibiendo dos *payloads*, marcados de color amarillo en la Figura 4-11.
- Por último, se muestra en pantalla el mensaje de posible alarma MOB cuando el dispositivo se ubica en la línea delimitada entre los puntos 1 y 4, mostrándose en la Figura 4-11 de color naranja los dos *payloads* recibidos en esta situación.

```

marinievs@raspberrypi:~$ python geodef.py
Introduce la longitud de referencia: -8.705596
Introduce la latitud de referencia: 42.395234
Conectando...
Conexión establecida
2024-03-21 14:37:03.039330 Conectado!
Suscribiendo
2024-03-21 14:37:03.040820 Suscrito al topic!
Error de GPS. Posicionando dispositivo
Distancia a posición de referencia: 2.5211885801499214 metros
2024-03-21 14:38:56.476934 ;No Alarma! Posición dentro de la geozona. Posición: (-8.705618, 42.395228)
Distancia a posición de referencia: 3.2622986225344413 metros
2024-03-21 14:39:37.709669 ;No Alarma! Posición dentro de la geozona. Posición: (-8.705622, 42.39522)
Distancia a posición de referencia: 5.349689090687929 metros
2024-03-21 14:40:25.066936 ;No Alarma! Posición dentro de la geozona. Posición: (-8.705644, 42.395228)
Distancia a posición de referencia: 34.49939388284959 metros
2024-03-21 14:41:06.692917 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (-8.705878, 42.395368)
Distancia a posición de referencia: 34.49939388284959 metros
2024-03-21 14:41:48.421370 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (-8.705878, 42.395368)
Distancia a posición de referencia: 14.230606163012101 metros
2024-03-21 14:42:32.029691 ;Posible alarma MOB!. Posición: (-8.705711, 42.395292)
Distancia a posición de referencia: 11.731583355705935 metros
2024-03-21 14:43:13.818541 ;Posible alarma MOB!. Posición: (-8.705685, 42.395292)
    
```

Figura 4-11 Resultados método geozona IV



Figura 4-12 Mapa HTML con posiciones de geozona I

En la Figura 4-13, se decide aumentar el nivel de realismo simulando un hipotético caso de hombre al agua. Se procede según se indica a continuación:

- Se coloca el dispositivo dentro de la geozona y se registran dos *payloads*, marcados en Figura 4-13 de color verde.
- Se detecta la posición del dispositivo en la zona límite. En la Figura 4-13, se remarca de color amarillo.
- Se muestra el mensaje de alarma cuando el dispositivo se aleja de la zona, marcándose con una línea vertical de color naranja en la Figura 4-13.

```

marinleves@raspberrypi: ~ $ python geodel.py
Introduce la longitud de referencia: -8.705596
Introduce la latitud de referencia: 42.395234
Conectando...
Conexión establecida
2024-03-21 20:56:24.849367 Conectado!
Suscribiendo
2024-03-21 20:56:24.850631 Subscrito al topic!
Error de GPS. Posicionando dispositivo
Distancia a posición de referencia: 3.448160782452191 metros
2024-03-21 20:57:44.729267 ¡No Alarma! Posición dentro de la geozona. Posición: (-8.705605, 42.395264)
Distancia a posición de referencia: 2.112888873150429 metros
2024-03-21 20:58:18.568996 ¡No Alarma! Posición dentro de la geozona. Posición: (-8.705615, 42.395232)
Distancia a posición de referencia: 14.459418791019 metros
2024-03-21 20:58:52.533165 ¡Posible alarma MOB!. Posición: (-8.705615, 42.395104)
Distancia a posición de referencia: 15.377747587537318 metros
2024-03-21 20:59:28.361436 ¡Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (-8.705647, 42.395104)
    
```

Figura 4-13 Resultados método geozona V

Los resultados de la última prueba realizada se muestran en la Figura 4-14, mientras que en la Figura 4-15, se muestra el mapa con las posiciones representadas.

- Inicialmente, se posiciona el *tracker* dentro de la geozona, marcando el punto de partida para el monitoreo. Los dos primeros *payloads* recibidos confirman su ubicación dentro de los límites establecidos, lo que se muestra en pantalla como una validación exitosa de la geolocalización.
- Posteriormente, el dispositivo se desplaza dentro de la geozona y se capturan los dos siguientes *payloads*. Se remarcan los mensajes recibidos dentro de la geozona de color verde en la Figura 4-14. Una vez más, el programa reconoce y registra que el dispositivo permanece dentro de la zona definida.
- A medida que el *tracker* se aleja de la geozona, se recibe un *payload* adicional, indicando claramente el movimiento fuera de los límites establecidos. Progresivamente, se aumenta la distancia del dispositivo, lo que resulta en la recepción de tres *payloads* adicionales. Además, se comienza con la aproximación a la zona delimitada, reduciéndose la distancia y recibiendo otro *payload*. Se muestran los cuatro mensajes fuera de la geozona de color amarillo en la Figura 4-14. El programa refleja con precisión el desplazamiento del dispositivo a una mayor distancia de la geozona.
- Cuando el dispositivo vuelve dentro de la geozona, marcado de color naranja en la Figura 4-14, el programa lo detecta automáticamente y registra su presencia. Se procede a mover el

dispositivo dentro de la geozona, lo que resulta en la recepción de los tres siguientes *payloads*, demostrando la continuidad del monitoreo y la capacidad del programa para seguir el movimiento del dispositivo en tiempo real.

```

marinieves@raspberrypi:~$ python geodef.py
Introduce la longitud de referencia: -8.705596
Introduce la latitud de referencia: 42.395234
Conectando...
Conexión establecida
2024-03-16 16:28:40.437212 Conectado!
Suscribiendo
2024-03-16 16:28:40.437745 Subscrito al topic!
Distancia a posición de referencia: 4.23757181309674 metros
2024-03-16 16:30:06.327961 ;No Alarma! MOB dentro de la geozona. Posición: (-8.705633, 42.395244)
Distancia a posición de referencia: 4.23757181309674 metros
2024-03-16 16:30:49.029403 ;No Alarma! MOB dentro de la geozona. Posición: (-8.705633, 42.395244)
Distancia a posición de referencia: 5.270122956596621 metros
2024-03-16 16:31:30.749162 ;No Alarma! MOB dentro de la geozona. Posición: (-8.705625, 42.395272)
Distancia a posición de referencia: 5.270122956596621 metros
2024-03-16 16:32:14.433955 ;No Alarma! MOB dentro de la geozona. Posición: (-8.705625, 42.395272)
Distancia a posición de referencia: 20.59037789502632 metros
2024-03-16 16:32:54.777009 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (-8.705773, 42.395292)
Distancia a posición de referencia: 28.661134424174705 metros
2024-03-16 16:33:36.556985 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (-8.705829, 42.395348)
Distancia a posición de referencia: 27.339137813432604 metros
2024-03-16 16:34:18.954037 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (-8.705796, 42.39538)
Distancia a posición de referencia: 25.429772670876613 metros
2024-03-16 16:35:01.002682 ;Alarma! MOB fuera de la geozona. Posición: (-8.705796, 42.395348)
Distancia a posición de referencia: 8.621421703990407 metros
2024-03-16 16:35:42.512083 ;No Alarma! MOB dentro de la geozona. Posición: (-8.705638, 42.3953)
Distancia a posición de referencia: 4.216216119298405 metros
2024-03-16 16:36:24.966485 ;No Alarma! MOB dentro de la geozona. Posición: (-8.705624, 42.39526)
Distancia a posición de referencia: 7.895648331436354 metros
2024-03-16 16:37:13.853227 ;No Alarma! MOB dentro de la geozona. Posición: (-8.705624, 42.3953)
    
```

Figura 4-14 Resultados método geozona VI

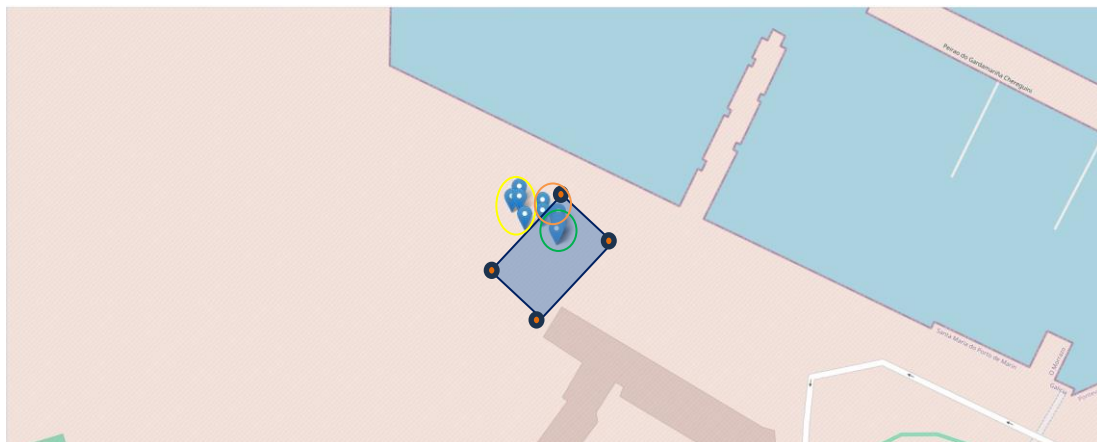


Figura 4-15 Mapa HTML con posiciones de geozona II

Tras aplicar el filtrado de errores y mostrar la alarma tras el cálculo de distancia entre el MOB y la posición de referencia, se observaron mejoras en la precisión del sistema. Las correcciones implementadas permitieron conocer de forma más fiable la ubicación del dispositivo, tanto dentro como fuera de la geozona.

4.3 Método empleando método de activación manual y por distancia

4.3.1 Pruebas empleando método de activación manual y por distancia

Inicialmente, se pretende evaluar la precisión de la distancia entre los dispositivos. Para ello, mediante el método de activación manual, se obtienen 30 muestras para su posterior análisis de datos. Las pruebas experimentales realizadas para este método incluyen los siguientes pasos:

- Se colocan los dos *trackers* a una distancia aproximada entre 10 y 12 metros en la explanada de la Escuela Naval Militar. Ambos permanecen en una posición estática.
- Se activa el método de alarma manual mediante la pulsación del botón de alarma de forma simultánea en ambos dispositivos.

