



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Localización y seguimiento de objetos en entornos marinos con condiciones climáticas adversas mediante cámaras low cost de diferentes espectros

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Miguel Liaño Ruiz

DIRECTORES: Iván Garrido González

Leticia Pérez Rial

CURSO ACADÉMICO: 2023-2024

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Localización y seguimiento de objetos en entornos marinos con condiciones climáticas adversas mediante cámaras low cost de diferentes espectros

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

En ocasiones, los resultados aportados por cámaras convencionales para la localización y seguimiento de objetos de interés con fines de seguridad y defensa son de calidad limitada e incluso insuficiente. Esto ocurre habitualmente en entornos marinos donde las condiciones climáticas son, en muchos casos, adversas. Bajo condiciones de lluvia o niebla, entre otras, trabajar con cámaras sensibles al espectro visible hace difícil la visualización de parte del contorno de un cuerpo a detectar. Ahí entran en juego cámaras con sus sensores sensibles a otras bandas espectrales. Entre las que mejores resultados han dado hasta ahora se encuentran las cámaras termográficas, con resultados favorables ante la detección y seguimiento de incendios forestales y actividades volcánicas.

El fin de este Trabajo Fin de Grado es demostrar la utilidad de las cámaras termográficas en su uso como control de aparición y desaparición de objetos de interés de la Escuela Naval Militar (ENM) en su entorno marino, por ejemplo, lanchas y pequeñas embarcaciones. Estos datos serán comparados con los adquiridos con cámaras convencionales. Además, se planteará el uso de una cámara termográfica *low cost* para así aumentar el alcance de su uso. Se emplearán parámetros métricos en las imágenes adquiridas, para cuantificar la comparación.

PALABRAS CLAVE

Seguridad marítima, condiciones climáticas adversas, cámaras *low cost*, espectro infrarrojo/visible, multiplataforma

AGRADECIMIENTOS

En estos momentos finales de mi carrera académica, me gustaría tomarme un momento para agradecer a todas aquellas personas que han sido un pilar fundamental a lo largo de estos intensos 5 años de formación, especialmente en este último tramo del Trabajo de Fin de Grado.

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis dos tutores, el Sr. Garrido y a la Sra. Pérez, por guiarme a lo largo de este último viaje con paciencia, dedicación, constancia e inspiración. Por apoyarme en todo momento y no decaer nunca, incluso en los peores momentos, y por ayudarme a establecerme nuevos límites, así como influir positivamente en mi desarrollo personal y profesional.

No me gustaría pasar por alto el apoyo incondicional de mi familia, especialmente el de mis padres y mis hermanos. A ellos les debo en gran parte la entrega de este trabajo y el punto final a esta increíble etapa de mi vida. Sin su apoyo y motivación durante, no solo estos 5 años, sino toda mi vida, esto no habría sido posible. Me gustaría mencionar especialmente a mi hermano, Gonzalo, con el que he podido tener el honor de compartir 3 años de Escuela Naval, y que, en unos años, podrá disfrutar de este último acaecimiento de la Ingeniería como lo he hecho yo. Disfruta de lo poco que te queda aquí, y, sobre todo, afronta con ilusión y motivación el trabajo que te toque hacer, porque sin duda es el momento de tu carrera que más vas a disfrutar.

En tercer lugar, me gustaría agradecer a mi querida Dotación, por acompañarme a lo largo de estos 5 maravillosos años vividos, y por todo lo que nos queda por vivir. Gracias por alegrarme estos años de Escuela.

Me gustaría finalizar estos agradecimientos mencionando a mi mayor apoyo en la realización de este trabajo y durante este último año. A aquella persona que ha estado en todo momento por y para mí, motivándome, aguantándome, sacándome un sonrisa en los momentos que más necesitaba. A ti, Lucía, te lo debo todo, y este trabajo es gracias a ti y a todo aquello que me has enseñado y demostrado.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción y objetivos	6
1.1 Introducción y motivación	6
1.2 Objetivos	7
1.3 Estructura	7
2 Estado del arte	9
2.1 Papel de la seguridad a nivel global.....	9
2.2 Seguridad en la Armada.....	10
2.2.1 Riesgos y amenazas en entornos marítimos	10
2.2.2 Políticas sobre seguridad nacional y marítima	12
2.2.3 Papel de la Armada	13
2.3 Equipos utilizados en seguridad marítima	14
2.3.1 Radar.....	14
2.3.2 Sistema de identificación de buques AIS	15
2.3.3 Global Maritime Distress Safety System (GMDSS)	16
2.3.4 Cámaras	17
2.3.4.1 Convencionales (espectro visible)	17
2.3.4.2 Térmicas	17
2.4 Termografía infrarroja.....	18
2.4.1 Fundamento	18
2.4.1.1 Teoría	18
2.4.1.2 Modos de trabajo	20
2.4.2 Aplicación.....	21
3 Desarrollo del TFG.....	26
3.1 Cámaras empleadas.....	26
3.1.1 FLIR E85	26
3.1.2 FLIR One Edge.....	27
3.2 Área de estudio.....	29
3.2.1 Plataforma fija	29
3.2.2 Plataforma móvil	32
3.3 Objetos de interés.....	33

3.4 Condiciones meteorológicas de la adquisición de imágenes	35
3.5 Parámetro métrico: Ratio de intensidades medias	36
3.6 Código empleado (Script)	37
4 Resultados y discusión	42
4.1 Resultados	42
4.1.1 Resultados en cámara visual	42
4.1.2 Datos cámara IR FLIR E85	44
4.1.3 Datos cámara IR FLIR One Edge	45
4.1.4 Datos comparativos cámaras FLIR E85 y One Edge frente a cámara visual	47
4.2 Discusión.....	48
5 Conclusiones y líneas futuras	55
5.1 Conclusiones	55
5.2 Líneas futuras	56
6 Bibliografía.....	57
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales	61
6.1 Implicaciones ambientales	61
6.2 Implicaciones económicas	61
6.3 Implicaciones industriales	61
6.4 Implicaciones sociales.....	62
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	63
6.5 Reflexiones éticas y sociales en la memoria del Trabajo Fin de Grado	63
6.6 Reflexión ética y social en el plano del trabajo desarrollado.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Principales amenazas en el ámbito global (Fuente: Departamento de Seguridad Nacional [6]).....	10
Figura 2-2 Ataques piratas en el primer semestre del año 2023 (Fuente: Safety for Sea [8]).....	11
Figura 2-3 Principales rutas de inmigración ilegal (Fuente: Departamento de Seguridad Nacional [9]).....	11
Figura 2-4 Resultado del ataque terrorista al destructor de la US Navy, el USS Cole (Fuente: BBC [11]).....	12
Figura 2-5 Riesgos y amenazas a la seguridad marítima nacional (Fuente: Estrategia de Seguridad Marítima Nacional [15])	13
Figura 2-6 BAM Meteor, el primero de la clase de los 6 buques encargados de la seguridad marítima de interés nacional (Fuente: Armada [17])	14
Figura 2-7 Funcionamiento de un radar de navegación (Fuente: Marine Insight [21])	15
Figura 2-8 Funcionamiento del sistema AIS (Fuente: Weather Dock [23])	15
Figura 2-9 Funcionamiento del sistema GMDSS (Fuente: ICS Electronics [26])	16
Figura 2-10 Esquema cámara convencional (Fuente: Fisicalab [27])	17
Figura 2-11 Cámara térmica FLIR E85 (Fuente: Página oficial FLIR [30]).....	18
Figura 2-12 Espectro electromagnético en detalle	19
Figura 2-13 Diferentes aplicaciones del seguimiento de equipos y componentes mediante termografía infrarroja [38]	22
Figura 2-14 Diferentes aplicaciones del seguimiento de actividad volcánica [39]	23
Figura 2-15 Resultados del análisis de incendios forestales mediante el uso de cámaras termográficas [40].....	23
Figura 2-16 Resultados del uso de aeronaves no tripuladas termográficas para vigilancia y seguridad [41]	24
Figura 2-17 Aplicación de la termografía infrarroja en la detección de objetos, y búsqueda y rescate. a) Visión a 10 m. b) Visión a 50 metros [43].....	25
Figura 3-1 Imagen ilustrativa FLIR E85 (Fuente: Página Web FLIR [30]).....	26
Figura 3-2 Imagen ilustrativa FLIR One Edge (Fuente: Página Web FLIR [30])	28
Figura 3-3 a) Vista general de la ría de Pontevedra. b) Vista general del recinto de la Escuela Naval Militar (42° 23' 48,6''N, 8° 42' 12,6''W) (Fuente: Google Maps)	29
Figura 3-4 a) Vista general de la Zona 1. b) Lugar desde el que se tomarán imágenes en la Zona 1. c) d) e) Zonas a las que se pueden acceder desde dicha Zona 1 (Fuente: Google Maps).....	30
Figura 3-5 a) Vista general de la Zona 2. b) Lugar desde el que se obtendrán imágenes en la Zona 2. c) Área a la que es accesible desde dicha Zona 2 (Fuente: Google Maps)	31
Figura 3-6 a) Vista general de la Zona 3. b) Lugar desde el que se obtendrán imágenes en la Zona 3. c) Área a la que es accesible desde dicha zona 3 (Fuente: Google Maps).....	32

Figura 3-7 Guardiamarina Chereguini, la segunda de las 6 lanchas de instrucción de la Escuela Naval Militar (Fuente: Página Armada [17])	33
Figura 3-8 Ejemplo de una pequeña embarcación pesquera	33
Figura 3-9 a) Funcionamiento de un palangre de fondo. b) Foto real (Fuente: Greenpeace [44])...	34
Figura 3-10 Ejercicio de hombre al agua a bordo de la lancha de instrucción.....	34
Figura 3-11 Ubicación estación METEOGALICIA frente a la Escuela Naval Militar [46].....	35
Figura 3-12 Diagrama de flujo mostrando cómo funciona el código escrito para aplicar la Ecuación 5 y 6 en cada imagen.....	38
Figura 3-13 Script para la carga de las librerías necesarias para el cálculo del parámetro métrico .39	
Figura 3-14 Definición de las dimensiones del fondo de las imágenes a cargar, y asignación de los colores (RGB) a los trazos empleados a la hora de definir el recorte correspondiente en la imagen	39
Figura 3-15 Definición de la función iniciación de la clase que va a permitir realizar recortes en las imágenes.....	39
Figura 3-16 Definición de la función relacionada con el ratón, el cual permite almacenar cada esquina relacionado al polígono a dibujar, que será el recorte correspondiente a la imagen	40
Figura 3-17 Definición de la función que actúa como gestor de todo el procedimiento, apertura del fondo y carga de la imagen, asignación de los trazos según las esquinas obtenidas con la anterior función y obtención del recorte, cierre del fondo y salida de la función el propio recorte	40
Figura 3-18 Definición de la parte principal del script, llamando a la clase definida para obtener el valor del parámetro métrico establecido en cada imagen adquirida	41
Figura 4-1 Gráfica ratios correspondientes a la cámara visual.....	43
Figura 4-2 Gráfica ratios cámara infrarroja FLIR E85.....	45
Figura 4-3 Gráfica ratios cámara infrarroja FLIR One Edge	46
Figura 4-4 Gráfica comparativa entre las cámaras térmicas y la cámara visual	48
Figura 4-5 Imagen “P” tomada con (a) la cámara FLIR E85, (b) la cámara visual (b) y (c) la cámara FLIR One Edge	50
Figura 4-6 Imagen “O” tomada con (a) la cámara FLIR E85, (b) la cámara visual y (c) la cámara FLIR One Edge	51
Figura 4-7 Imagen “Z” tomada con (a) la cámara FLIR E85, (b) la cámara visual y (c) la cámara FLIR One Edge	52
Figura 4-8 Imagen “K” tomada con (a) la cámara FLIR E85, (b) la cámara visual (b) y (c) la cámara FLIR One Edge	53
Figura 4-9 Imagen “W” tomada con (a) la cámara FLIR E85, (b) la cámara visual (b) y (c) la cámara FLIR One Edge	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Especificaciones FLIR E85 (Fuente: Página Web FLIR [30])	27
Tabla 3-2 Especificaciones FLIR One Edge (Fuente: Página Web FLIR [30]).....	28
Tabla 3-3 Datos meteorológicos para los diferentes días (Fuente: METEOGALICIA)	36
Tabla 4-1 Resultados obtenidos mediante la cámara visual. Nota: PF significa Plataforma Fija, PM significa Plataforma Móvil.....	43
Tabla 4-2 Datos obtenidos mediante la cámara infrarroja FLIR E85. Nota: PF significa Plataforma Fija, PM significa Plataforma Móvil.....	44
Tabla 4-3 Datos obtenidos mediante la cámara infrarroja FLIR One Edge. Nota: PF significa Plataforma Fija, PM significa Plataforma Móvil	46
Tabla 4-4 Comparativa entre las cámaras térmicas y la cámara visual	47
Tabla 4-5 Comparativa prestación entre las cámaras térmicas y la cámara visual	49

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción y motivación

El entorno marino es uno de los más complejos y desafiantes de todo el planeta, debido principalmente a su variabilidad y a la cantidad de objetos y formas de vida que se encuentra en él, comprendiendo más del 90 % de los seres vivos [1]. Por ello, a lo largo de la historia, el ser humano ha ido buscando la manera de obtener la mayor cantidad de información posible acerca de dicho entorno y de todo lo que lo compone. En condiciones climáticas adversas es especialmente cuando al ser humano le interesa obtener la mayor cantidad de información, ya que, en dichas condiciones es más vulnerable debido a la menor visibilidad.

La localización de cualquier tipo de objeto o forma de vida no solo es vital para el conocimiento del entorno, sino que también tiene una gran importancia en dos aspectos específicos [2]:

1. El medio ambiente, centrandose en todos los objetos que arroja el ser humano al agua y que acaban flotando a la deriva, teniendo consecuencias negativas para dicho entorno.
2. La seguridad a la navegación. La mayoría de los accidentes en la mar a lo largo de los últimos años se deben a colisiones con objetos flotantes que inciden en los cascos de los buques u objetos capaces de enredarse en las hélices y dejar una embarcación sin gobierno y/o propulsión. Debido a la comodidad que ofrecen los nuevos equipos radar, GPS, etc., la mayoría de los navegantes tienden a prestar menor atención a lo que les rodea, teniendo consecuencias tales como las mencionadas anteriormente.

En el ambiente naval, específicamente, la localización de objetos en la superficie no solo tiene importancia en el aspecto de la seguridad en la navegación, sino que también tiene aplicaciones estratégicas, tales como la detección de objetos o incluso armamento enemigo puesto en un lugar con un fin táctico, tales como minas de superficies o boyas de pequeño tamaño con capacidad Jamming.

Ante esta problemática la termografía infrarroja se plantea como una posible solución. La termografía infrarroja es una técnica que emplea cámaras infrarrojas, también conocidas como cámaras termográficas o térmicas, de diferentes sub-bandas dentro del espectro infrarrojo para medir la radiación de un objeto, es decir, el calor que desprende. En función de la temperatura del objeto, la cámara elabora una imagen con diferentes colores para diferentes temperaturas, conocido como imagen térmica. Esto permite captar todo tipo de cuerpos sin importar factores tales como su tamaño o las condiciones climáticas presentes. Las cámaras termográficas han dado resultados positivos ante la detección y seguimiento de incendios forestales y actividades volcánicas, por tanto, se postulan como principal alternativa para reducir el riesgo en la mar en condiciones climáticas desfavorables [3].

1.2 Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo demostrar la utilidad de las cámaras termográficas en su uso como control de aparición y desaparición de objetos de interés en condiciones climáticas adversas en entornos marinos, con fines estratégicos y de seguridad en la navegación, ante la ausencia en el estado del arte de estudios profundos en estos tipos de trabajos. El lugar seleccionado es el entorno marino de la Escuela Naval Militar (ENM) sito en Marín, tanto controlado estáticamente como en plataformas móviles (multiplataforma, es decir, plataforma terrestre y móvil). Las imágenes térmicas adquiridas se compararán con las tomadas por cámaras convencionales para analizar sus ventajas mediante parámetros métricos, es decir, frente a cámaras con sensores sensibles al espectro visible. Adicionalmente, se empleará una cámara térmica de bajo coste (*low cost*) para aumentar el alcance del uso de la tecnología infrarroja, así como realizar una comparación exhaustiva con respecto a una cámara térmica de alta gama, realizando así un estudio de sus prestaciones y sus respectivas relaciones calidad-precio.

El uso de cámaras termográficas *low cost*, o de bajo coste, tiene una serie de aspectos positivos frente a las cámaras termográficas convencionales. En primer lugar, su mayor facilidad de uso, factor de gran importancia debido principalmente a que en la mar no se dispone de usuarios expertos de las cámaras, por lo que su uso debe ser fácil e intuitivo para el responsable de su utilización. Este aspecto hace que las cámaras termográficas de bajo coste adquieran un gran papel, ya que en su mayoría consisten en un sistema que se conecta a la cámara de los móviles y se emplea mediante una aplicación del móvil. En segundo lugar, otro de los factores a tener en cuenta es el presupuesto disponible para la adquisición de dichos sistemas. Aplicándolo específicamente en la Armada, la adquisición de cámaras térmicas *low cost* supondría un ahorro muy notable, ya que el coste de estos equipos podría ser del orden de 20 veces menor en comparación con uno de gama media-alta.

1.3 Estructura

La estructura seguida en los siguientes apartados que forman parte del presente trabajo se resume en estos puntos:

1. Estado del arte: en el que se introduce al lector progresivamente en el tema específico del trabajo, empezado por temas más generales y finalizando por aspectos más específicos del tema a tratar. Este apartado comienza con una explicación general sobre la seguridad a nivel global, pasando luego al papel específico de la Armada en la seguridad, mencionando en primer lugar las diferentes amenazas que se pueden encontrar en el entorno en el que se encuadra dicha institución, para finalmente concluir con las políticas que rigen las diferentes maneras que existen de llevar a cabo operaciones de seguridad marítima en la mar. Posteriormente, comienza la presentación y explicación específica de cada uno de los equipos con influencia en la seguridad marítima que se pueden encontrar a bordo de todo tipo de buque, así como una introducción de los equipos específicos que se emplearon en el transcurso del proyecto: la cámara térmica y la visual. Finalmente, se lleva a cabo una explicación detallada para introducir de lleno al lector en la ciencia en la que se basa el trabajo entero: la termografía infrarroja. En primer lugar, se presenta el fundamento teórico de los aspectos más relevantes a tener en cuenta para, posteriormente, continuar con una explicación más en detalle de los modos de trabajo y finalizar hablando de las diferentes aplicaciones e influencias que ha tenido esta técnica de adquisición de imágenes en diferentes trabajos anteriores al presente ubicados en la temática del TFG.
2. Desarrollo del TFG: una vez se ha introducido al lector en lo que son los principales temas que se tratan a lo largo del trabajo, se continúa con la introducción y explicación de los diferentes aspectos específicos del trabajo en sí, tanto equipos, como zonas de trabajo, condiciones climáticas en los días de estudio, objetos de interés de investigación y código desarrollado necesario para la obtención de los resultados. En primer lugar, se lleva a cabo una descripción detallada de las dos cámaras utilizadas en esta investigación: la FLIR E85,

y la alternativa *low cost*, la FLIR One Edge. Durante el transcurso de este apartado, se explican tanto las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos, sus peculiaridades, así como sus ventajas e inconvenientes, y una breve comparación entre ambos sistemas. Posteriormente, se lleva al lector a las diferentes zonas de trabajo, que se dividen en dos grandes grupos: la plataforma fija, ubicada en tierra, que se divide asimismo en 3 subzonas dentro del muelle Almirante Vierna de la Escuela Naval Militar; y la plataforma móvil. En tercer lugar, se presentan al lector las condiciones meteorológicas existentes los días en los que se tomaron las imágenes que posteriormente fueron investigadas, para luego proseguir con los objetos de interés que se pueden encontrar en el entorno marino de la Ría de Pontevedra. Finalmente, se da una explicación detallada del código empleado para crear el ejecutable que permite editar las imágenes y con ello obtener los ratios mediante los que se obtienen los resultados del trabajo.

3. Resultados: la razón de ser del trabajo. En este punto, se introducen los diferentes ratios obtenidos mediante el ejecutable mencionado con anterioridad de las imágenes tomadas con las diferentes cámaras, así como las zonas desde las que se tomaron, el día y las condiciones meteorológicas. Finalmente, se lleva a cabo una comparación de todos los escenarios posibles, ya sea comparando ambas cámaras térmicas o cada una de las cámaras térmicas con la visual, para finalizar con una discusión sobre los resultados obtenidos. Todos los datos obtenidos se muestran tanto de manera escrita como de manera visual, mediante diferentes gráficas, para darle al lector una visión más clara de todos los resultados y poder resaltar datos determinados que luego son mencionados en la discusión.
4. Conclusiones: Para cerrar el presente trabajo, se llevan a cabo unas breves conclusiones acerca del transcurso del proyecto, y se tratan temas tales como el grado de obtención de resultados, así como su fiabilidad, si se han cumplido los objetivos establecidos al inicio del TFG, y posibles líneas futuras para ampliar y mejorar el presente TFG.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Papel de la seguridad a nivel global

A lo largo del último siglo, el ser humano ha experimentado una evolución sin precedentes debido a una gran cantidad de cambios y nuevos desarrollos en un corto espacio de tiempo. La mejora de las vías de comunicación y de los medios de transporte, el desarrollo exponencial de las telecomunicaciones terrestres, satelitales y de la digitalización, la aparición de las redes sociales y de la telefonía móvil, ha encogido el planeta en un breve espacio de tiempo.

Como tal, la seguridad no solo requiere la presencia de un conflicto armado o el mantenimiento de la ley en el interior de cada país, la seguridad trata también la necesidad de tomar medidas preventivas para disminuir la vulnerabilidad y reducir al mínimo los riesgos para los derechos, la seguridad y la vida de la gente [4].

Para ello, es necesario enfocar el concepto de seguridad a un nivel global, requiriendo por tanto la cooperación de todos los países, con el fin de desarrollar actividades que puedan asegurar la consecución eficiente de la seguridad. En la actualidad, los factores que atentan en contra de la seguridad de un Estado o del ser humano en sí han experimentado un notable desarrollo, destacando en la actualidad por su asimetría, transversalidad, y por su carácter transnacional en su mayoría. El terrorismo internacional, el tráfico ilícito de armas, drogas o personas a nivel internacional o la sobreexplotación de los recursos naturales, son factores que demuestran la importancia de establecer el concepto de seguridad global. A ello se le suma la adición de un quinto espacio en el que realizar dichos factores. Además de los espacios aéreo, marítimo, terrestre y espacial, se debe tener también en consideración el ciberespacio, proveniente del mundo digital. Los ciberataques en dicho espacio han tomado un papel principal en la realización de actividades ilegales, teniendo como principal consecuencia la implicación de los Estados en la seguridad de este. Prueba de ello, es la creación del concepto ciberseguridad, implementada ya en la mayoría de los países e incluido en sus estrategias de seguridad nacionales (véase Figura 2-1).

No obstante, es en el espacio marítimo en el que se sigue realizando la gran mayoría de actividades ilícitas y en el que se ha experimentado el mayor desarrollo, tanto por actores como por defensores. La facilidad para enmascarar toda actividad mencionada anteriormente, junto al factor de que, en aguas internacionales no es aplicable ninguna ley de ningún país, hacen de dicho entorno el más vulnerable, el cual requiere una especial atención. No hay que dejar de lado datos como que más del 80% de los países del mundo tienen conexión con costa, además de que más del 90% del comercio mundial se lleva a cabo en la mar [5].