Después de analizar las mediciones de distancia, se llevan a cabo pruebas adicionales. El código utilizado sigue las mismas directrices de evaluación que el empleado para la posterior prueba empírica a bordo de las lanchas de instrucción. Para ello, se sigue el siguiente procedimiento:

- Se posicionan los *trackers* a una distancia aproximada de 15 metros y se pulsa el botón de alarma de ambos dispositivos, iniciando la monitorización del dispositivo MOB y la toma de mediciones.
- Tras recibir la alarma, se desplaza uno de ellos alrededor de la explanada.
- Se fuerza al sistema a recibir una distancia mayor a 50 metros. Esta distancia, variará en función de la eslora del buque. En este caso, se ha determinado este valor basándose en la disparidad de la distancia recorrida al caer al agua desde la proa o desde la popa del barco. Es importante resaltar que la caída desde la popa representa el escenario más desfavorable, ya que la distancia con el barco es significativamente mayor en comparación con la caída desde la proa. Por lo tanto, se ha seleccionado un umbral de 50 metros para garantizar la detección efectiva tanto en situaciones de caída desde la proa como desde la popa del buque.
- Para determinar el filtro de errores de 400 metros aplicado a las posiciones GPS recibidas en los *payloads*, se consideró una velocidad máxima de las lanchas de instrucción igual a 20 nudos. Además, se tiene en cuenta que la frecuencia de transmisión de los dispositivos cuando la alarma se activa es de 35 segundos. Por tanto, aplicando la ecuación de cinemática básica, se obtiene:

$$X_t = v * t \quad (IV)$$

Siendo:

- X_t = representa el desplazamiento o espacio recorrido
- v = representa la velocidad máxima de las lanchas de instrucción
- t = representa el tiempo de transmisión de los *payloads* en situación de alarma

$$v = 20 \text{ nudos} \cdot 0,51444 \frac{\text{metros}}{\text{s}} \approx 10,2888 \frac{\text{metros}}{\text{s}} \quad (V)$$

$$e = 10,2888 \frac{\text{metros}}{\text{s}} \cdot 35 \text{ segundos} \approx 360,1092 \text{ metros} \quad (VI)$$

- Ante el resultado obtenido, se decide tomar una distancia igual a 400 metros.

4.3.2 Resultados método de activación manual y por distancia

En la Tabla 4-6, se registran los valores de las 30 muestras tomadas mediante el método de activación manual. En la Tabla 4-7, se presentan los valores tras el análisis de datos de estadística descriptiva realizado con Excel. Al igual que en el estudio de estanqueidad del dispositivo descrito en la subsección 4.1.2, en la Tabla 4-7, se muestra el intervalo de confianza de límites 10,8724 y 11,9862 metros.

Tabla 4-6 Datos distancia por activación manual

Activación manual			
Muestras	Distancia (m)	Muestras	Distancia
1	12,3146	16	10,9511
2	11,9167	17	9,0675
3	12,3961	18	9,5495
4	11,4159	19	15,7027
5	11,0127	20	15,5352
6	10,8885	21	12,4001
7	12,5858	22	10,8512
8	12,7107	23	11,2003
9	9,4686	24	10,5339
10	10,7114	25	10,1273
11	13,0479	26	10,733
12	11,6917	27	11,2114
13	10,2877	28	10,4136
14	10,7517	29	11,4691
15	10,8757	30	11,0591

Tabla 4-7 Estadística descriptiva para la distancia I

Distancia (m)	
Media	11,429357
Error típico	0,2723006
Mediana	11,0359
Moda	#N/D
Desviación estándar	1,4914517
Varianza de la muestra	2,2244283
Curtosis	2,6399785
Coefficiente de asimetría	1,3717222
Rango	6,6352
Mínimo	9,0675
Máximo	15,7027
Suma	342,8807
Cuenta	30
Mayor (1)	15,7027
Menor(1)	9,0675
Nivel de confianza(95,0%)	0,5569172
Intervalo de confianza	
10,87243943	11,986274

La gráfica de la Figura 4-16, muestra las distancias medidas entre los dispositivos junto con las medias móviles de 2, 3 y 4 periodos (muestras sucesivas). Los datos fluctúan entre aproximadamente 9 y 15 metros. El intervalo de confianza obtenido es de 10,872 metros y 11,986 metros, y la media corresponde a 11,4293 metros. Esto significa que, aunque hay variabilidad en las mediciones individuales, la distancia promedio entre los dispositivos es bastante constante.

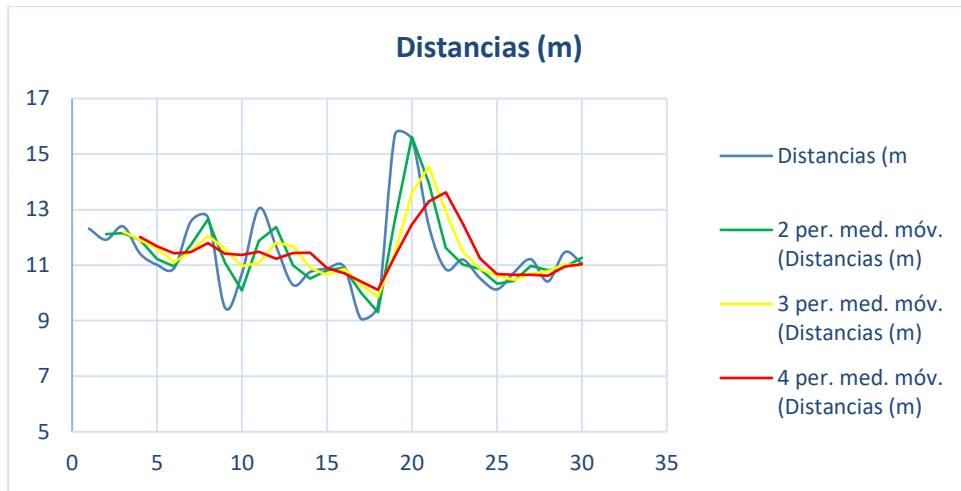


Figura 4-16 Gráfica medias móviles de la distancia

Se compara la distancia entre las dos últimas coordenadas recibidas tanto del dispositivo MOB como del dispositivo Puente utilizando la herramienta *web* de Google Earth. En la Figura 4-17, se registran las dos últimas posiciones y se muestra la distancia entre ambos puntos, siendo este valor igual a 11,06 metros.

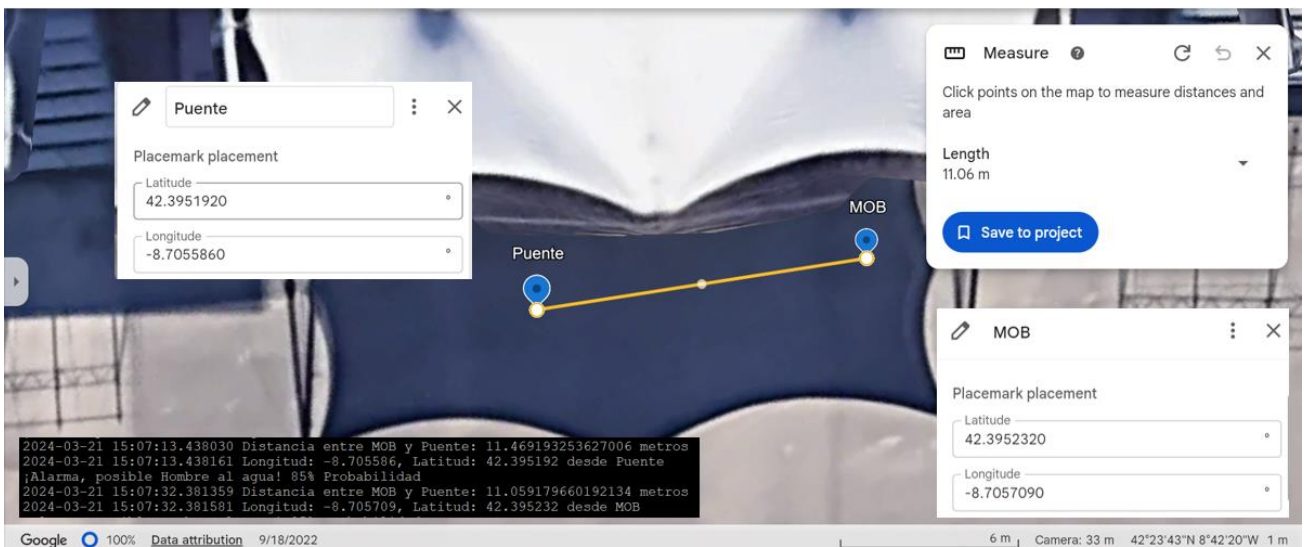


Figura 4-17 Representación puntos GPS en Google Earth

En la Tabla 4-8, se detalla la diferencia de ambas mediciones, siendo este valor igual a 0,0009 metros.

Tabla 4-8 Diferencia de distancia mediante activación manual en Google Earth

		Activación manual			
		Posición	Distancia (m)	Google Earth (m)	Diferencia (m)
MOB	Latitud	-8,705709	11,0591	11,0600	0,0009
	Longitud	42,395232			
Puente	Latitud	-8,705586			
	Longitud	42,395192			

Tras analizar estos resultados, se procede con las pruebas. En la Figura 4-18 se presentan todas las funcionalidades del programa. Cuando el estado de alarma es TRUE y la distancia es mayor a 50 metros, se emite el mensaje de “¡Alarma, Hombre al agua!”. Del mismo modo, si la distancia es menor a 50 metros, tanto en el estado de alarma TRUE como en el FALSE, se muestra “¡Alarma, posible Hombre al agua!”. Además, si el programa detecta una distancia superior a 400 metros, se descarta el *payload* recibido. En la Figura 4-19, se muestra la representación en el mapa interactivo, correspondiendo el marcador azul sin círculo blanco al dispositivo MOB y el marcador azul con círculo blanco al dispositivo Puente.

Inicialmente, en la línea vertical morada de la Figura 4-18, no se activa la señal de alarma ya que la distancia calculada es menor a 50 metros.

El marcador de color azul de la misma figura muestra la segunda distancia calculada, que supera los 50 metros, lo que provoca que aparezca en pantalla el mensaje de ¡Alarma, posible Hombre al Agua! Es importante destacar que, en estos dos mensajes, la señal de alarma corresponde al estado FALSE.

En el tercer mensaje recibido, se activa manualmente la señal de alarma y se descarta el valor recibido, ya que la distancia supera el umbral de 400 metros predeterminado, como se muestra en la línea verde de la Figura 4-18.

A continuación, los *payloads* recibidos (línea vertical amarilla de la Figura 4-18) la distancia no supera los 50 metros, por lo que se sigue mostrando en pantalla el mismo mensaje que en la condición anterior. Sin embargo, en el marcador de color naranja, se muestra el mensaje de ¡Alarma, Hombre al agua!, ya que el estado de alarma es TRUE y la distancia supera los 50 metros.