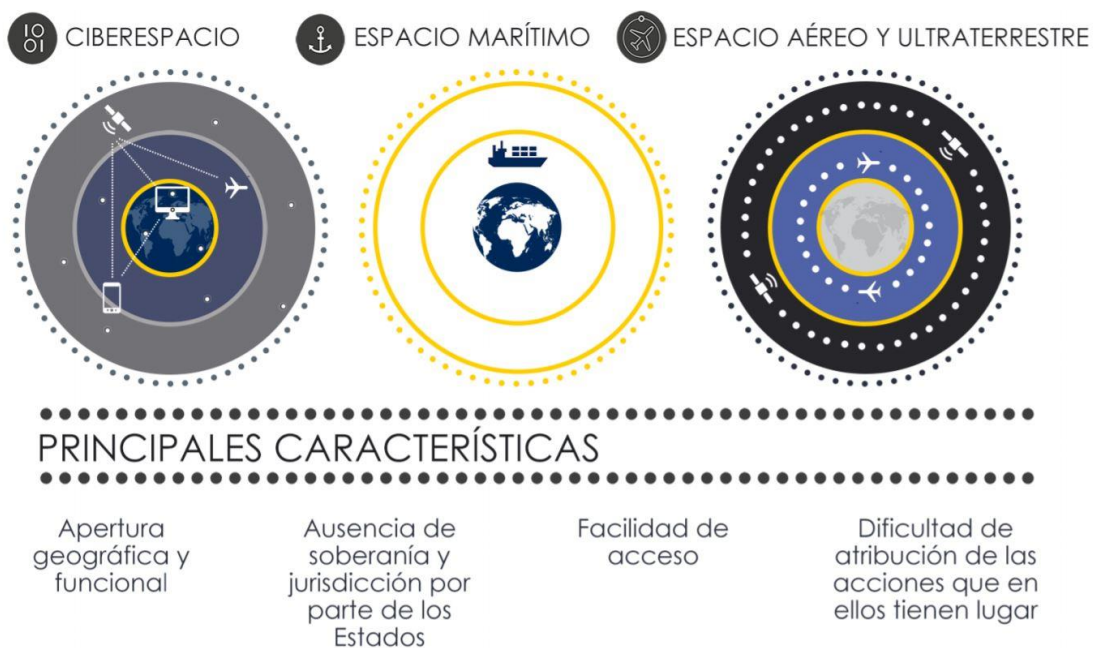


Figura 2-1 Principales amenazas en el ámbito global (Fuente: Departamento de Seguridad Nacional [6])

2.2 Seguridad en la Armada

2.2.1 Riesgos y amenazas en entornos marítimos

El concepto de seguridad marítima tiene como principal objetivo compaginar la libertad de la navegación con la seguridad en la mar, asegurar el cumplimiento del orden legal, y finalmente proteger a todo ciudadano en alta mar, así como salvaguardar los intereses nacionales e internacionales. Es vital que, para la consecución de estos objetivos, se coordine todo tipo de actividades, tanto civiles como militares, correctamente, con el fin de prevenir y eliminar todo tipo de amenaza posible en este entorno.

Como tal, existen numerosos tipos de amenazas, dependiendo del fin de la amenaza y de los métodos empleados para la consecución de esta. Estos se pueden dividir en los siguientes [7]:

1. **Piratería.** La piratería es una de las mayores amenazas en la mar en la actualidad. Esta se basa en el asalto armado de embarcaciones tanto pesqueras, como mercantes y comerciales, con el fin de, o robar los suministros de los que disponga la embarcación, o secuestrarla con el objetivo de obtener una recompensa a cambio de la liberación de dicha embarcación y su tripulación. Los principales escenarios donde se desarrolla dicha actividad son: el Océano Índico, Indonesia, los estrechos de Singapur, Malaca, en el sur de China, el Mar Rojo y zonas de Sudamérica tales como Venezuela y República Dominicana. A pesar de que en zonas tales como el Océano Índico, en el que desde 2011 está operativa la Operación Atalanta de la Unión Europea, la piratería haya disminuido notablemente (en 2022 se redujeron un 13% los casos de piratería), en otras zonas no hace más que aumentar, así como experimentar desarrollos importantes en cuanto a métodos y materiales empleados [8]. El principal inconveniente que tiene la lucha contra la piratería son las banderas de conveniencia. Muchas embarcaciones, en especial los mercantes y pesqueros, enarbolan banderas de países en las que pueden disfrutar de tasas de registro económicas, impuestos bajos y la capacidad de contratar mano de obra barata. El problema se da cuando dicha embarcación es asaltada y secuestrada por piratas. Los buques militares encargados de la lucha contra la piratería no pueden realizar abordajes a embarcaciones que no pertenezcan a su país, salvo que exista riesgo real y claro hacia los rehenes. Esto hace de dicha actividad un ejercicio complejo para los buques militares encargados de la seguridad de las diferentes embarcaciones más vulnerables. En la Figura 2-2 se muestra datos de los ataques piratas registrados en el primer

semestre del año 2023, lo que da una idea de la importancia que tiene la piratería y su necesidad de combatirla.

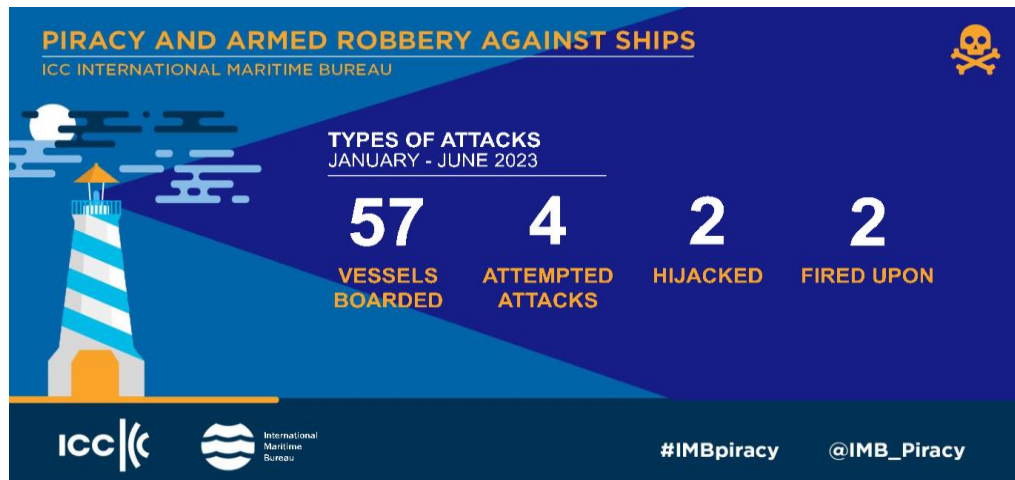


Figura 2-2 Ataques piratas en el primer semestre del año 2023 (Fuente: Safety for Sea [9])

- Tráfico ilegal de contrabando y personas.** Otra amenaza relevante y con aún una gran influencia en la actualidad es el tráfico ilegal de contrabando y personas. Dada la dificultad para realizar registros en buques en alta mar, y la ya mencionada anteriormente ausencia de leyes en aguas internacionales, hace de dicha actividad un gran atractivo para organizaciones de diferentes países, que introducen armamento, drogas, o personas en buques de diferentes índoles, ya sean pesqueros o cargueros, con el fin de transportarlas a otros países, fomentando así con gran facilidad el comercio ilegal. En la Figura 2-3 se muestra las diferentes rutas ilegales de inmigración que existen en todo el mundo, mostrando así la magnitud de la dificultad para gestionar dicha amenaza.

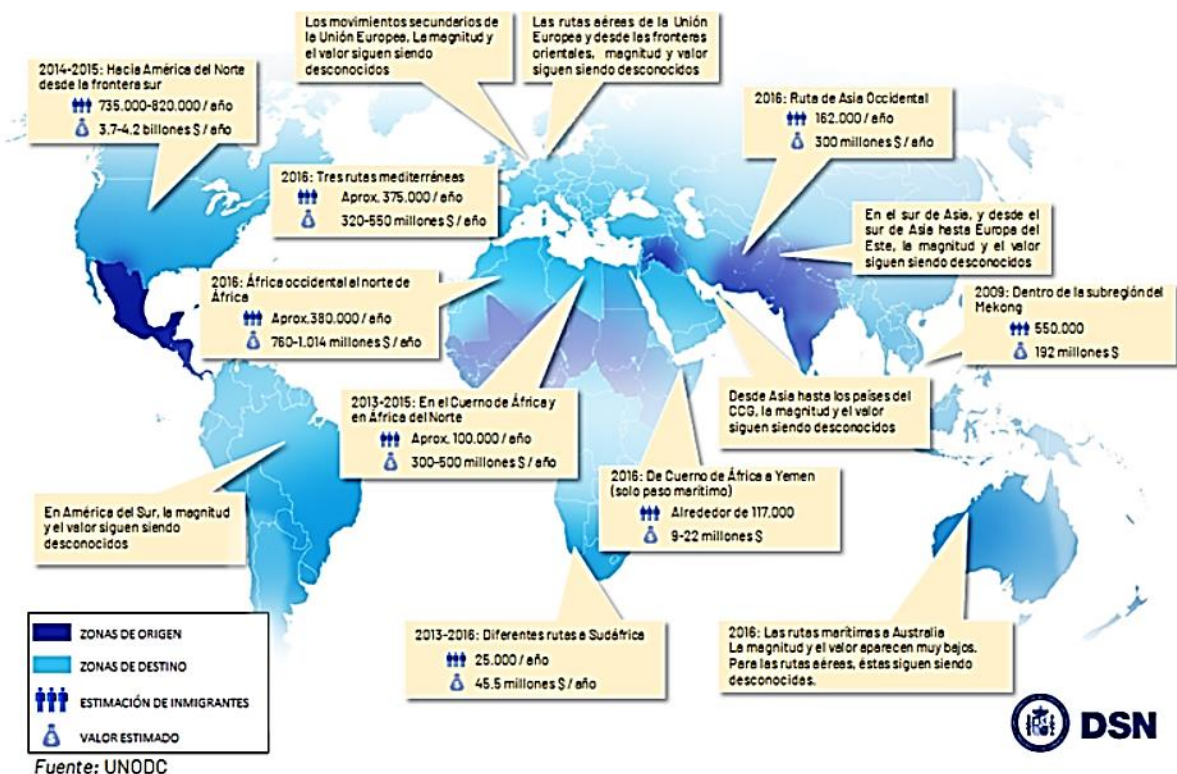


Figura 2-3 Principales rutas de inmigración ilegal (Fuente: Departamento de Seguridad Nacional [10])

3. **Terrorismo.** En el entorno marítimo se lleva a cabo también numerosos atentados terroristas. La diferencia de esta actividad con respecto a la piratería es el objetivo principal, siendo en el caso de la piratería económico y en el del terrorismo político. Tales son casos como ataques de Al-Qaeda a diferentes embarcaciones, no solo comerciales sino también militares, como es el caso del intento de colisión de una embarcación cargada de explosivos contra el USS Cole en Yemen mientras el barco estaba reabasteciéndose (véase Figura 2-4) [11].



Figura 2-4 Resultado del ataque terrorista al destructor de la US Navy, el USS Cole (Fuente: BBC [12])

2.2.2 Políticas sobre seguridad nacional y marítima

Dada su situación geográfica, España tiene un importante papel en el sector marítimo a nivel internacional. Se trata de un país mayoritariamente costero que cuenta con 8000 kilómetros de costa [13]. Consecuentemente una de las mayores fuentes de ingreso se encuentra en el sector pesquero, siendo un país referente a nivel internacional en dicho sector (la pesca representa un 1% del PIB español [14]). Asimismo, cabe destacar la importancia del Estrecho de Gibraltar, regulado por el país, y que tiene una gran relevancia en aspectos estratégicos y económicos. Este conecta el Mar Mediterráneo con el Océano Atlántico y es lugar por el que más de un 10% del tráfico internacional transita anualmente [15].