Finalmente, en la línea de color rojo de la Figura 4-18, la distancia vuelve a disminuir, repitiéndose la tercera situación explicada anteriormente.

```

Conectando...
Conexión establecida
2024-03-18 20:08:21.960845 Conectado!
Suscribiendo
2024-03-18 20:08:21.961523 Subscribed!
Suscribiendo
2024-03-18 20:08:21.961604 Subscribed!
2024-03-18 20:08:23.470588 Distancia entre MOB y Puente: 16.208459362880815 metros
2024-03-18 20:08:23.470759 Longitud: -8.706602, Latitud: 42.395464 desde Puente
2024-03-18 20:09:28.563724 Distancia entre MOB y Puente: 75.146798189316 metros
2024-03-18 20:09:28.563867 Longitud: -8.705755, Latitud: 42.395212 desde MOB
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 20:10:19.795899 Distancia entre MOB y Puente: 4775958.685181182 metros
Distancia mayor a 400 metros, descartando payloads...
2024-03-18 20:10:36.835214 Distancia entre MOB y Puente: 46.23976831741035 metros
2024-03-18 20:10:36.835420 Longitud: -8.705997, Latitud: 42.395328 desde MOB
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 20:10:45.534733 Distancia entre MOB y Puente: 42.35796166026984 metros
2024-03-18 20:10:45.534916 Longitud: -8.706015, Latitud: 42.395384 desde MOB
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 20:11:01.533642 Distancia entre MOB y Puente: 45.4327477803764 metros
2024-03-18 20:11:01.533835 Longitud: -8.706566, Latitud: 42.39532 desde Puente
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 20:11:20.706628 Distancia entre MOB y Puente: 47.99559522542297 metros
2024-03-18 20:11:20.706732 Longitud: -8.705997, Latitud: 42.395432 desde MOB
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 20:11:33.767813 Distancia entre MOB y Puente: 50.81449367875756 metros
2024-03-18 20:11:33.767890 Longitud: -8.706598, Latitud: 42.395328 desde Puente
¡Alarma, Hombre al agua!
2024-03-18 20:11:55.691963 Distancia entre MOB y Puente: 56.370804534392654 metros
2024-03-18 20:11:55.692208 Longitud: -8.706027, Latitud: 42.395608 desde MOB
¡Alarma, Hombre al agua!
2024-03-18 20:12:06.839940 Distancia entre MOB y Puente: 54.537989629170745 metros
2024-03-18 20:12:06.840127 Longitud: -8.706582, Latitud: 42.39534 desde Puente
¡Alarma, Hombre al agua!
2024-03-18 20:12:29.851514 Distancia entre MOB y Puente: 13.76588701170623 metros
2024-03-18 20:12:29.851797 Longitud: -8.706417, Latitud: 42.39532 desde MOB
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 20:12:40.603738 Distancia entre MOB y Puente: 7.0194450435881 metros
2024-03-18 20:12:40.603994 Longitud: -8.706483, Latitud: 42.39536 desde Puente
¡Alarma, posible Hombre al agua!
    
```

Figura 4-18 Resultados método de activación manual y por distancia

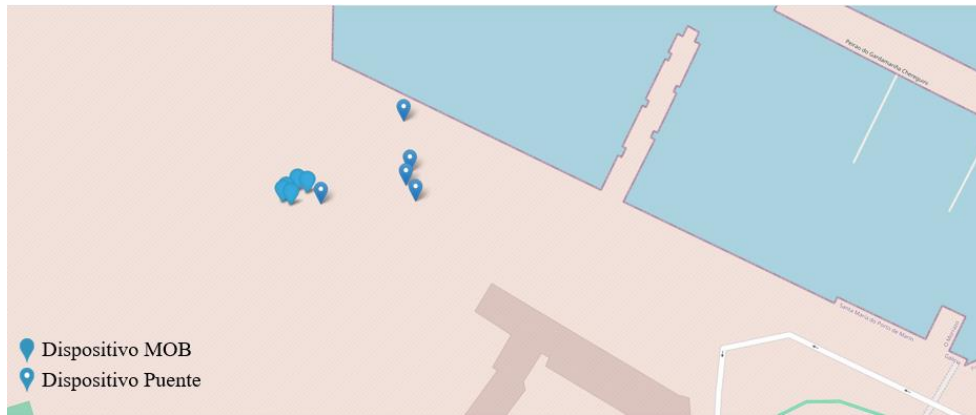


Figura 4-19 Mapa HTML método manual y por distancia

4.4 Lancha de instrucción Barrutia

4.4.1 Prueba del sistema a bordo de LLII Barrutia

Para realizar la prueba experimental, se sitúa un dispositivo IoT en el puente de la lancha de instrucción, mientras el otro dispositivo se introduce en la funda protectora y se sujeta firme al muñeco MOB, véase la Figura 4-20. En la Figura 4-21, se muestra el *gateway* LPS8N en la parte más elevada del barco, denominada puente alto. Además, se fija la antena OMB, en la parte superior de la escala, mostrada en la Figura 4-22.



Figura 4-20 Muñeco MOB con dispositivo IoT

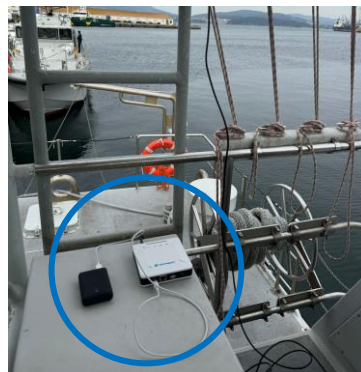


Figura 4-21 Gateway en puente alto



Figura 4-22 Antena en puente alto

Se simula una situación de hombre al agua en la lancha de instrucción Barrutia siguiendo el procedimiento detallado en la sección 2.5.

- En la primera prueba, se activa el estado de alarma del dispositivo en modo TRUE antes de proceder al lanzamiento del muñeco MOB. A continuación, se inicia la monitorización de la posición GPS y se realiza el cálculo de distancia entre el dispositivo y el puente del barco.
- En la segunda prueba, el muñeco MOB es lanzado al agua sin activar el estado de alarma del dispositivo. Nuevamente, se inicia la monitorización de la posición GPS y el cálculo de la distancia correspondiente.

En la Figura 4-23 se señala el monitoreo visual del hombre al agua y en la Figura 4-24 se captura el momento de recogida de hombre al agua con ayuda del bichero.



Figura 4-23 Monitorización visual de MOB



Figura 4-24 Método de recogida de MOB

4.4.2 Resultados prueba experimental en lancha de instrucción Barrutia

A continuación, se muestran los resultados obtenidos tras llevar a cabo las pruebas en la lancha de instrucción Barrutia.

La Figura 4-25 y la Figura 4-26 muestran los resultados de la primera prueba. Se observa cómo la distancia entre ambos dispositivos aumenta con el tiempo, junto con los visualizados en pantalla. Por otro lado, la Figura 4-27, exhibe los resultados de la segunda prueba, en la cual la señal de alarma se activa únicamente en función del valor de la distancia, sin requerir pulsar el botón de alarma. Además, en la Figura 4-28 se muestra la zona donde se ha realizado la prueba y en la Figura 4-29, se representa la monitorización del dispositivo MOB y la posición del dispositivo Puente en el agua durante el proceso de recogida.

```

Conectando...
Conexión establecida
2024-03-18 23:30:39.598567 Conectado!
Suscribiendo
2024-03-18 23:30:39.599502 Subscribed!
Suscribiendo
2024-03-18 23:30:39.599576 Subscribed!
2024-03-18 23:31:11.798982 Distancia entre MOB y Puente: 14.167078266234038 metros
2024-03-18 23:31:11.799159 Longitud: -8.71489, Latitud: 42.402792 desde MOB
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 23:31:34.728505 Distancia entre MOB y Puente: 32.70446289554484 metros
2024-03-18 23:31:34.728674 Longitud: -8.714626, Latitud: 42.402572 desde Puente
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 23:31:46.598047 Distancia entre MOB y Puente: 29.854342188103164 metros
2024-03-18 23:31:46.598521 Longitud: -8.714810, Latitud: 42.4028 desde MOB
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 23:32:07.437227 Distancia entre MOB y Puente: 96.8049740090912 metros
2024-03-18 23:32:07.437367 Longitud: -8.713714, Latitud: 42.4025 desde Puente
¡Alarma, Hombre al agua!
2024-03-18 23:32:22.398000 Distancia entre MOB y Puente: 87.38610939559413 metros
2024-03-18 23:32:22.338144 Longitud: -8.714655, Latitud: 42.402864 desde MOB
¡Alarma, Hombre al agua!
2024-03-18 23:32:40.461008 Distancia entre MOB y Puente: 150.87274357772054 metros
2024-03-18 23:32:40.461075 Longitud: -8.713550, Latitud: 42.401776 desde Puente
¡Alarma, Hombre al agua!
2024-03-18 23:32:57.661887 Distancia entre MOB y Puente: 146.97078240042623 metros
2024-03-18 23:32:57.662055 Longitud: -8.714566, Latitud: 42.402868 desde MOB
¡Alarma, Hombre al agua!
2024-03-18 23:33:14.349619 Distancia entre MOB y Puente: 199.61155423520975 metros
2024-03-18 23:33:14.349752 Longitud: -8.714275, Latitud: 42.401084 desde Puente
¡Alarma, Hombre al agua!
2024-03-18 23:33:31.886326 Distancia entre MOB y Puente: 198.92372437465073 metros
2024-03-18 23:33:31.887233 Longitud: -8.71441, Latitud: 42.402872 desde MOB
¡Alarma, Hombre al agua!
2024-03-18 23:33:47.642175 Distancia entre MOB y Puente: 263.975959589075 metros
2024-03-18 23:33:47.642314 Longitud: -8.715054, Latitud: 42.400544 desde Puente
¡Alarma, Hombre al agua!
2024-03-18 23:34:06.677539 Distancia entre MOB y Puente: 269.40362143691294 metros
2024-03-18 23:34:06.677664 Longitud: -8.714323, Latitud: 42.402908 desde MOB
¡Alarma, Hombre al agua!
2024-03-18 23:34:22.446923 Distancia entre MOB y Puente: 219.46453025723022 metros
2024-03-18 23:34:22.447083 Longitud: -8.71541, Latitud: 42.401104 desde Puente
    
```