Son numerosos los textos que hacen referencia a la seguridad nacional y marítima, ya en el año 2011, con la creación del primer documento relativo al campo de la seguridad, la Estrategia Española de Seguridad (EES), se contemplaba la importancia de la consecución de la seguridad en el sector marítimo, dada la influencia económica que tenía dicho entorno en el país. Posteriormente, con la creación de la Estrategia de Seguridad Nacional (ESN) en 2013, la vulnerabilidad del espacio marítimo aparecía como una de las principales amenazas nacionales, siendo clasificada como “ámbito prioritario de actuación”. Como consecuencia de este documento, se creó la Estrategia de Seguridad Marítima Nacional (ESMN), que establecía los riesgos y amenazas posibles en el entorno marítimo. Finalmente, ese mismo año, se creó el Consejo Nacional de Seguridad Marítima (CNSM), encargado de regular y de asegurar el cumplimiento de la ESMN. Posteriormente, en el año 2015, con la publicación de la Ley de Seguridad Nacional, entre los principales ámbitos necesarios para asegurar la protección del bienestar de los ciudadanos, se encontraba como principal aspecto la Seguridad Marítima [16].

Más tarde, en 2017, con la publicación de la nueva ESN, se mantuvieron dentro del marco de la seguridad marítima las mismas líneas de acción establecidas en la ESN de 2013, entre las que se encuentran la eficiencia, el fomento de la colaboración internacional y del sector privado, el enfoque integral y la mejora de la ciberseguridad. Posteriormente, en 2018, el CNSM publica una nueva

regulación, en la que se establecía al jefe de Estado Mayor de la Defensa (JEMAD) como presidente del consejo. En 2021, debido a la pandemia del COVID-19, la aparición de nuevas amenazas híbridas y el contexto internacional, el Estado se ve en la obligación de publicar con antelación una nueva ESN (véase Figura 2-5) [17].



Figura 2-5 Riesgos y amenazas a la seguridad marítima nacional (Fuente: Estrategia de Seguridad Marítima Nacional [17])

2.2.3 Papel de la Armada

Según la Ley Orgánica 5/2005 de la Defensa Nacional, se establece la vigilancia marítima y su seguridad como competencia de las Fuerzas Armadas permanentemente en tiempos de paz. Toda actividad de esta índole será llevada a cabo por la Armada, ya sean de tipo jurisdiccional o de soberanía, tanto en aguas nacionales, alta mar y otros espacios de interés, con el fin de asegurar que prevalezca la normalidad y evitar posibles crisis [18].

Como consecuencia de la Ley Orgánica mencionada anteriormente, se crea la Fuerza de Acción Marítima (FAM), a la que se asigna la tarea de asegurar la seguridad marítima (SEGMAR), apoyando a autoridades civiles, cooperación pesquera, auxilio en catástrofes y Seguridad Cooperativa. Como objetivo secundario, se encuentran actividades tales como la contribución en misiones de disuasión, defensa en aguas de interés nacional y Proyección Exterior. El mando orgánico recae sobre el Almirante de Acción Marítima (ALMART). La FAM está encargada asimismo de elaborar el “Conocimiento del entorno marítimo”, cuyo objetivo es la gestión de toda la información relativa al entorno marítimo. Esta tarea recae sobre el Centro de Operaciones y Vigilancia de Acción Marítima (COVAM), que recaba información a través de las Operaciones de Seguridad Marítima (MSO). La FAM, por tanto, se postula como referente en cuanto a Seguridad Marítima a nivel nacional, y es una de las organizaciones con mayor influencia en CNSM, promoviendo la correcta elaboración de la ESMN (véase Figura 2-6).



Figura 2-6 BAM Meteoro, el primero de la clase de los 6 buques encargados de la seguridad marítima de interés nacional (Fuente: Armada [19])

Asimismo, sobre el ALMART recae el mando de Mando Operativo Marítimo (MOM), encargado de planear, conducir y realizar un seguimiento de toda operación relacionada con la Seguridad Marítima. Por otro lado, coordinará paralelamente las relaciones con las diferentes autoridades civiles con influencia en las operaciones mencionadas con anterioridad.

El MOM, dependiente del Mando de Operaciones (MOPS), tiene a su disposición diferentes unidades en función del tipo de operación a llevar a cabo. Entre ellas se destacan la Fuerza de Medidas Contra Minas (FMCM), los patrulleros de altura, los Buques de Acción Marítima (BAM), las diferentes unidades de buceo y de desactivación de explosivos y diferentes equipos operativos tanto de infantería de marina como de la Fuerza de Guerra Naval Militar [20].

2.3 Equipos utilizados en seguridad marítima

En la actualidad existen numerosos equipos que son utilizados para garantizar la seguridad marítima en los mares y océanos. Entre ellos, las tecnologías más utilizadas son las siguientes descritas en los siguientes apartados.

2.3.1 Radar

El radar es un equipo prácticamente indispensable en la navegación actual. Su nombre viene de la abreviación de *Radio Detection And Ranging*. El objetivo de este dispositivo es la detección de objetos, así como la determinación de su posición mediante la medición de direcciones o distancias, aprovechando las propiedades de las ondas electromagnéticas, concretamente las ondas de radio [21].

Su funcionamiento es simple. El equipo emite una señal en forma de onda electromagnética a través del entorno. La onda avanza hasta que choca con un objeto, momento en el que es devuelta al radar originador, que obtiene mediante dicha onda la información del crudo detectado, ya sea rumbo, velocidad o posición en el caso de los radares de navegación (véase Figura 2-7). El primer equipo radar de navegación data de principios del siglo XX, el denominado sistema anticolidión de buques, cuyo funcionamiento ya se basaba en las ondas electromagnéticas [22].

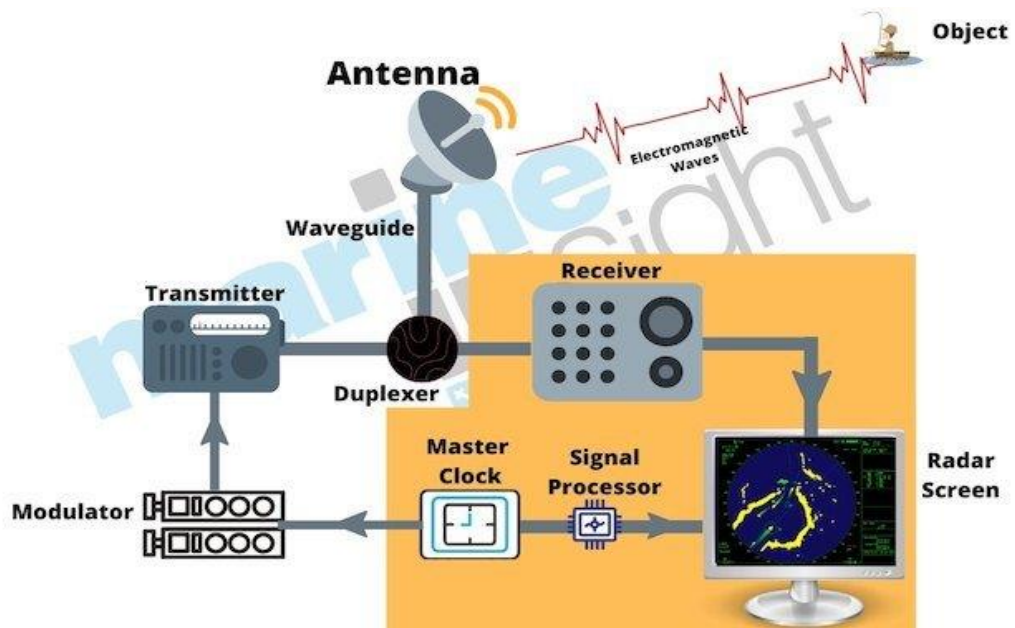


Figura 2-7 Funcionamiento de un radar de navegación (Fuente: Marine Insight [23])

Como se menciona anteriormente, se trata de un equipo vital en un buque, especialmente en condiciones climáticas adversas, en las que el método visual pierde eficiencia y la localización de objetos se reduce únicamente al uso de este sistema. El radar, asimismo, le ofrece a la embarcación más margen de error y tiempo de decisión debido a su detección temprana.

El equipo se puede clasificar siguiendo diferentes criterios, ya sea según su función (exploración aérea o de superficie), su objetivo principal (detección de objetos, posicionamiento, medida de velocidades, etc.), su número de antenas, la frecuencia de trabajo o su modo de funcionamiento, ya sean de onda continua, pulsada, o una tecnología de reciente descubrimiento, el FMCW, que mezcla ambos modos de onda continua y pulsada.

2.3.2 Sistema de identificación de buques AIS

El sistema AIS (*Automatic Identification System*), es un equipo introducido a finales del siglo XX que es capaz de transmitir y recibir información esencial de otros buques (posición, velocidad, rumbo) mediante una antena de Radio/GPS [24]. Su funcionamiento se muestra en la Figura 2-8.

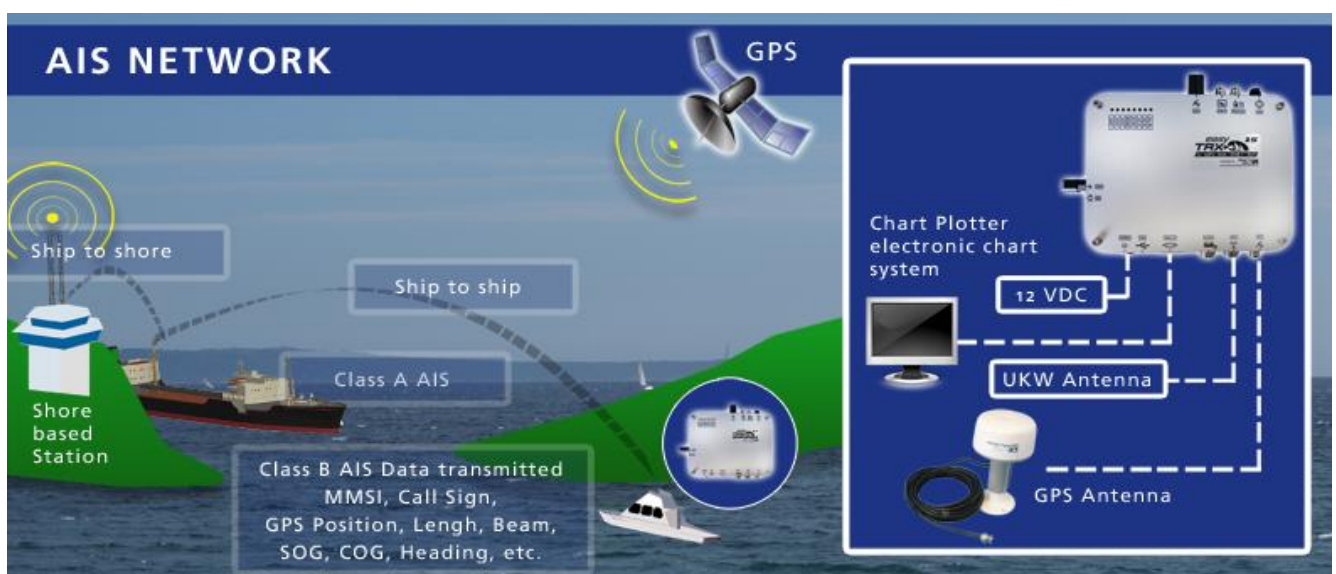


Figura 2-8 Funcionamiento del sistema AIS (Fuente: Weather Dock [25])

No obstante, este sistema tiene varios inconvenientes con respecto a los equipos radar. En primer lugar, el AIS no es obligatorio para todas las embarcaciones, ya que, según el convenio SOLAS que regula el uso del sistema, éste es únicamente obligatorio para buques con desplazamiento mayor a 500GT, 300GT en caso de buques que se encuentren realizando un viaje internacional, y para todo buque de pasajeros sin excepción [26]. Por tanto, existen numerosas embarcaciones, especialmente las de menor tamaño y consecuentemente más vulnerables, que no tienen por qué disponer de dicho equipo. Por otro lado, se trata de un sistema que funciona mediante GPS, método de posicionamiento que tiene un error mayor al del radar. Consecuentemente, la información proporcionada por el sistema pierde fiabilidad con respecto al Radar debido a sus ligeras desviaciones.

2.3.3 Global Maritime Distress Safety System (GMDSS)

El Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima (GMDSS) consiste en una serie de equipos y procedimientos de comunicación general diseñados para recibir señales de socorro de buques en peligro. Este sistema se compone de diferentes equipos, tales como: baliza de indicación de posición en situación de emergencia (EPIRB-RLS), baliza encargada de mandar una señal GPS cuando entre en contacto con el agua en caso de hundimiento; el NAVTEX, encargado de elaborar y distribuir avisos de seguridad marítima y otro tipo de información relevante para los buques; INMARSAT, una red de comunicaciones de voz buque-buque o buque-tierra mediante satélite para coordinar rescates; las radios HF (*High Frequency*) con frecuencias de entre 3 y 30 MHz, donde se destacan las llamadas selectivas digitales (DSC) como alternativa para recibir avisos y llamadas de socorro; y finalmente los Transpondedores SAR (SART), empleados para la búsqueda de balsas de rescate tras el hundimiento del buque. Funcionan mediante frecuencias radar o también con ayuda del AIS (véase Figura 2-9) [27].

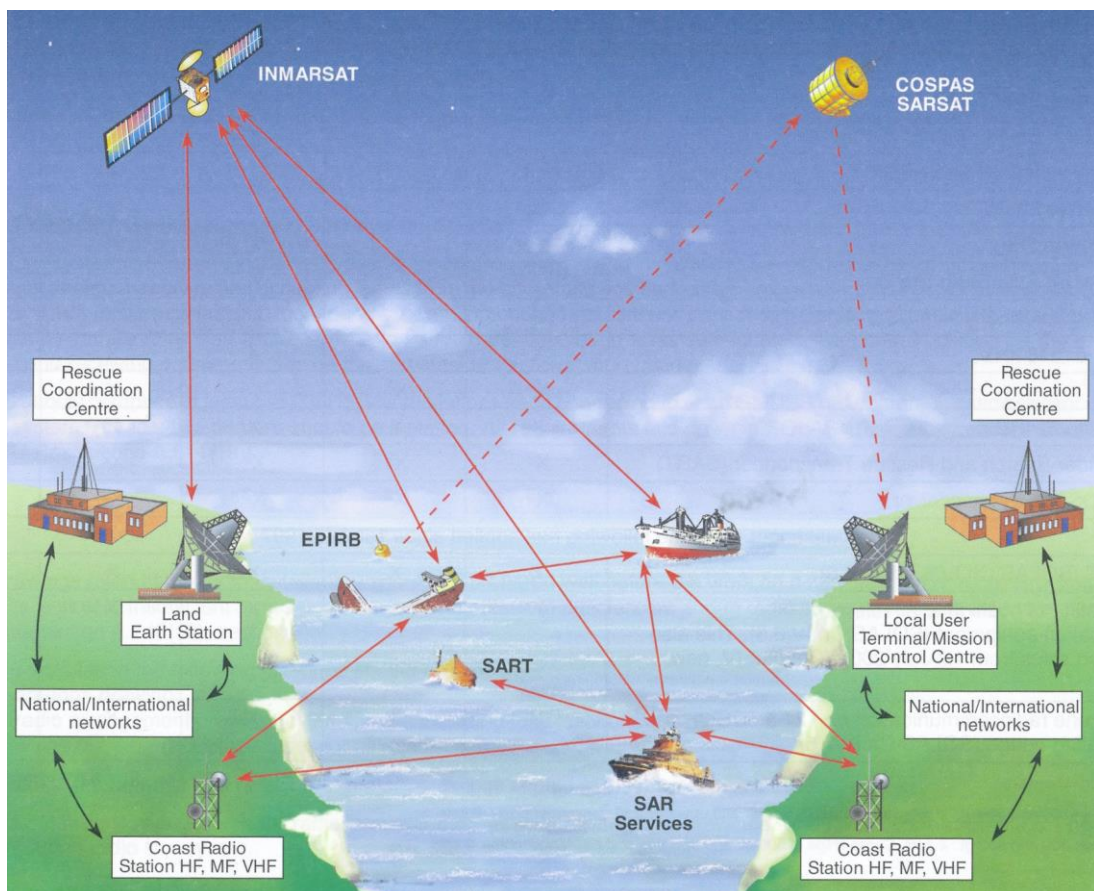


Figura 2-9 Funcionamiento del sistema GMDSS (Fuente: ICS Electronics [28])

2.3.4 Cámaras

2.3.4.1 Convencionales (espectro visible)

Las cámaras del espectro visible incluyen a aquellos dispositivos que capturan imágenes del mundo real en el espectro visible, es decir, el mismo en el que se encuentra el sensor del ojo humano. Son de gran uso a nivel cotidiano y mundial, ya que, debido a que la imagen capturada es de la misma forma en el que el ser humano visionaría, es de fácil y rápida interpretación para el mismo (véase Figura 2-10).

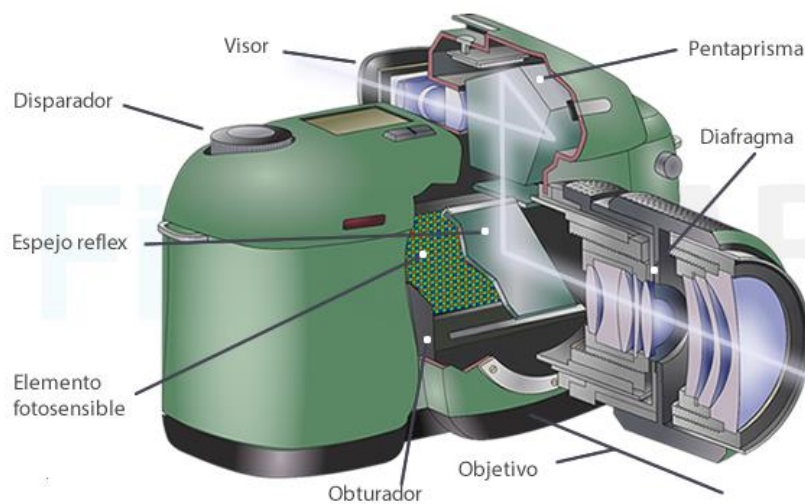


Figura 2-10 Esquema cámara convencional (Fuente: Fisicalab [29])

Las cámaras convencionales presentan, con respecto a las cámaras termográficas, la principal ventaja de su calidad a la hora de visualizar las imágenes debido a una mayor nitidez, resolución y definición espacial. Esto se debe a que dichas cámaras incorporan una mayor cantidad de sensores de detección y, asimismo, la generación de las imágenes visibles se debe a la radiación reflejada, que genera un contraste más nítido dentro de las figuras de la imagen, definiendo claramente los límites, así como las diferencias de intensidad. Por otro lado, la generación de las imágenes térmicas se debe a la radiación emitida, cuya consecuencia principal es la ausencia de los límites de intensidad mediante líneas, únicamente mediante gradientes de temperaturas [30].

2.3.4.2 Térmicas

Las cámaras térmicas son dispositivos cuyas imágenes permiten la visualización del calor emitido por un cuerpo. Mediante estas cámaras se permite la obtención de un mayor contenido de información de un determinado objeto con respecto al ojo humano o a una cámara convencional, ya que el calor de dicho objeto es absorbido por los fluidos y la lente de la cámara. Por tanto, presentan como principal ventaja con respecto a las cámaras del espectro visible el factor de que permiten ver objetos sin importar las condiciones de iluminación y, en función de la calidad de la cámara, sin importar las condiciones del ambiente (meteorología).

Estos equipos han sido diseñados con únicamente un tipo de sensor, que trabaja dentro de una banda específica del espectro electromagnético, que es la banda infrarroja. El resultado, es decir, el calor que desprende el objeto señalado por la cámara es representado mediante una paleta de colores en función a su intensidad, siendo, en la mayoría de los casos, blancos aquellos objetos con la mayor temperatura, rojos y amarillos los de media temperatura y verdes y azules los de menor temperatura (véase Figura 2-11) [31].



Figura 2-11 Cámara térmica FLIR E85 (Fuente: Página oficial FLIR [32])

Las cámaras térmicas tienen numerosas aplicaciones en diferentes sectores:

1. **Aplicaciones industriales:** fugas de calor en edificios, eficiencia térmica, inspección de motores o sistemas eléctricos.
2. **Seguridad marítima y vigilancia:** búsqueda y rescate (SAR), hombre al agua, prevención de colisiones en la mar, especialmente en condiciones de baja visibilidad.
3. **Aplicaciones medioambientales:** prevención de incendios forestales, inspección de contaminación en diferentes ambientes.
4. **Aplicaciones militares y seguridad:** cámaras de visión nocturna, detección de minas de superficie, en la guerra electrónica, ya que captan emisiones EW (*Electronic Warfare*) mediante el calor que desprenden.
5. **Aplicaciones médicas:** detección de lesiones, fiebres, anomalías en la presión sanguínea.

De entre los diferentes equipos y tecnologías citadas, las cámaras térmicas son unas de las que presentan un mayor potencial de aplicación en diferentes ámbitos. Es por ello por lo que el presente trabajo se ha centrado en el uso de cámaras termográficas para la detección de objetos en entornos marinos, especialmente en aquellos escenarios en los que el resto de equipo pierden fiabilidad, como es en el caso de las condiciones climáticas adversas.

2.4 Termografía infrarroja

2.4.1 Fundamento

La termografía infrarroja se basa en captar la intensidad de radiación dentro de la banda infrarroja emitida por los diferentes cuerpos. Esta radiación, no detectable por el ojo humano, es captada por la cámara infrarroja y convertida en una imagen visible. Esta imagen visible es obtenida en función de la temperatura superficial de los objetos captados. Es decir, la termografía infrarroja brinda la oportunidad de poder visualizar la distribución térmica de un objeto sin necesidad de entrar en contacto con él.

2.4.1.1 Teoría

La medición de calor por parte de la termografía infrarroja es la obtención del valor de temperatura representado en cada píxel de una imagen térmica obtenida, o varias si hablamos de un vídeo térmico.

Dicho valor de temperatura puede ser almacenado en magnitudes físicas (ejemplo, en °C), o más comúnmente en cámaras térmicas de baja gama en valores RGB, lo cual se pierde parte de la información adquirida. Para obtener una medida precisa de la temperatura que muestra el sensor de la cámara de un objeto de interés, es necesario una fórmula que tenga en cuenta parámetros tales como la temperatura de la atmósfera (T_{atm}), la humedad relativa (RH_{atm}), la distancia entre la cámara y el objeto a medir (d), la emisividad de la superficie del objeto medido (ϵ) y la temperatura reflejada por el entorno que rodea al objeto que se desea medir (T_{refl}); para obtener dicha magnitud a partir de la radiación irradiada por dicho objeto. La radiación del objeto medida sigue una medida basada en la recolección de la energía conjunta de cada uno de los fotones que componen el objeto a medir de acuerdo con la ecuación de Planck-Einstein (Ecuación 1) [33] :

$$e = h \cdot v = (h \cdot c) / \Lambda \tag{Ecuación 1}$$

donde e es la energía del fotón (J), $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ (J · s) es la constante de Planck, v es la frecuencia del fotón (1/s), c es la velocidad de la luz en el vacío y Λ es la longitud de la onda del fotón. Los valores de la frecuencia y la longitud de onda de un fotón vienen dados dentro del espectro electromagnético, que se divide asimismo según la longitud de onda. Estas divisiones se denominan bandas espectrales, y toman los valores según la siguiente Figura 2-12 [34]:

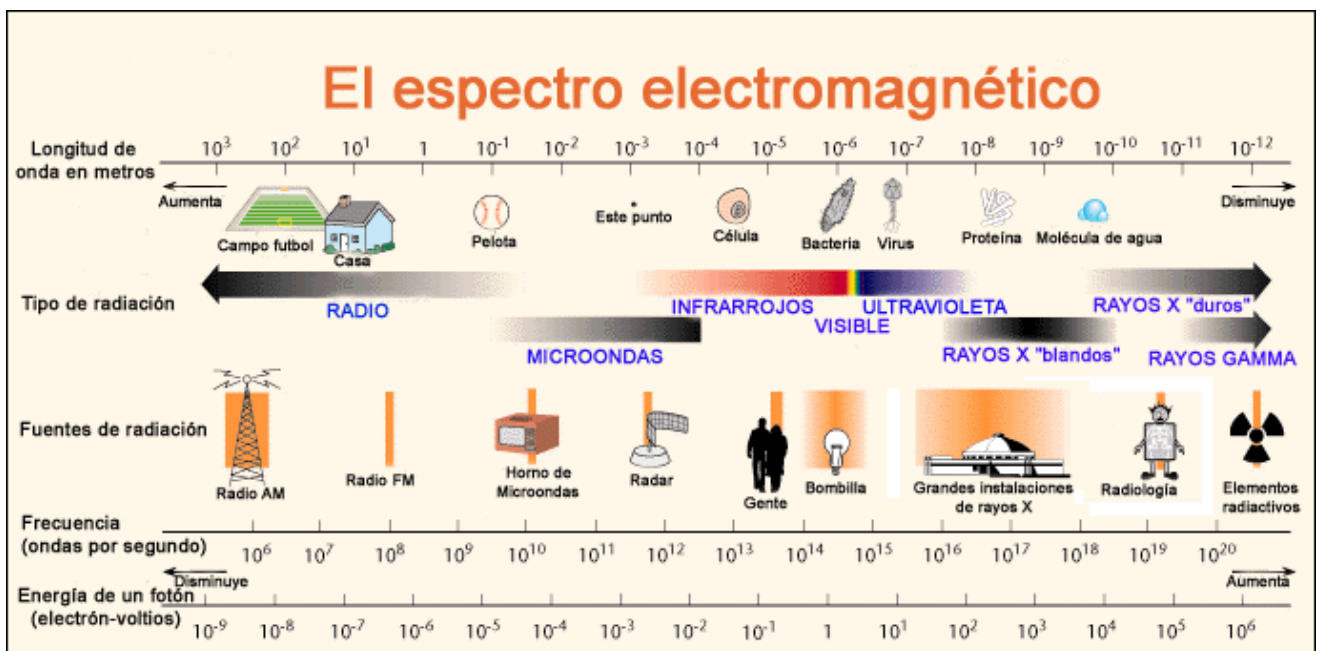


Figura 2-12 Espectro electromagnético en detalle

Por otro lado, la radiación emitida por un objeto depende de su estado térmico, es decir, por su valor de temperatura. Dicha temperatura viene del movimiento entre los átomos y moléculas del cuerpo con una mayor o menor vibración. La expresión matemática que convierte la radiación en valores de temperatura de un objeto sigue la ley de Stefan-Boltzmann, cuya fórmula aparece expresada en la Ecuación 2 [35]. Cabe destacar que la radiación de interés es solamente la comprendida dentro de la banda infrarroja, ya que la correlación entre la radiación emitida y la temperatura correspondiente de un cuerpo alcanza el máximo en esa banda, de ahí que las cámaras térmicas sean sensibles solamente en esa franja espectral ya que es más fácil la medición. Incluso, en condiciones ambientales, las cámaras solamente son sensibles a la sub-banda infrarroja térmica (rango de longitud de onda 7-14 μ m). Esta radiación, por tanto, es conocida como radiación térmica o infrarroja [36].

$$E_b = \sigma \cdot T_b^4 \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde E_b es la radiación total emitida por un cuerpo negro por unidad área ($\frac{W}{m^2}$) (sea por ejemplo en la sub-banda infrarroja térmica), $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ es la constante de Stefan-Boltzmann ($\frac{W}{m^2 K^4}$) y T_b es la temperatura absoluta de la superficie del cuerpo negro (K). Un cuerpo negro está definido como un cuerpo ideal, que emite toda la radiación interna acorde a su estado térmico. No obstante, los cuerpos ideales no existen como tal, sino que tienen que ser contruidos de forma artificial [37]. Por tanto, no existe ningún cuerpo real que tenga la capacidad de emitir toda la radiación contenida, denominado como cuerpo gris. Como consecuencia a esto, la emisividad (ε) se define como la relación entre la radiación térmica emitida por un cuerpo real o cuerpo gris y la emitida por un cuerpo negro en la misma temperatura [38]. Así, la fórmula que sigue la ley de Stefan-Boltzmann para cuerpos grises se adapta de la siguiente manera (Ecuación 3):

$$E_b = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_g^4 \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde la emisividad va en los rangos desde 0,1 hasta 0,99 [36], y E_b ($\frac{W}{m^2}$) y T_g (K) son la radiación térmica emitida por un cuerpo gris y su temperatura, respectivamente. Por tanto, la radiación térmica restante recibida por la cámara térmica viene de la radiación térmica reflejada ($1-\varepsilon$), siendo la fracción térmica recibida por el cuerpo gris pero redireccionada después de chocar con el cuerpo. Entonces, la ecuación de la radiación total medida por la cámara ($\frac{W}{m^2}$) se formula de la siguiente manera (Ecuación 4):

$$W_{tot} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T \cdot T_{obj}^4 + (1 - \varepsilon) \cdot \sigma \cdot T \cdot T_{refl}^4 + (1 - T) \cdot \sigma \cdot T_{atm}^4 \quad (\text{Ecuación 4})$$

donde T es la transmitancia atmosférica, T_{refl} es la temperatura reflejada, que representa la temperatura del entorno al cuerpo en cuestión (K), y T_{obj} (K) y T_{atm} (K) son las temperaturas del cuerpo, y de la atmósfera, respectivamente [14]. Existe una cierta absorción de la capa de aire entre la cámara térmica y el objeto ($1 - T$), por ello hay que tenerlo también en cuenta, hallando previamente T_{atm} , RH_{atm} , d . De ahí lo comentado de los parámetros citados al inicio del apartado para tener valores de temperatura precisos, en caso contrario se denominarían temperaturas aparentes. Por lo general, esos parámetros obtenidos a pie de campo se introducen en la configuración de la cámara térmica, y ella internamente aplica la Ecuación 4 [39].

2.4.1.2 Modos de trabajo

Dependiendo del tipo de estudio a realizar, existen cuatro diferentes maneras de llevar a cabo la investigación de la radiación térmica de un cuerpo determinado. Estas dependen de dos factores: la presencia o ausencia de una fuente externa de excitación térmica (activo o pasivo, respectivamente); y el propósito de la investigación (cualitativo o cuantitativo) [39]:

1. **Activo o pasivo:** Se denomina estudio pasivo de un cuerpo a aquel en el que existe una fuente de excitación natural térmica al cuerpo, tal como la luz solar. En los ensayos pasivos, se mide la temperatura natural del objeto, y por tanto su comportamiento termo físico real. Esto se debe a que la medición se realiza en condiciones ambientales, es decir, el cuerpo no se ve excitado térmicamente por una fuente artificial. Si el ensayo realizado se ve afectado por una fuente artificial de calor, este ensayo se catalogará como activo, sea por ejemplo lámparas halógenas. Los estudios activos no se centran en el comportamiento termo físico

real del objeto, sino más bien en los posibles defectos de su composición interna, dado que la transmitancia térmica aplicada por la luz solar no es lo suficientemente intensa para poder visualizar huellas térmicas de defectos internos en la superficie de dicho objeto.

2. **Cuantitativo o cualitativo:** Se conoce como estudio cualitativo termográfico a aquel en el que el objetivo del ensayo es medir la distribución de temperatura en un cuerpo mediante la obtención de los valores relativos de cada uno de los píxeles de la imagen del cuerpo. Este tipo de investigación se lleva a cabo en casos en los que se desea detectar la existencia de patologías térmicas, o diferenciar cuerpos entre sí, siendo suficiente trabajar con temperaturas aparentes. Por otro lado, si el objetivo del estudio es obtener valores de temperatura precisos, se llevará a cabo un estudio cuantitativo. Para ello será necesario obtener los parámetros comentados en el apartado previo (en cualitativo, se dejaría en valores estándar para cada parámetro sin tener en cuenta la escena real, desvirtuando así lo mínimo posible). Este estudio se lleva a cabo en casos en los que sea necesario clasificar las posibles patologías en el cuerpo a investigar según su severidad, así como calcular las propiedades termo físicas de las anomalías detectadas o del cuerpo en sí.

2.4.2 Aplicación

La termografía tiene numerosas aplicaciones en aquellos entornos en los que las condiciones dificulten la actividad a realizar. Entre ellas se destacan las mencionadas a continuación:

1. **Seguimiento del estado estructural de infraestructuras, equipos y componentes:** La termografía infrarroja puede ser empleada en la prevención de distribuciones anormales de temperatura en diferentes tipologías de estructuras y también en equipos o componentes empleados en procesos industriales, pudiendo detectar fallos como conexiones eléctricas corroídas o daños en los materiales de los componentes de los equipos, entre otros. En estos casos, la termografía infrarroja es empleada como principal solución gracias a la posibilidad de medir las temperaturas de los cuerpos objeto de estudio sin tener que establecer contacto físico con dicho objeto. La detección temprana de este tipo de fallos en equipos empleados a nivel industrial está orientada a suprimir tiempos de inactividad en los procesos de fabricación y reducir los elevados costes de reparación de estos equipos. Existen diferentes estudios que muestran el potencial de la termografía infrarroja en este tipo de actividades, entre ellos, el estudio conducido por S. Bagavathiappan *et al.* [40] resalta las aplicaciones de la termografía infrarroja para la monitorización de infraestructuras, tales como puentes, carreteras, sistemas de almacenamiento de agua, puertos, aeropuertos, etc., para asegurar la seguridad pública. De igual manera contempla la monitorización de componentes eléctricos, el seguimiento de la deformación de materiales sometidos a grandes esfuerzos de carga que puedan reducir su periodo de servicio (ya que toda esa tensión o fatiga excesiva en un cierto material se convierte de energía mecánica a energía térmica), recoge también el uso de la tecnología infrarroja en la inspección de maquinaria, seguimiento de la corrosión y del estado de soldaduras de diferentes estructuras y finalmente, destaca la aplicación de la termografía en industrias tales como la nuclear y la aeroespacial. Son muchas las aplicaciones de la termografía en este campo, destacando la efectividad de esta como alternativa para el seguimiento y monitorización de objetos y procesos evitando el contacto con los mismos, proporcionando al usuario una gran cantidad de información útil acerca de la salud de los diferentes equipos, pudiendo prevenir así roturas catastróficas (véase Figura 2-13) [40].