Figura 4-25 Resultados en la lancha de instrucción I

```

2024-03-18 23:34:06.677539 Distancia entre MOB y Puente: 269.40362143691294 metros
2024-03-18 23:34:06.677664 Longitud: -8.714323, Latitud: 42.402908 desde MOB
¡Alarma, Hombre al agua!
2024-03-18 23:34:22.446923 Distancia entre MOB y Puente: 219.46453025723022 metros
2024-03-18 23:34:22.447083 Longitud: -8.71541, Latitud: 42.401104 desde Puente
¡Alarma, Hombre al agua!
2024-03-18 23:34:40.578768 Distancia entre MOB y Puente: 228.73199819255032 metros
2024-03-18 23:34:40.578928 Longitud: -8.714218, Latitud: 42.402964 desde MOB
¡Alarma, Hombre al agua!
2024-03-18 23:34:57.466265 Distancia entre MOB y Puente: 128.67605355402608 metros
2024-03-18 23:34:57.466399 Longitud: -8.714708, Latitud: 42.401864 desde Puente
¡Alarma, Hombre al agua!
2024-03-18 23:35:15.796194 Distancia entre MOB y Puente: 131.82682379847273 metros
2024-03-18 23:35:15.796321 Longitud: -8.714107, Latitud: 42.402964 desde MOB
¡Alarma, Hombre al agua!
2024-03-18 23:35:30.438505 Distancia entre MOB y Puente: 31.91539460699038 metros
2024-03-18 23:35:30.438664 Longitud: -8.714283, Latitud: 42.402708 desde Puente
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 23:35:51.021401 Distancia entre MOB y Puente: 44.38952146174755 metros
2024-03-18 23:35:51.021555 Longitud: -8.713975, Latitud: 42.403056 desde MOB
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 23:36:02.696038 Distancia entre MOB y Puente: 14.920501980328865 metros
2024-03-18 23:36:02.696196 Longitud: -8.714120, Latitud: 42.402964 desde Puente
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 23:36:25.888351 Distancia entre MOB y Puente: 15.086535921069688 metros
2024-03-18 23:36:25.888517 Longitud: -8.713984, Latitud: 42.403048 desde MOB
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 23:36:35.590664 Distancia entre MOB y Puente: 6.664066925339917 metros
2024-03-18 23:36:35.590821 Longitud: -8.713984, Latitud: 42.402988 desde Puente
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 23:37:00.303974 Distancia entre MOB y Puente: 13.813905449063776 metros
2024-03-18 23:37:00.304138 Longitud: -8.713892, Latitud: 42.403092 desde MOB
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 23:37:08.537014 Distancia entre MOB y Puente: 6.165355408944911 metros
2024-03-18 23:37:08.537136 Longitud: -8.713835, Latitud: 42.403056 desde Puente
¡Alarma, posible Hombre al agua!
    
```

Figura 4-26 Resultados en la lancha de instrucción II

```

Conectando...
Conexión establecida
2024-03-18 23:40:56.196304 Conectado!
Suscribiendo
2024-03-18 23:40:56.197067 Subscribed!
Suscribiendo
2024-03-18 23:40:56.197246 Subscribed!
2024-03-18 23:42:16.260293 Distancia entre MOB y Puente: 310.3229669026428 metros
2024-03-18 23:42:16.261549 Longitud: -8.717584, Latitud: 42.4021 desde Puente
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 23:42:21.565471 Distancia entre MOB y Puente: 318.8845201957485 metros
2024-03-18 23:42:21.565598 Longitud: -8.71442, Latitud: 42.403756 desde MOB
¡Alarma, posible Hombre al agua!
2024-03-18 23:43:26.737973 Distancia entre MOB y Puente: 327.0417784949182 metros
2024-03-18 23:43:26.738085 Longitud: -8.714356, Latitud: 42.403816 desde MOB
¡Alarma, posible Hombre al agua!
    
```

Figura 4-27 Resultados en la lancha de instrucción III

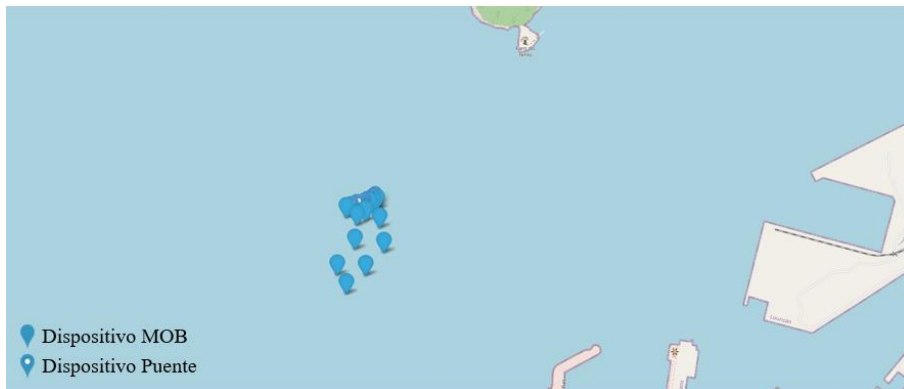


Figura 4-28 Mapa con resultados de lancha de instrucción I

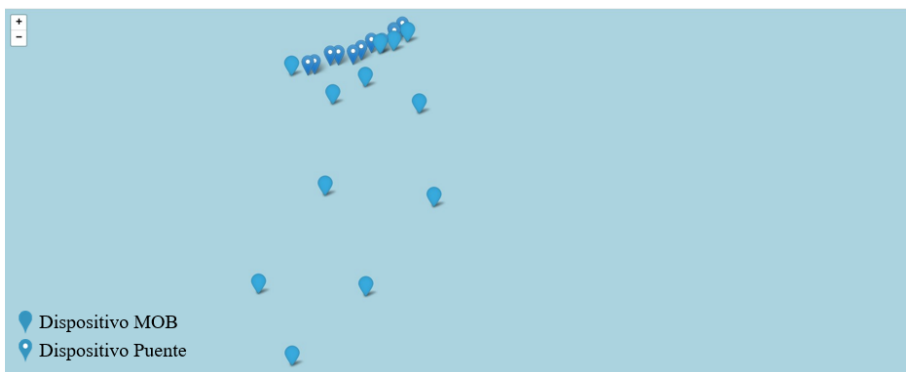


Figura 4-29 Mapa con resultados de lancha de instrucción II

4.5 Limitaciones

Tras las pruebas realizadas y los resultados obtenidos, se reconocen las limitaciones inherentes que pueden afectar al rendimiento y la fiabilidad del sistema. Estas limitaciones surgen por diversos factores, desde las características técnicas del *hardware* hasta las condiciones ambientales y la calidad de datos de entrada.

Una de las limitaciones más recurrentes observadas durante el estudio del sistema es la precisión de las mediciones GPS obtenidas. A pesar de que el sistema está diseñado con el objetivo de proporcionar resultados precisos, se detectan ciertas discrepancias entre las posiciones esperadas y las posiciones medidas.

Inicialmente, se tomaron las posiciones GPS de los 5 puntos de la geozona utilizando los dispositivos LGT92, véanse los valores obtenidos en la Tabla 4-9. A continuación, en la Figura 4-30, se comparan las posiciones tomadas con las posiciones estimadas de Google Earth, donde los marcadores azules representan las posiciones obtenidas por el *tracker*, mientras los marcadores de color naranja hacen referencia a las posiciones de Google Earth empleadas para establecer el método de geozona.

Tabla 4-9 Posiciones GPS de la geozona tomadas con LGT92

<i>PUNTOS</i>	<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>
<i>1</i>	-8,705580	42,395388
<i>2</i>	-8,705487	42,395283
<i>3</i>	-8,705571	42,395142
<i>4</i>	-8,705712	42,395223
<i>Referencia</i>	-8,705637	42,395243

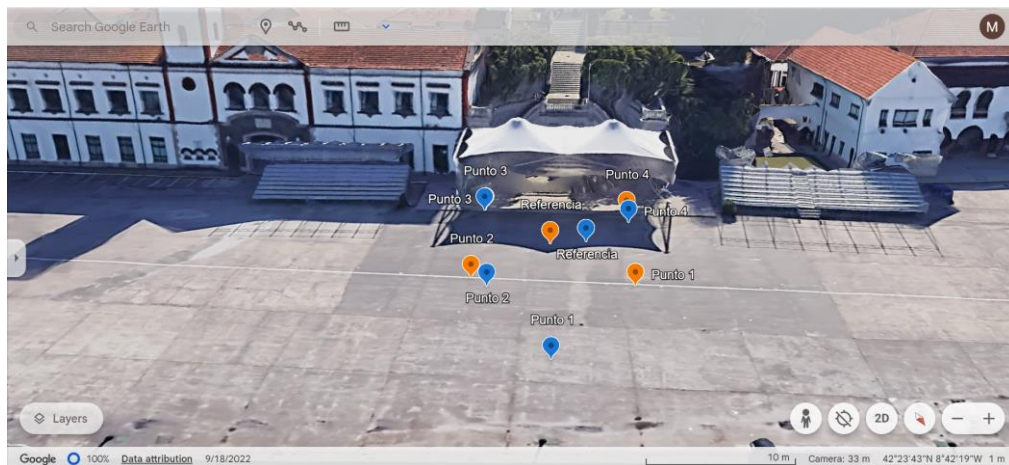


Figura 4-30 Comparativa posiciones reales vs posiciones LGT92

Tras la comparación de las posiciones, se aprecian mayores discrepancias en el punto 1. Por lo tanto, para analizar con más detalle estas variaciones, se posiciona el dispositivo sobre el punto mencionado y se recopilan varias muestras, cuyos valores se detallan en la Tabla 4-10. En la Figura 4-31 se muestra cómo fluctúan las posiciones GPS en Google Earth, incluso cuando el dispositivo se mantiene en una posición estática. Además, en la Figura 4-32, se remarcan las posiciones GPS obtenidas para el punto 1.

Tabla 4-10 Muestras GPS para el punto 1

Punto 1	Longitud	Latitud	Punto 1	Longitud	Latitud
1	-8,705445	42,395324	8	-8,705445	42,395324
2	-8,705565	42,395424	9	-8,705528	42,395424
3	-8,705591	42,395392	10	-8,705729	42,395292
4	-8,705637	42,395352	11	-8,705482	42,395472
5	-8,705678	42,395376	12	-8,705602	42,395376
6	-8,705450	42,395480	13	-8,705637	42,395340
7	-8,705722	42,395484	14	-8,705604	42,395368



Figura 4-31 Medidas de posiciones para el punto 1

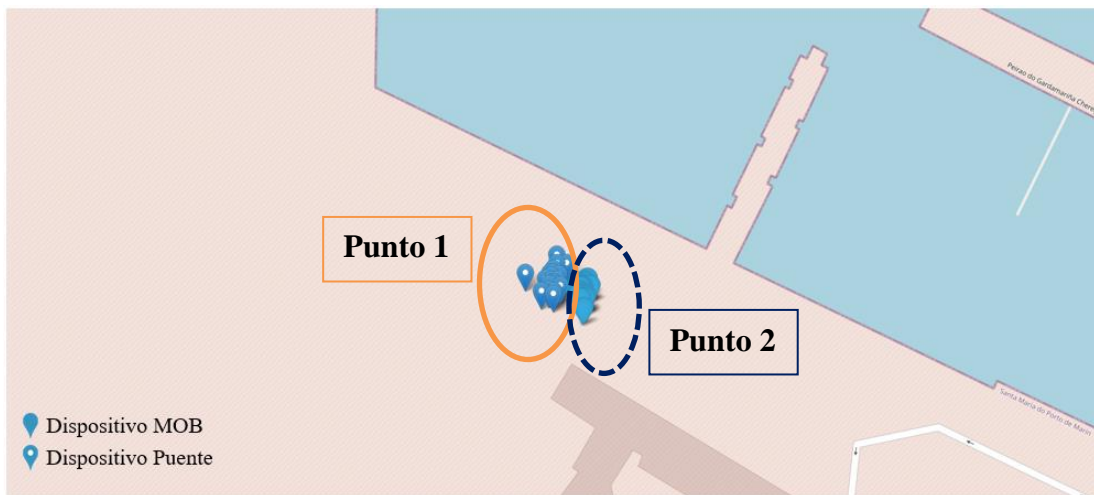


Figura 4-32 Posiciones GPS estático

A lo largo de todo el desarrollo del proyecto, una de las limitaciones más comunes enfrentadas ha sido la pérdida de conexión entre el dispositivo LGT92 y el LPS8N. Esta situación, lamentablemente común, interrumpe el flujo de datos y puede afectar a la integridad del sistema. Cuando esta desconexión ocurre, es necesario detener el sistema temporalmente y reiniciar el montaje de red. Esto no solo conlleva pérdida de tiempo, sino que también puede afectar a la continuidad de las operaciones y la calidad del monitoreo. En ocasiones, se ha observado cómo el programa experimenta fallos, conectándose y desconectándose de forma repetida y constante, aunque permite recibir mensajes *payloads*, véase la Figura 4-34.

Es importante destacar que el sistema no proporciona resultados de forma inmediata. Los dispositivos necesitan un tiempo inicial de posicionamiento para establecer correctamente su posición. Este periodo puede variar dependiendo de diversos factores, como la calidad de la señal GPS y las condiciones ambientales. Asimismo, se debe implementar un filtrado de errores por distancia para descartar posibles valores atípicos, dado que, en algunas ocasiones, las distancias calculadas inicialmente pueden ser inconsistentes, véase el valor marcado por la flecha azul de la Figura 4-33.

```

2024-03-18 20:10:19.795899 Distancia entre MOB y Puente: 4775958.685181182 metros ←
Distancia mayor a 400 metros, descartando payloads...
2024-03-18 20:10:36.835214 Distancia entre MOB y Puente: 46.23976831741035 metros
2024-03-18 20:10:36.835420 Longitud: -8.70597, Latitud: 42.395328 desde MOB
    
```

Figura 4-33 Valor atípico de distancia


```
Unspecified error
Conexión establecida
2024-03-14 21:33:15.893109 Conectado!
Suscribiendo
2024-03-14 21:33:15.894148 Subscribed!
Suscribiendo
2024-03-14 21:33:15.894368 Subscribed!
Desconexión
Unspecified error
Conexión establecida
2024-03-14 21:33:17.897298 Conectado!
Suscribiendo
2024-03-14 21:33:17.897857 Subscribed!
Suscribiendo
2024-03-14 21:33:17.898096 Subscribed!
Desconexión
Unspecified error
Conexión establecida
2024-03-14 21:33:19.904281 Conectado!
Suscribiendo
2024-03-14 21:33:19.905093 Subscribed!
2024-03-14 21:33:19.906278 Mensaje MOB: {'Pitch': -3.77, 'BatV': 3.983, 'Alarm_status': 'TRUE', 'SNR': 7, 'Altitude': 8.3, 'MD': 'Move', 'HDOP': 1.3, 'Roll':
0.79, 'FW': 164, 'Longitude': 0, 'Latitude': 0, 'LGN': 'ON', 'RSSI': -27}
Suscribiendo
2024-03-14 21:33:19.906534 Subscribed!
Desconexión
Unspecified error
Conexión establecida
2024-03-14 21:33:21.908979 Conectado!
Suscribiendo
2024-03-14 21:33:21.909578 Subscribed!
Suscribiendo
2024-03-14 21:33:21.909857 Subscribed!
Desconexión
Unspecified error
```

Figura 4-34 Pérdida de conexión LGT92 y LPS8N

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Después de implementar un sistema basado en la tecnología LoRaWAN para la detección automática de situaciones de hombre al agua, así como el envío de señales de alarma y la monitorización en tiempo real sin necesidad de conexión a internet, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La eficacia de la tecnología LoRaWAN en la integración con dispositivos IoT ha sido notable. Esta elección ha demostrado su idoneidad al conectar dispositivos y sensores sin necesidad de depender de internet, lo que facilita la implementación de soluciones de monitorización y alerta temprana, sobre todo en entornos marítimos. Además, se muestra como ventaja la capacidad de alcanzar largas distancias de transmisión en áreas marítimas y de difícil acceso para otras formas de conectividad.
- Los dos programas implementados para detectar automáticamente la situación de hombre al agua han dado resultados satisfactorios. A pesar de algunas imprecisiones iniciales, los ajustes y mejoras en los algoritmos han permitido una detección más precisa y confiable de las situaciones de alarma.
- En cuanto a la monitorización en tiempo real mediante la implementación de mapas interactivos de la biblioteca de Python, se reconoce la importancia de optimizar la visualización de los datos para una comprensión más completa de la situación dada.
- Los dispositivos LGT92 han demostrado tener la capacidad de detectar automáticamente situaciones de hombre al agua. No obstante, se reconoce que el dispositivo presenta ciertas limitaciones que requieren consideración. Entre ellas, el sistema requiere un tiempo inicial para establecer con precisión la ubicación de los dispositivos, el cual puede variar debido a la calidad de la señal GPS y las condiciones ambientales. Por lo tanto, es importante tener expectativas realistas sobre la velocidad y la disponibilidad del sistema en situaciones operativas. Además, se observó que la precisión de las mediciones GPS obtenidas se ve afectada en algunas situaciones, justificadas por la falta de muestras o la falta de aplicación de un filtrado de errores. Sin embargo, al aplicar técnicas de filtrado de errores y comparar los resultados con Google Earth, se observaron diferencias poco significativas.
- Se destaca que todo el sistema, desde la detección automática de situaciones de MOB hasta el envío de señales de alarma y la monitorización en tiempo real, ha sido diseñado para el uso sin internet. Este logro representa un aspecto positivo y un objetivo cumplido del proyecto.
- La estructura de red implementada y las herramientas *software* empleadas proporcionan una base sólida para la transmisión y gestión eficiente de datos en entornos IoT. Sin embargo, es importante señalar la problemática que supone la pérdida de conexión entre los dispositivos *hardware* LGT92 y el LPS8N cada cierto tiempo.

- En términos del rendimiento del sistema ante la cobertura, el consumo y la fiabilidad en el medio acuático tras las pruebas realizadas, los resultados demostraron diferencias leves en la distribución de las señales captadas. Se observó una mayor variabilidad en el rendimiento del dispositivo en el medio acuático, con una varianza y un intervalo de confianza mayor. No obstante, no se observaron diferencias relevantes en los resultados obtenidos en las pruebas de estanqueidad del dispositivo.

5.2 Líneas futuras

A continuación, se exploran y se analizan las posibles líneas de desarrollo del trabajo realizado, así como las tendencias emergentes en monitorización y búsqueda de personas.

5.2.1 Líneas futuras del trabajo realizado

La monitorización en tiempo real de la distancia, complementada con un mapa interactivo que muestra la posición GPS del naufrago, proporciona una visión actualizada de la situación de emergencia. Sin embargo, para optimizar su utilidad, es recomendable mejorar la representación del mapa interactivo incluyendo detalles adicionales como la silueta del barco, para una mejor contextualización y visualización de la situación en tiempo real. Además, se sugiere adaptar el mapa para la navegación mediante la incorporación de cartas náuticas electrónicas, y añadir elementos informativos, como la dirección de la proa del barco.

Para futuras mejoras, se podría explorar la implementación del concepto de CEP (*Circular Error Probable*). Puede ser una estrategia efectiva para reflejar la precisión de las medidas y mejorar el filtrado de posiciones GPS.

La precisión del GPS es un aspecto crucial que considerar para garantizar una localización precisa del naufrago. Se pueden explorar medidas para mejorar la precisión del sistema del GPS, como la optimización de la configuración del dispositivo.

Se podrían realizar cambios en el *hardware* y el *software* para mejorar la cobertura de la red LoRaWAN y garantizar una comunicación más fiable en medios acuáticos.

Se plantea como línea futura la visualización de un hombre al agua en el radar del barco. Para ello, se recomienda realizar un estudio mediante:

- Necesidad de tener un equipo físico en el puente de mando: Instalar un dispositivo físico en el puente de mando del barco, que ejecute el *script* encargado de detectar la situación de hombre al agua. Este dispositivo debe tener la capacidad de comunicarse con el radar de navegación.
- Conexión al radar: Establecer una conexión física entre el equipo en el puente de mando y el radar de navegación.
- Implementación de señal mediante comandos NMEA: Utilizar los comandos NMEA para enviar una señal al radar de navegación cuando se detecte un hombre al agua. Esta señal debe ser reconocida por el radar y puede incluir información relevante, como la posición GPS donde se produjo la detección.
- Integración con el *software* del radar: Se debe asegurar que el *software* del radar esté configurado para interpretar correctamente la señal enviada mediante los comandos NMEA y para representar visualmente la situación de hombre al agua en la pantalla del radar.

5.2.2 Microchip integrado en personas

La idea de desarrollar microchips capaces de monitorizar toda la actividad humana plantea una transformación radical en la manera de interactuar con la tecnología y con nuestro entorno.

La empresa Neuralink, fundada en 2016 y especializada en interfaces cerebro-máquina, ha implantado el primer microchip humano, llamado Telepatía. El microchip tiene diversas aplicaciones

médicas y tecnológicas, como ayudar a pacientes con parálisis, trastornos neurológicos o ceguera. Además, permite controlar dispositivos electrónicos con la mente [91].

Se plantea como línea futura, el avance en microchips humanos para rastreo de GPS y detección de caídas. Con avances en la miniaturización de componentes y el desarrollo de algoritmos más sofisticados, estos microchips podrían ofrecer localización en tiempo real incluso en áreas remotas. Además, con la mejora de la sensibilidad y la capacidad de respuesta de los sensores integrados, se podría esperar que se detectase no sólo la caída, sino también la gravedad y el tipo de impacto. La integración de tecnologías de inteligencia artificial y aprendizaje automático podría mejorar la capacidad de los microchips para distinguir entre caídas accidentales y movimientos normales, reduciendo así las falsas alarmas.