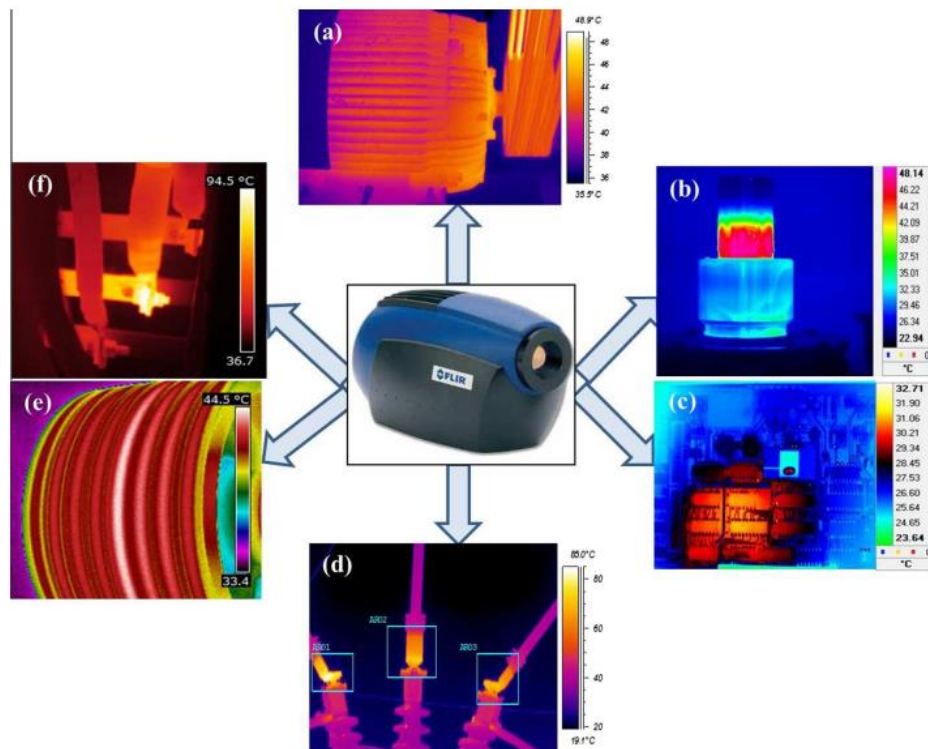


Figura 2-13 Diferentes aplicaciones del seguimiento de equipos y componentes mediante termografía infrarroja [40]

2. **Vigilancia de actividad volcánica mediante el uso de cámaras infrarrojas:** Las erupciones volcánicas suelen estar precedidas por diferentes tipos de manifestaciones geofísicas y geoquímicas. Este tipo de anomalías son fácilmente detectables mediante diferentes tipos de técnicas entre las que se destaca el uso de cámaras termográficas. Dichos equipos, que adquieren especial relevancia en el momento en el que la actividad volcánica ha de ser monitorizada sin establecer contacto físico con el volcán en sí debido al peligro que ello conlleva, han experimentado una gran evolución a lo largo de la última década, hasta tal punto que han sido implementados en los observatorios que se dedican a realizar seguimiento de la actividad volcánica en diferentes partes del mundo. Diversos autores han estudiado las aplicaciones de la termografía infrarroja en el campo del seguimiento y vigilancia de la actividad volcánica. Tal es el caso de Letizia Spampinato *et al.* [41], quienes han estudiado el uso de la termografía infrarroja para la observación cualitativa de las características térmicas de los volcanes, tales como el estudio del comportamiento y evolución de manifestaciones hidrotermales y campos de fumarolas, pudiendo obtener mediante esta técnica una distribución detallada de las temperaturas; la detección de cuerpos de lava, tales como ríos, domos o lagos de lava; investigación de actividad explosiva y penachos volcánicos con el fin de estudiar las dinámicas eruptivas de los volcanes; detección e interpretación acerca de la formación de depósitos de flujo piroclástico; y finalmente la detección y monitorización de grietas y fracturas que puedan aparecer durante el proceso de erupción de un volcán [41]. El uso de la termografía infrarroja, por tanto, es de gran utilidad en entornos volcánicos debido a factores tales como la adquisición de información relevante sin poner en riesgo material y personal; la detección precoz de zonas de alta temperatura previas a la erupción de un volcán, y finalmente la adquisición de datos cuantitativos para explicar el fenómeno de erupción de un determinado volcán (véase Figura 2-14).

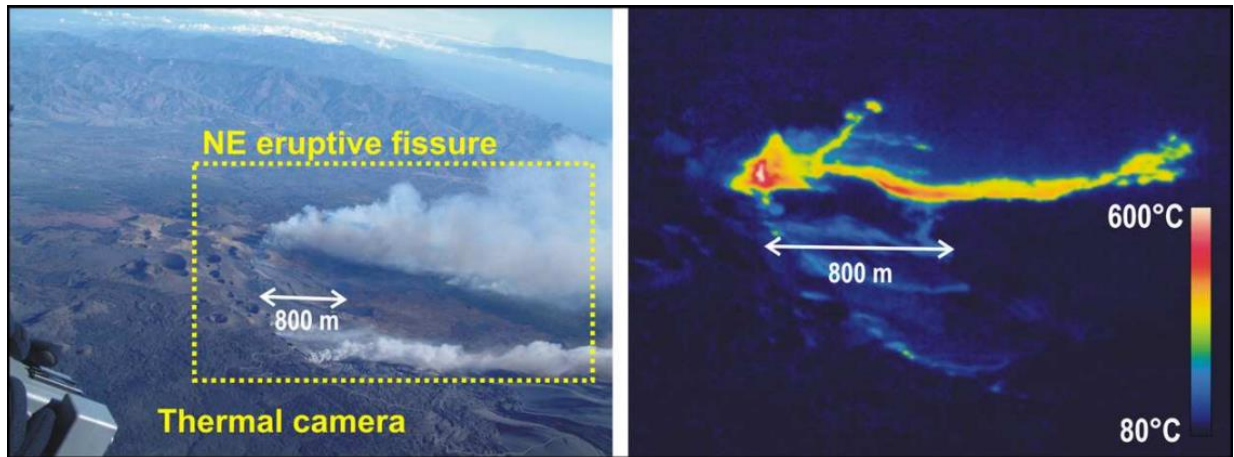


Figura 2-14 Diferentes aplicaciones del seguimiento de actividad volcánica [41]

3. **Sistemas para la prevención de incendios forestales:** A lo largo de los últimos años se han desarrollado diferentes sistemas de prevención de incendios forestales, entre los que se destacan sensores multispectrales, obtención de imágenes vía satélite, sensores inalámbricos o cámaras infrarrojas. No obstante, son los sistemas que emplean cámaras termográficas los que presentan mayor número de ventajas, dado el nivel de detalle que ofrecen las cámaras termográficas y su facilidad de uso, así como claridad a la hora de investigar la información obtenida. Especialmente en los incendios forestales, donde es de vital importancia tener la mayor cercanía posible a las zonas afectadas con el fin de obtener información de mayor fiabilidad, sin poner en riesgo la seguridad del personal y material implicado. En la actualidad, se pueden encontrar investigaciones en este campo, como la dirigida por D.A. Cadena *et al.* [42] en el que se contempla el desarrollo de un sistema compuesto por una cámara termográfica adherida a un dron con el fin de obtener mapas de calor de un bosque determinado. Este dron se eleva a una altura de alrededor de 45 metros, obteniendo toda la información necesaria para los bomberos de la zona acerca de las zonas de calor, así como los focos del incendio forestal. Este sistema ha sido desarrollado con costes bajos y es de fácil implementación en los ya existentes sistemas de prevención de incendios (véase Figura 2-15).



Figura 2-15 Resultados del análisis de incendios forestales mediante el uso de cámaras termográficas [42]

4. **Uso de aeronaves no tripuladas termográficas para vigilancia y seguridad:** Al igual que ocurría en el estudio mencionado en el apartado anterior, el uso de drones adheriendo cámaras termográficas pueden ser empleados como dispositivos de vigilancia y seguridad en entornos

urbanos, empresariales y rurales. Por un lado, los drones son de especial interés en el sector de la vigilancia y la seguridad, debido a factores como su capacidad de realizar seguimiento en remoto o la de llevar a cabo un vuelo estacionario con el fin de obtener una inspección detallada de una serie de áreas. Las cámaras termográficas, por otro lado, presentan numerosas ventajas para su uso en el sector ya mencionado, entre las que se destacan la capacidad de facilitar la detección de personal afectado en diferentes situaciones de elevado riesgo, incluido en aquellas situaciones en las que las condiciones climáticas o ambientales dificultan la visibilidad. Mediante la anexión de ambos equipos, se pueden obtener imágenes específicas desde puntos a los que el ser humano no puede llegar por su cuenta. Por tanto, el uso de drones con cámaras termográficas implica una reducción considerable de costes, así como una mayor eficacia y rapidez a la hora de actuar, se reduce por completo el riesgo humano y se obtiene una visión clara del entorno de 360°, sin importar las condiciones meteorológicas (véase Figura 2-16) [43].



Figura 2-16 Resultados del uso de aeronaves no tripuladas termográficas para vigilancia y seguridad [43]

- 5. Termografía infrarroja aplicada a sistemas de vigilancia marítima:** el uso de cámaras termográficas tiene uso en diferentes aspectos del sector marítimo, ya sea en vigilancia portuaria o de plataformas petrolíferas, cuya aplicación es similar a la mencionada en el punto 4; detección de actividades ilícitas en zonas costeras, ya sea tráfico de drogas, armas y personas, piratería o terrorismo [44]; y finalmente, en la búsqueda y rescate (SAR) [45]. La termografía infrarroja, unida al empleo de vehículos aéreos o de superficie no tripulados (UAV/USV), ofrece numerosas ventajas en los aspectos ya mencionados con anterioridad, ya que son equipos que leen con facilidad las temperaturas del entorno en todo tipo de condiciones meteorológicas, ya sea con mala mar o baja visibilidad, sin importar que sea de día o de noche, o esté lloviendo. Este aspecto es de gran utilidad en casos de hombre al agua (MOB) en condiciones en los que los equipos de salvamento y rescate tienen una gran dificultad para encontrar a la persona en peligro. Asimismo, dichos sistemas tienen la capacidad de realizar un seguimiento a embarcaciones móviles desde distancias lejanas, faceta de vital importancia para la lucha contra la piratería y otras actividades ilícitas en aguas nacionales, en las que el empleo de pequeñas embarcaciones neumáticas prácticamente invisibles a los sistemas radar y cuyas velocidades pueden alcanzar hasta los 50 nudos, ha aumentado durante los últimos años. Finalmente, cabe destacar el factor de que el uso de drones con equipos térmicos tiene la principal ventaja de que son equipos que se controlan en remoto, por lo que se elimina por completo el factor de riesgo de vidas humanas, en adición a las que ya están en el caso de la búsqueda y rescate. El hecho de arriesgar vidas para la lucha armada contra la piratería, o poner en riesgo a personal en la búsqueda de un

hombre al agua, especialmente en malas condiciones meteorológicas o de baja visibilidad, hace del uso de estos equipos un gran atractivo para las mayores amenazas en aguas nacionales (véase Figura 2-17).

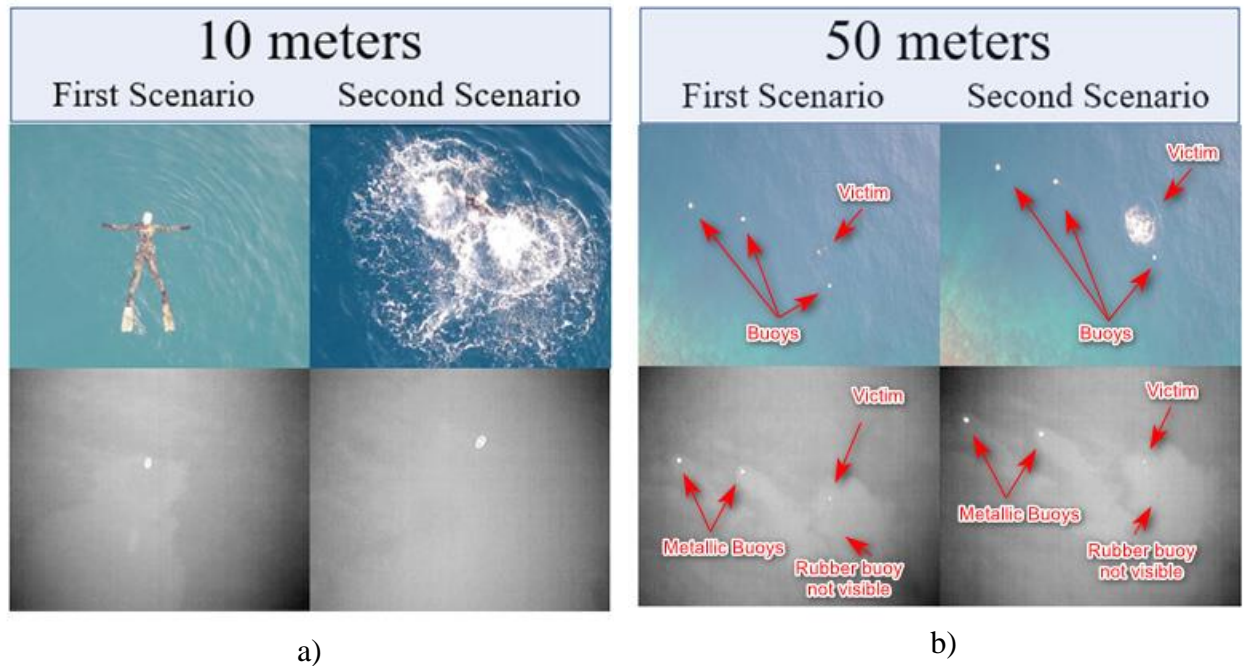


Figura 2-17 Aplicación de la termografía infrarroja en la detección de objetos, y búsqueda y rescate. a) Visión a 10 m. b) Visión a 50 metros [45]

De las diferentes aplicaciones de la termografía infrarroja mencionadas en el presente apartado, el uso de esta aplicada a sistemas de vigilancia marítima es la que representa un mayor interés para el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado. Esta última será en la que se centre el estudio realizado, sobre todo debido a que, a pesar de las referencias citadas en el punto 5, sigue faltando un trabajo detallado en el ámbito de la vigilancia marítima con cámaras termográficas.