No obstante, es importante abordar las preocupaciones éticas y de privacidad que surgen con el uso generalizado de microchips en humanos. Se realiza una mayor reflexión sobre esta situación en el Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Informe Anual 2022 (febrero_2023)», Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Accedido: 20 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/OTLE/elementos_otle/Informe_anual_2022%20\(febrero_2023\).pdf](https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/OTLE/elementos_otle/Informe_anual_2022%20(febrero_2023).pdf)
- [2] «Cabotaje | Diccionario de la lengua española», Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario. Accedido: 1 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dle.rae.es/cabotaje>
- [3] United Nations Conference on Trade and Development, *Review of Maritime Transport 2023*. United Nations, Geneva. United Nations publication sales No. E.23||D.23. ISBN 978-92-1-002886-8. Accedido: 27 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2023_en.pdf
- [4] «Quiénes somos», Statista. Accedido: 1 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.statista.com/acercadenosotros/>
- [5] «Número de pasajeros de crucero al año en el mundo 2009-2022», Statista. Accedido: 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/569166/evolucion-anual-del-numero-de-pasajeros-de-cruceros/>
- [6] «El transporte marítimo: normas de tráfico y de seguridad | Fichas temáticas sobre la Unión Europea», Parlamento Europeo. Accedido: 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/125/el-transporte-maritimo-normas-de-trafico-y-de-seguridad>
- [7] «Hombre al agua», Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. Accedido: 5 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.salvamentomaritimo.es/mejora-tu-seguridad/actuar-en-emergencias/hombre-al-agua>
- [8] U. Chakraborty, T. Tewary, y R. P. Chatterjee, «Exploiting the loss-frequency relationship using RF communication in Underwater communication networks», International Conference on Computers and Devices for Communication (CODEC) en Diciembre 2009, Kolkata (India). IEEE, 2010, pp. 1-5. doi: 10.1109/CODEC.2009.5372803
- [9] J. Shi, S. Zhang, y C.-J. Yang, «High frequency RF based non-contact underwater communication», en *2012 Oceans - Yeosu*, Yeosu, Korea (South): IEEE, may 2012, pp. 1-6. doi: 10.1109/OCEANS-Yeosu.2012.6263403.
- [10] «VHF Navicom RT650 MOB - Le 3 en 1 - Navicom - Pour l'information du grand public», Navicom. Accedido: 20 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.navicom.fr/actualites/vhf-navicom-rt650-mob-le-3-en-1>

- [11] «Navicom RT-650 Owner's Manual », ManualsLib. Accedido: 27 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.manualslib.com/manual/2160017/Navicom-Rt-650.html>
- [12] «MOB+ Basepack Multifob», FELL Marine Inc. Accedido: 20 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://buy.fellmarine.com/products/mob-basepack-multifob>
- [13] «Sea Tags», Ausmar. Accedido: 21 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ausmar.com/index.php/es/sea-tags.html>
- [14] P. Brooks, A. Harati-Mokhtari, A. Wall, y J. Wang, «Automatic Identification System (AIS): Data Reliability and Human Error Implications», *J. Navig.*, vol. 60, n.º 3, pp. 373-389, 2007, doi: 10.1017/S0373463307004298.
- [15] «A040 easyRESCUE-PRO 3 - Weatherdock en Español», Weatherdock. Accedido: 21 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.easyais.com/es/productos/radiobalizas-ais/a040-easyrescue-pro-3/>
- [16] «FastFind CREW1», Seas Of Solutions. Accedido: 21 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.seasofsolutions.com/products/fastfind-crew1/>
- [17] Bruce. R. Elbert, «*Introduction to Satellite Communication*», Artech House, 2008, vol. 6, pp 468, doi 10.1002/sat-4600060315
- [18] «ResQLink AIS Personal Locator Beacon», ACR ARTEX. Accedido: 21 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.acrartex.com/products/resqlink-ais-personal-locator-beacon/>
- [19] «PLB3», Ocean Signal. Accedido: 21 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://oceansignal.com/products/plb3/>
- [20] «MOBtronic», MARSS. Accedido: 28 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://marss.com/products/mobtronic>
- [21] «The Hybrid Intelligence Centre». Accedido: 16 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.hybrid-intelligence-centre.nl/>
- [22] J. Yrayzoz Goenechea y R. Asorey Cacheda (advisor), «Sistema de detección de “hombre al agua” basado en tecnología GPS», 2016. Accedido: 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://calderon.cud.uvigo.es/items/737702ad-ca3c-4f0c-b937-a3e092be519e>
- [23] «Martec Company», Martec Engineering & Production. Accedido: 28 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.martec.it/?page_id=120
- [24] «Martec OPTS (On Board Personnel Tracking System)», Martec Engineering & Production. Accedido: 28 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.martec.it/?page_id=42
- [25] «Martec DCS (Damage Control System)», Martec Engineering & Production. Accedido: 28 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.martec.it/?page_id=36
- [26] T. Seymour y A. Shaheen, «History of wireless communication», *Rev. Bus. Inf. Syst. RBIS*, vol. 15, n.º 2, pp. 37-42, 2011, doi 10.19030
- [27] «What are Royal Caribbean WOW Bands? | Royal Caribbean Cruises». Accedido: 29 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.royalcaribbean.com/faq/questions/what-are-royal-caribbean-wow-bands>
- [28] «Royal Caribbean rolls out mandatory contact tracing wearable», MobiHealthNews. Accedido: 29 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mobihealthnews.com/news/royal-caribbean-rolls-out-mandatory-contact-tracing-wearable>
- [29] «2018 End of Year Report», LoRa Alliance. Accedido: 29 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://resources.lora-alliance.org/document/2018-end-of-year-report>

- [30] E. Örtlund y M. Larsson, «Man Overboard detecting systems based on wireless technology», Chalmers University of Technology Department of Mechanics and Maritime Sciences, Bachelor Thesis:2018:18. Gothenburg, Sweden 2018, pp 47.
- [31] M. Siekkinen, M. Hienkari, J. K. Nurminen, y J. Nieminen, «How low energy is bluetooth low energy? comparative measurements with zigbee/802.15. 4», presentado en 2012 IEEE wireless communications and networking conference workshops (WCNCW), IEEE, 2012, pp. 232-237.
- [32] S. Kamath y J. Lindh, «Measuring bluetooth low energy power consumption», Tex. Instrum. Appl. Note AN092 Dallas, 2010. Accedido: 19 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://picture.iczhiku.com/resource/upload/cf5f3fe97b734cc5acee56ec66d305f3.pdf>
- [33] «RN4871-I/RM140 Microchip Technology | Mouser», Mouser Electronics. Accedido: 29 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mouser.es/ProductDetail/579-RN4871-I-RM140>
- [34] «ZICM357SP2-1-R CEL | Mouser», Mouser Electronics. Accedido: 29 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mouser.es/ProductDetail/551-ZICM357SP2-1>
- [35] «What is Sigfox?», Sigfox Technology. Accedido: 29 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.sigfox.com/what-is-sigfox/>
- [36] «Uplynx Sigfox Verified RCZ1 Module | Sigfox Partner Network | The IoT solution book», Sigfox Partner Network. Accedido: 19 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://partners.sigfox.com/products/uplynx-sigfox-verified-rcz1-module>
- [37] «SX1276IMLTRT Semtech | Mouser», Mouser Electronics. Accedido: 29 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mouser.es/ProductDetail/947-SX1276IMLTRT>
- [38] A. I. Petrariu y A. Lavric, «Sigfox wireless communication enhancement for internet of things: A study», presentado en 2021 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), IEEE, 2021, pp. 1-4.
- [39] V. Alvear-Puertas, P. Rosero-Montalvo, D. Peluffo-Ordóñez, y J. Pijal-Rojas, «Internet de las cosas y visión artificial, funcionamiento y aplicaciones: Revisión de literatura», *Enfoque UTE*, vol. 8, pp. 244-256, 2017.
- [40] J. M. Tellado Moreno y J. M. Núñez Ortuño (advisor), «Sistema de seguimiento y evaluación de alumnos en el área de topografía mediante una red inalámbrica LoRaWAN», abr. 2022, Accedido: 12 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://calderon.cud.uvigo.es/handle/123456789/664>
- [41] «Internet of Things (IoT) total annual revenue worldwide from 2020 to 2030», Statista. Accedido: 11 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/1194709/iot-revenue-worldwide/>
- [42] «IoT connected devices worldwide 2019-2030», Statista. Accedido: 11 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>
- [43] «LPWAN: qué son y para qué se utilizan», Becolve Digital. Accedido: 11 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://becolve.com/blog/lpwan-que-son-y-para-que-se-utilizan/>
- [44] «LoRa PHY | Semtech», Semtech. Accedido: 11 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>
- [45] «What is LoRaWAN® Specification», LoRa Alliance®. Accedido: 11 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>
- [46] «¿Qué es la tecnología LoRa y por qué es importante para IoT?», The Things Network. Accedido: 11 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.thethingsnetwork.org/community/santatorosa/post/que-es-la-tecnologia-lora-y-por-que-es-importante-para-iot>

- [47] «LoraWan | antennas and accessories», Interline Piotr Kroplewski. Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://interline.pl/Information-and-Tips/LoraWan>
- [48] S. Devalal y A. Karthikeyan, «LoRa technology-an overview», presentado en 2018 second international conference on electronics, communication and aerospace technology (ICECA), IEEE, 2018, pp. 284-290.
- [49] «Breve reseña histórica de la OMI», Organización Marítima Internacional. Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.imo.org/es/About/HistoryOfIMO/Paginas/Default.aspx>
- [50] «Supervisión por el Estado rector del puerto», Organización Marítima Internacional. Accedido: 5 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.imo.org/es/OurWork/MSAS/Pages/PortStateControl.aspx>
- [51] «Flag State vs. Port State», Maritime Institute of Technology and Graduate Studies (MITAGS). Accedido: 16 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mitags.org/flag-vs-port-state/>
- [52] «Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974 (Convenio SOLAS)». Accedido: 16 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)%2C-1974.aspx](https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)%2C-1974.aspx)
- [53] E. Beres, «Prevención de accidentes a bordo de los buques en el mar y en los puertos», Consejo de Administración de la Oficina Internacional del Trabajo, Ginebra en 1996, ISBN 92-2-309450-X.
- [54] A. Selmy, «The Need of Man Overboard (MOB) detecting and tracking system descriptive analyses», presentado en: The 9th China International Rescue & Salvage Conference, China, 2016.
- [55] «Safety at Sea» H. Gilbert Stowell. Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.asisonline.org/security-management-magazine/articles/2015/07/safety-at-sea/>
- [56] «Conócenos - Centro Jovellanos», Salvamento Marítimo. Accedido: 16 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.centrojovellanos.es/conocenos>
- [57] «Manual Procedimientos De Maniobra Y Navegacion LLII», Escuela Naval Militar, Departamento de Maniobra y Navegación, SINCLAS, Abril 2016, pp 27-29.
- [58] «Hola Mundo IoT», SG Buzz. Accedido: 23 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sg.com.mx/revista/51/hola-mundo-iot>
- [59] «¿Qué es Payload?», Acens - Centro de Ayuda. Accedido: 23 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ayuda.acens.com/hc/es/articles/360018220377--Qu%C3%A9-es-Payload>
- [60] «STM32L0x2 - STMicroelectronics», STMicroelectronics. Accedido: 21 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32l0x2.html>
- [61] «Módulo GPS L76L-M33 - Electrocomponentes», Electrocomponentes. Accedido: 21 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.electrocomponentes.com/tienda/componentes-electronicos/modulos-gps-gnss/modulo-gps-l76l-m33>
- [62] «LoRaWAN GPS Tracker with 9-axis accelerometer-LGT92», Dragino. Accedido: 28 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.dragino.com/products/lora-lorawan-end-node/item/142-lgt-92.html>
- [63] Dragino, LoRa, «Author Time Dragino 2019-May-13», User Manual AT Command Sets for LGT92 version 1.4, 13 Mayo 2019. Accedido: 1 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.dragino.com/downloads/downloads/LGT_92/Dragino_LGT92_AT_Commands_v1.4.0.pdf
- [64] «End Device Activation», The Things Network. Accedido: 1 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/end-device-activation/>

- [65] «LPS8N Indoor LoRaWAN Gateway», Dragino. Accedido: 1 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.dragino.com/products/lora-lorawan-gateway/item/200-lps8n.html>
- [66] «LPS8N Indoor Multichannel LoRaWAN Gateway», Bastelgarage Elektronik Online Shop». Accedido: 1 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.bastelgarage.ch/lps8n-indoor-multichannel-lorawan-gateway>
- [67] «OMB.868.B05F21 Taoglas | Mouser», Mouser Electronics. Accedido: 23 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mouser.es/ProductDetail/960-OMB.868.B05F21>
- [68] «Eclipse Mosquitto», Eclipse Mosquitto. Accedido: 14 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://mosquitto.org/>
- [69] G. C. Hillar, «*Internet of things with python*». Packt Publishing Ltd, Mayo 2016. ISBN 978-1-78588-138-1
- [70] «Node-RED», Node-RED by IBM's Emerging Technologfy Services. Accedido: 14 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://nodered.org/>
- [71] «Softblade GmbH - Home of MQTT.fx», Softblade. Accedido: 21 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.softblade.de/>
- [72] «PuTTY en programación, aprende qué es y cómo utilizarlo», Hostgator México. Accedido: 21 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.hostgator.mx/blog/putty-en-programacion-aprende-que-es/>
- [73] «Notepad++», Notepad++. Accedido: 21 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://notepad-plus-plus.org/>
- [74] «Virtualización», IONOS Digital Guide. Accedido: 21 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/configuracion/virtualizacion/>
- [75] CROnuts.digital, «Qué es un Script: La Piedra Angular de la Programación Moderna», Cronuts.Digital. Accedido: 30 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://cronuts.digital/es/que-es-un-script-programacion/>
- [76] «Oracle VM VirtualBox», Oracle. Accedido: 14 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.oracle.com/es/virtualization/virtualbox/>
- [77] «¿Qué es una máquina virtual (VM)? ¿Qué son los virtual machines?», Red Hat. Accedido: 14 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.redhat.com/es/topics/virtualization/what-is-a-virtual-machine>
- [78] «Oracle VM VirtualBox User Manual», Oracle. Accedido: 21 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://docs.oracle.com/en/virtualization/virtualbox/6.0/user/virt-why-useful.html>
- [79] «Downloads – Oracle VM VirtualBox», VirtualBox. Accedido: 14 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.virtualbox.org/wiki/Downloads>
- [80] R. P. Ltd, «Raspberry Pi Desktop for PC and Mac», Raspberry Pi. Accedido: 14 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.com/software/raspberrypi-desktop/>
- [81] «Instalando Broker MQTT en Raspberry PI», Prometec. Accedido: 14 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.prometec.net/instalando-mosquitto-en-raspberry/>
- [82] «Mosquitto.conf man page», Eclipse Mosquitto. Accedido: 14 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://mosquitto.org/man/mosquitto-conf-5.html>
- [83] «Tencent Cloud», Tencent Cloud. Accedido: 20 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.tencentcloud.com>

- [84] «About: Node-RED», Node-RED. Accedido: 14 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://nodered.org/about/>
- [85] «Running on Raspberry Pi : Node-RED», Node-RED. Accedido: 14 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://nodered.org/docs/getting-started/raspberrypi>
- [86] «Download PuTTY - a free SSH and telnet client for Windows». Accedido: 1 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.putty.org/>
- [87] «LGT-92_LoRa_GPS_Tracker_UserManual_v1.4.3» Accedido: 29 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.dragino.com/downloads/downloads/LGT_92/LGT-92_LoRa_GPS_Tracker_UserManual_v1.4.3.pdf
- [88] I. Craggs, «Eclipse Paho | The Eclipse Foundation». Accedido: 27 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://eclipse.dev/paho/index.php?page=clients/python/index.php>
- [89] «Funda de teléfono impermeable IP68 Universal, bolsa a prueba de agua, cubierta de natación para iPhone 13 12 11 Pro Max X XS Samsung S22 Ultra Xiaomi Huawei | - AliExpress», aliexpress.com. Accedido: 14 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: [//es.aliexpress.com/item/1005005211573859.html?](https://es.aliexpress.com/item/1005005211573859.html?)
- [90] «Understanding RSSI Levels», MetaGeek. Accedido: 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.metageek.com/training/resources/understanding-rssi/>
- [91] «Neuralink de Elon Musk: cómo funciona Telepathy, el chip cerebral que el multimillonario estadounidense asegura que se implantó en un humano (y qué dudas genera)», BBC News Mundo. Accedido: 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/articles/c88np4v0n3zo>
- [92] I. Vargas-Chaves, A.-M. Betancur-Quiceno, y M. A. Sierra-López, «La contaminación electromagnética: una visión desde las biociencias y el derecho.», <https://libros.cecar.edu.co/index.php/CECAR/catalog/book/27>, 2020, Accedido: 27 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.cecar.edu.co/handle/cecar/2554>
- [93] «BOE-A-2013-4845 Orden IET/787/2013, de 25 de abril, por la que se aprueba el cuadro nacional de atribución de frecuencias.» Accedido: 4 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-4845>
- [94] «Abanderamiento, matrícula y registro | Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana». Accedido: 27 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mitma.gob.es/marina-mercante/nautica-de-recreo/documentacion-administrativa/abanderamiento-matricula-y-registro/abanderamiento-matricula-y-registro-de-las-embarcaciones-de-recreo>

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES Y AMBIENTALES

La seguridad en la mar tiene una relación directa con la evolución del sector marítimo actual. Por ello, se exponen a continuación los motivos más relevantes que convierten en crucial la protección de las personas que trabajan en el sector marítimo, basándose en las estadísticas analizadas en Contexto y motivación, véase la sección 1.1.

- **Aumento de emergencias marítimas:** En 2021, las emergencias marítimas alcanzaron su punto más alto desde 2006, con un aumento del 12,6% respecto al año anterior. Este aumento en las emergencias subraya la necesidad de mejorar la seguridad para prevenir incidentes y proteger a las personas a bordo de los buques.
- **Aumento de la participación en emergencias:** Hubo 46.073 personas que participaron en las emergencias marítimas en 2021, un 1,3% más que en 2020. Este aumento en la participación indica que más personas están expuestas a situaciones de emergencia, lo que resalta la importancia de la seguridad.
- **Aumento de fallecimientos y desapariciones:** Los fallecidos subieron de 167 a 212, un 26,9% más, y los desaparecidos de 98 a 141, un 43,9% más. Estas cifras demuestran la necesidad urgente de mejorar la seguridad para proteger la vida de las personas en el ámbito marítimo.

En cuanto a los aspectos medioambientales, existen preocupaciones sobre el posible impacto de la contaminación electromagnética en el equilibrio ecológico y la supervivencia de especies silvestres [92]. No obstante, no hay estudios específicos que demuestren de manera inequívoca dichos efectos en el medio marino. Es importante destacar que las emisiones LoRaWAN se caracterizan por su muy baja potencia, por lo que un posible daño a humanos y animales es descartable. En concreto, las transmisiones LoRa atienden a lo descrito en la recomendación de la UIT para las bandas ISM (artículo 5 de las Regulaciones Radio (RR), concretamente los puntos 5.138 y 5.150). Según dicha recomendación, la potencia transmitida está limitada a 25 mW (14 dBm) con un ciclo de trabajo (relación entre tiempo de transmisión y no transmisión) de un 0.1% al día [93].

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

De nada vale desarrollar medios técnicos para la detección de posibles incidentes de caída de hombre al agua si estos mecanismos no se acaban adoptando para ahorrar costes. En este sentido sería de utilidad el desarrollo de medidas normativas que estableciesen la obligatoriedad de uso de estos mecanismos, normativas que, aunque resulte sorprendente, parecen no existir en la actualidad. Por otro lado, esta falta de regulación se agrava aún más si consideramos el uso habitual de “banderas de conveniencia”.

El abanderamiento de barcos es un proceso administrativo que autoriza a una embarcación a enarbolar la bandera nacional de un país específico, lo que implica someterse a las leyes y regulaciones de esa jurisdicción [94].

Sin embargo, la práctica extendida de registrar barcos en países extranjeros, en busca de normativas más flexibles o beneficios fiscales, plantea cuestiones éticas y sociales profundas. Esta tendencia, conocida como “bandera de conveniencia”, si bien puede reducir los costes operativos y fiscales para los armadores, a menudo conlleva la elusión de estándares internacionales de seguridad y protección ambiental. Además, la falta de un control efectivo por parte de los países que ofrecen estas ventajas significa que los barcos registrados bajo su bandera pueden operar con escasa supervisión, lo que representa riesgos significativos para la seguridad marítima. En última instancia, es crucial reflexionar sobre las implicaciones éticas de esta práctica y considerar cómo podemos fomentar un sector marítimo más responsable.

Tras lo reflejado en la sección 5.2.2, la introducción de microchips capaces de monitorizar la actividad humana plantea una serie de consideraciones éticas y sociales que no deben pasarse por alto. El potencial para rastrear la ubicación en tiempo real y detectar caídas puede ser útil en términos de seguridad y asistencia médica, pero también permite el seguimiento y la vigilancia constante de las personas. A bordo, se podría conocer las actividades de cualquier miembro de la dotación en todo momento, lo que podría vulnerar el derecho fundamental a la privacidad y a la libertad. Además, la integración de tecnologías de inteligencia artificial podría plantear en ocasiones preocupaciones sobre el uso indebido de datos.

ANEXO III: CARTA ALMIRANTE LINDA FAGAN

Congress of the United States

Washington, DC 20510

May 9, 2023

Admiral Linda Fagan
Commandant, U.S. Coast Guard
The Douglas A. Munro Coast Guard Headquarters Building
2703 Martin Luther King Junior Avenue, SE
Washington, D.C. 20593

Dear Admiral Fagan,

Last November, the U.S. Coast Guard completed an incredible rescue of a cruise passenger who was in the water for hours after going overboard.¹ We write to congratulate the Coast Guard for this extraordinary rescue and ensure it has the resources necessary to continue carrying out such search-and-rescue (SAR) missions in an effective manner.

Despite the Coast Guard's thrilling SAR operation last year, such positive outcomes in overboard incidents are rare. According to data on 212 cruise overboard incidents between 2009 and 2019, only 48 persons were successfully rescued – a mere 28 percent.² Time is a critical factor in overboard incidents: the delay between an incident's occurrence and the person's friend or family reporting them missing can dangerously expand the search grid and decrease the likelihood of a successful rescue. It is imperative that the Coast Guard and cruise lines take all possible steps to reduce overboard incidents and prevent overboard fatalities.

There are existing mechanisms to help advance success of Coast Guard SAR missions. The 2010 Cruise Vessel Safety and Security Act (CVSSA) requires cruise vessels to "integrate technology that can be used for capturing images of passengers or detecting passengers who have fallen overboard."³ This life-saving technology exists, and some cruise ships have begun installing these systems.⁴ Further, the International Organization for Standardization (ISO) created publically available, internationally agreed upon technical specifications for man overboard (MOB) detection technology.⁵ The widespread implementation of an approved MOB technology would help ensure the Coast Guard has timely and accurate information during SAR missions. Any delays in implementing solutions could be the difference between life and death in the next overboard incident.

To that end, we respectfully request answers to the following questions by May 23, 2023:

¹ Maria Cramer, "A Man Fell From a Cruise Ship. And Survived," *The New York Times* (New York, New York), December 1, 2022, <https://www.nytimes.com/2022/12/01/travel/cruise-ship-overboard-survival.html?smid=em-share>.

² Cruise Lines International Association, "Report on Operational Incidents 2009 to 2019," March 2020, https://cruising.org/-/media/research-updates/report_operational_incidents_2019-v-1.

³ Cruise Vessel Safety and Security Act of 2010, 46 U.S.C. §3507 (2010).

⁴ Cramer, "A Man Fell Overboard From a Cruise Ship. And Survived."

⁵ ISO 21195:2020, "Ships and Marine Technology – Systems for the Detection of Persons While Going Overboard from Ships (Man Overboard Detection)," <https://www.iso.org/standard/76051.html>.

1. What type of overboard prevention systems does the Coast Guard currently require installed on cruise vessels? If such requirements do not include systems that (i) capture images of, (ii) detect, or (iii) both capture images of and detect passengers who have gone overboard, please explain why not.
2. Please describe the Coast Guard's understanding of the status and commercial availability of image capture systems and detection systems for cruise vessels.
3. Please describe the level of collaboration between international standards organizations like ISO and the Coast Guard on overboard detection technology systems.
4. Does the Coast Guard recognize the ISO MOB detection technology standards? If not, please explain why not.
5. Please describe any steps the Coast Guard plans to take to further prevent fatalities from overboard incidents and improve SAR operations, including the status of any rulemaking efforts and the development of an enforcement plan.
6. Does the Coast Guard require any additional resources or further congressional direction to effectively enforce the CVSSA, particularly in relation to overboard incidents?
7. Does the Coast Guard require any additional resources to ensure the effective operation of SAR missions more broadly?

Thank you for your attention to this important matter. We look forward to your response.

Sincerely,


RICHARD BLUMENTHAL
United States Senator


DORIS MATSUI
Member of Congress


EDWARD J. MARKEY
United States Senator


LLOYD DOGGETT
Member of Congress

ANEXO IV: CÓDIGO MÉTODO ACTIVACIÓN MANUAL Y POR DISTANCIA

```

1  import paho.mqtt.client as mqtt
2  import json
3  from datetime import datetime as dt
4  from geopy.distance import geodesic
5  import folium
6
7  coord_MOB = None
8  coord_Puente = None
9  coordenadas_MOB = []
10 coordenadas_Puente = []
11 contador_MOB = 0
12 contador_Puente = 0
13
14 def actualizar_mapa():
15     mapa = folium.Map(location=[0, 0], zoom_start=2)
16
17     if coord_MOB:
18         folium.Marker(coord_MOB, popup='MOB').add_to(mapa)
19
20     if coord_Puente:
21         folium.Marker(coord_Puente, popup='Puente', icon=folium.Icon(color='blue', icon='point')).add_to(mapa)
22
23     mapa.save('mapa.html')
24
25 def on_connect(client, userdata, flags, reason_code, properties=None):
26     print("Conexión establecida")
27     if reason_code.is_failure:
28         print(reason_code)
29     else:
30         print(f"{dt.now()} Conectado!")
31         client.subscribe(topic="dragino/018300DA/data")
32         client.subscribe(topic="dragino/018300EA/data")
33
34 def on_disconnect(client, userdata, flags, reason_code, properties=None):
35     print("Desconexión")
36     if reason_code.is_failure:
37         print(reason_code)
38

```

Figura IV-1 Código de método activación manual y por distancia I

```

38
39 def on_message(client, userdata, message):
40     global coord_MOB, coord_Puente, coordenadas_MOB, coordenadas_Puente, contador_MOB, contador_Puente
41
42     try:
43         payload = json.loads(message.payload.decode('utf-8'))
44         topic = message.topic
45
46         if topic == "dragino/018300DA/data":
47             device_name = "MOB"
48             coord_MOB = (payload["Latitude"], payload["Longitude"])
49             coordenadas_MOB.append(coord_MOB)
50             contador_MOB += 1
51         elif topic == "dragino/018300EA/data":
52             device_name = "Puente"
53             coord_Puente = (payload["Latitude"], payload["Longitude"])
54             coordenadas_Puente.append(coord_Puente)
55             contador_Puente += 1
56         else:
57             print(f"{dt.now()} Mensaje recibido de un dispositivo no reconocido")
58             return
59
60         if contador_MOB >= 2 and contador_Puente >= 2:
61             actualizar_mapa()
62
63         if coord_MOB and coord_Puente:
64             distancia = geodesic(coord_MOB, coord_Puente).meters
65             print(f"{dt.now()} Distancia entre MOB y Puente: (distancia) metros")
66
67             if distancia > 400:
68                 print("Distancia mayor a 400 metros, descartando payloads...")
69                 coord_MOB, coord_Puente = None, None
70                 coordenadas_MOB, coordenadas_Puente = [], []
71                 contador_MOB, contador_Puente = 0, 0
72             return

```

Figura IV-2 Código de método de activación manual y por distancia II

```

73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
def on_subscribe(client, userdata, mid, reason, properties=None):
    if "Alarm_status" in payload and payload["Alarm_status"].lower() == "true":
        if payload["Longitud"] == 0 and payload["Latitude"] == 0:
            print(f"{dt.now()} Alarma activada en {device_name}, Error de GPS")
        else:
            print(f"{dt.now()} Longitud: {payload['Longitud']}, Latitud: {payload['Latitude']} desde {device_name}")

        if distancia > 50:
            print(";Alarma, Hombre al agua!")
            print(f"{dt.now()} Distancia entre MOB y Puente: {distancia} metros")
        else:
            print(";Alarma, posible Hombre al agua!")
            print(f"{dt.now()} Distancia entre MOB y Puente: {distancia} metros")

    elif "Alarm_status" in payload and payload["Alarm_status"].lower() == "false":
        if payload["Longitud"] == 0 and payload["Latitude"] == 0:
            print(f"{dt.now()} Alarma activada en {device_name}, Error de GPS")
        else:
            print(f"{dt.now()} Longitud: {payload['Longitud']}, Latitud: {payload['Latitude']} desde {device_name}")

        if distancia > 50:
            print(";Alarma, posible Hombre al agua!")
            print(f"{dt.now()} Distancia entre MOB y Puente: {distancia} metros")

        # Crear un nuevo marcador en el mapa con la posición actual
        folium.Marker([latitud_mediana, longitud_mediana], popup=device_name).add_to(mapa)

        # Guardar el mapa actualizado como un archivo HTML llamado "geozona_actualizada.html"
        mapa.save('mapa.html')

    return

except json.JSONDecodeError:
    print(f"{dt.now()} Error al decodificar el mensaje: {message.payload}")

```

Figura IV-3 Código de método de activación manual y por distancia III

```

109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
def on_unsubscribe(client, userdata, mid, reason, properties=None):
    print("Desuscribiendo")
    if len(reason) > 0 and reason[0].is_failure:
        print(reason[0])
    else:
        print(f"{dt.now()} Unsubscribed!")

def on_subscribe(client, userdata, mid, reason, properties=None):
    print("Suscribiendo")
    if len(reason) > 0 and reason[0].is_failure:
        print(reason[0])
    else:
        print(f"{dt.now()} Subscribed!")

client = mqtt.Client(client_id="cliente_python", callback_api_version=mqtt.CallbackAPIVersion.VERSION2)
client.username_pw_set("dragino", "dragino")

client.on_connect = on_connect
client.on_disconnect = on_disconnect
client.on_subscribe = on_subscribe
client.on_unsubscribe = on_unsubscribe
client.on_message = on_message

print("Conectando...")
client.connect(host="10.130.1.223", port=1884, keepalive=30)

client.loop_forever()

```

Figura IV-4 Código de método de activación manual y por distancia IV

ANEXO V: REACCIONES INICIALES MOB

Tabla V-1 Listado comprobación MOB

VOZ	SI	NO
Llega la voz con rapidez al puente		
Se selecciona la opción MOB del GPS o similar		
Se informa por órdenes generales		
Se dan las señales acústicas del RIPAM (6 pitadas cortas)		
Se calcula el viento real		
Se tiene en cuenta la dirección de la mar		
Izan los Señaleros “2nd X-O” caso de ejercicio, “O” real		
Se puntea la situación en la carta y se pasa a la crónica		
Se solicita a máquinas temperatura del agua del mar y se informa a la estación		
Es correcta la reacción del Oficial De Guardia en cuanto a gobierno del buque para librar al naufrago		
Se alertan los serviolas y utilizan banderas para señalar al naufrago		
Se comunica por 1MC tiempo del naufrago en el agua		
Se identifica al náufrago con rapidez		
Se respira tranquilidad en el puente		
Se rellenó correctamente la crónica		
Se puso en peligro el buque o el náufrago en alguna situación		