3 DESARROLLO DEL TFG

En el presente apartado se describe de manera detallada las diferentes tareas abordadas en este Trabajo Fin de Grado. Dado que el objetivo de este es la localización y seguimiento de objetos en entornos marinos con condiciones climáticas adversas, se comenzará presentando los tipos y características de las cámaras utilizadas. Seguidamente, se expondrán las diferentes zonas desde las que se procedió a la toma de imágenes (plataforma fija y móvil), para dar luego paso a un apartado en el que se exponen los diferentes objetos de interés para este trabajo. Dado que se pretende comparar la viabilidad de emplear cámaras termográficas de alta gama y *low cost* frente a cámaras convencionales para la identificación y seguimiento de objetos en el entorno marino cualesquiera que sean las condiciones climatológicas existentes, se procedió a la toma de imágenes en diversos días y condiciones, exponiendo en este punto las condiciones climáticas de cada uno de ellos. Y, por último, se describirá el “script” empleado para el tratamiento de las imágenes adquiridas a fin de determinar el parámetro métrico más representativo de las mismas, el que permitirá determinar las limitaciones del uso de una cámara térmica *low cost* frente a una de gama alta, y las ventajas de las cámaras térmicas frente a cámaras convencionales.

3.1 Cámaras empleadas

Para evaluar la viabilidad de la utilización de una cámara de bajo coste en la identificación y seguimiento de objetos en entornos marinos, se hace necesario comparar las imágenes realizadas por este tipo de cámaras con otras de mayor gama. A continuación, se presentan las características técnicas de ambos equipos.

3.1.1 FLIR E85

La primera de las cámaras empleadas es una cámara térmica avanzada de alta gama. Se trata de la siguiente versión a la FLIR E75, e incluye mejoras tales como la actualización de la pantalla táctil, la capacidad de añadir lentes a la cámara sin que haga falta recalibrarlas, o el nuevo sistema de autoenfoco láser para asegurar la correcta nitidez de las imágenes a tomar (véase Figura 3-1).



Figura 3-1 Imagen ilustrativa FLIR E85 (Fuente: Página Web FLIR [32])

Se trata de una cámara de mano que cuenta con una resolución, rendimiento y sensibilidad superiores a muchos otros modelos. Su diseño permite el manejo con una sola mano, y una fácil navegación y control de esta. Los datos de mayor relevancia de la citada cámara son los siguientes, destacando que viene además incorporada una cámara visible integrada que se usará para la toma de las imágenes visibles a la hora de comparar con las imágenes térmicas capturadas. La resolución de la cámara convencional es de 5 megapíxeles que, aunque haya mayores resoluciones en el mercado, se considera una referencia aceptable para realizar las comparativas oportunas (véase Tabla 3-1):

FLIR E85	CARACTERÍSTICAS
Resolución térmica	384x288 (110,592 píxeles)
Resolución visible	5 megapíxeles
Resolución de pantalla	640x480
Rango de temperaturas	Desde -20 °C hasta 1200 °C
Exactitud	± 2 °C o ± 2 %
Sensibilidad térmica	<40 mK a 30 °C
Opción de paletas	Múltiple: Iron, Gray, Rainbow, Artic, Lava, Rainbow HC (High Contrast)
Emisividad	Sí, variable desde 0.01 hasta 1.0
Batería	Dispone de 2 baterías recargables de 3,6 V con una duración de ± 2.5 horas a temperatura de trabajo de 25 °C

Tabla 3-1 Especificaciones FLIR E85 (Fuente: Página Web FLIR [32])

3.1.2 FLIR One Edge

La segunda de las dos cámaras empleadas fue una FLIR One Edge. Esta cámara termográfica innovadora fue considerada en este trabajo como la alternativa *low cost*, frente a la mencionada en el apartado anterior. Se trata de una cámara con conectividad inalámbrica a cualquier smartphone que cuente con sistema ANDROID o iOS. Gracias a su diseño en forma de gancho permite su acople a un teléfono móvil/tablet de manera muy sencilla, a la par que hace posible su manejo con una sola mano, visualizando en todo momento lo que se aprecia desde la cámara mediante una aplicación instalada en el dispositivo en el cual la FLIR One Edge está conectada (véase Figura 3-2). Como se contempla en la Tabla 3-2, la cámara *low cost* tiene menor resolución térmica (80x60) con respecto a la FLIR E85 (384x288), pero su coste, en torno a 400-500 € por unidad, es del orden de veinte veces inferior al precio de una FLIR E85 (unos 10000 €). Al igual que la FLIR E85, viene integrada una cámara visible, pero de menor resolución, no llegando al megapíxel. Por tanto, las imágenes visibles se tomarán como referencia a las capturadas por la cámara de alta gama.

FLIR ONE® Edge



Wi-Fi and Bluetooth® enabled transfers images to device

THERMAL RESOLUTION
80 x 60 (4,800 pixels)

PRODUCT SIZE
1.5 w x 1.4 d x 5.9 h in
37.5 x 35 x 149 mm



Figura 3-2 Imagen ilustrativa FLIR One Edge (Fuente: Página Web FLIR [32])

Hay que destacar que, una vez “enganchada”, la FLIR One Edge se conecta de forma inalámbrica mediante Bluetooth o Wifi al dispositivo acoplado, y cuyo uso tiene lugar en una aplicación desarrollada por la empresa FLIR, tal y como se comentó previamente, disponiendo de una interfaz de fácil manejo (aplicación FLIR ONE). Además, una de las principales ventajas que proporciona, aparte de su facilidad de uso, es la capacidad de subir las imágenes tomadas a la nube (FLIR IGNITE) con la creación de una cuenta, para facilitar así su manipulación en otros dispositivos.

FLIR One Edge	CARACTERÍSTICAS
Resolución térmica	80x60 (4,800 píxeles)
Resolución visual	640x480 (307,200 píxeles)
Rango de temperaturas	Desde -20 °C hasta 120 °C
Exactitud	±3 °C o ±5 %. Aplicable 60 segundos tras el encendido de la cámara, una vez se encuentra en el rango de 15 a 35 °C y el escenario se encuentra entre los 5 y los 120 °C
Sensibilidad térmica	70 mK
Opción de paletas	Múltiple: Gray, Hottest, Coldest, Iron, Contrast Artic, Lava and Color Wheel
Emisividad	No
Batería	Duración de hasta 2,5 horas
Zoom	No

Tabla 3-2 Especificaciones FLIR One Edge (Fuente: Página Web FLIR [32])

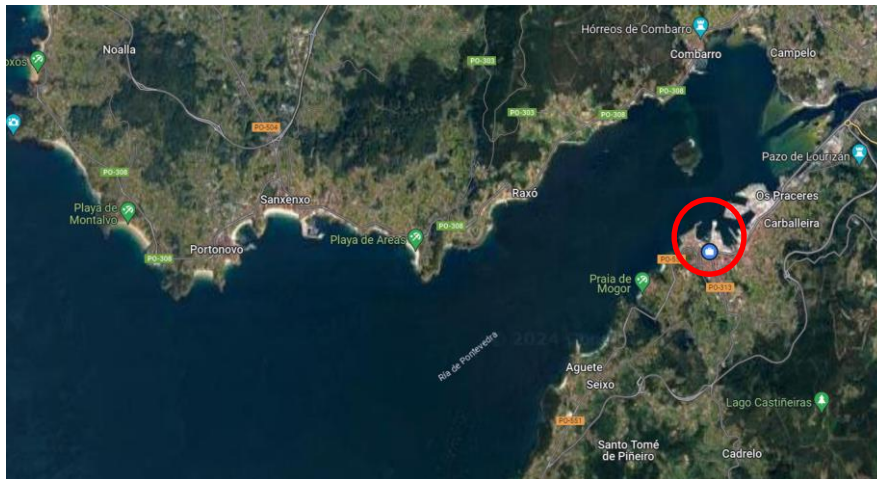
Cabe destacar que ambas cámaras disponen del sistema MSX, cuya principal característica es la capacidad de juntar ambas imágenes, la térmica y la visual, con el objetivo de poder clarificar la térmica y facilitar la visualización del objeto a medir.

3.2 Área de estudio

En este trabajo se procedió a la toma de imágenes térmicas/visibles, tanto desde plataformas fijas como de plataformas móviles, con el fin de detectar el mayor número de objetos de interés posibles y de realizar la comparativa entre las imágenes adquiridas por las 2 cámaras mencionadas previamente en diferentes situaciones. A continuación, se especifica la información relativa a cada una de ellas.

3.2.1 Plataforma fija

El primero de los escenarios en el que se llevó a cabo la toma de imágenes fue el muelle de la Escuela Naval Militar de Marín. Este se encuentra situado en la cara Norte de la estación, y tiene contacto directo con la ría de Pontevedra, escenario en el que se encuentran las embarcaciones u otros objetos de interés para la obtención de imágenes térmicas y visibles. En la imagen a) de la Figura 3-3 se muestra una vista general aérea de la ría de Pontevedra, delimitando mediante una elipse roja la Escuela Naval Militar. Posteriormente, en la imagen b) de la Figura 3-3 se muestra una vista general aérea del recinto general de la Escuela Naval Militar, delimitando mediante un rectángulo rojo la zona específica en la que se llevó a cabo la investigación. Esta zona se subdivide asimismo en tres zonas específicas. La elección de zonas depende principalmente de la meteorología, aunque también han influido factores tales como la visibilidad en cada una de las tres zonas, o el número de embarcaciones que se esperen ese día en cada una de ellas.



a)

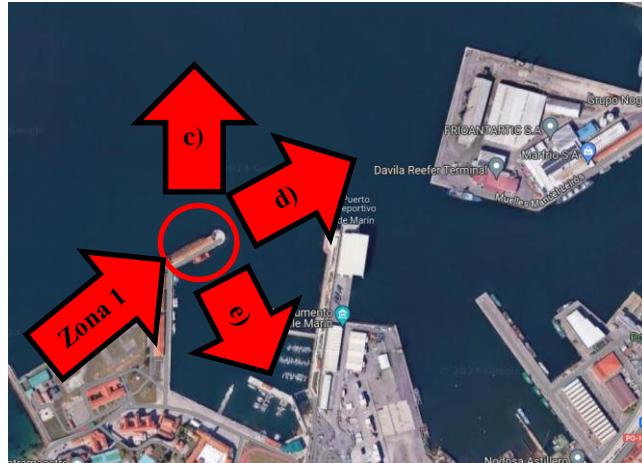


b)

Figura 3-3 a) Vista general de la ría de Pontevedra. b) Vista general del recinto de la Escuela Naval Militar (42° 23' 48,6''N, 8° 42' 12,6''W) (Fuente: Google Maps)

A continuación, se presentan las 3 zonas utilizadas para la adquisición de las imágenes:

1. **Zona 1:** Faro de Torpedos. Situado al final del muelle, con contacto directo tanto a la salida del puerto deportivo de la ciudad de Marín como a la dársena de la Escuela Naval Militar, ambos situados al Suroeste de la Zona 1; y el puerto comercial de Marín, situado al Este de esta. Dispone también de vistas a la ría en un sector que abarca desde el Norte hasta el Este de esta (véase Figura 3-4).



a)



b)



c)



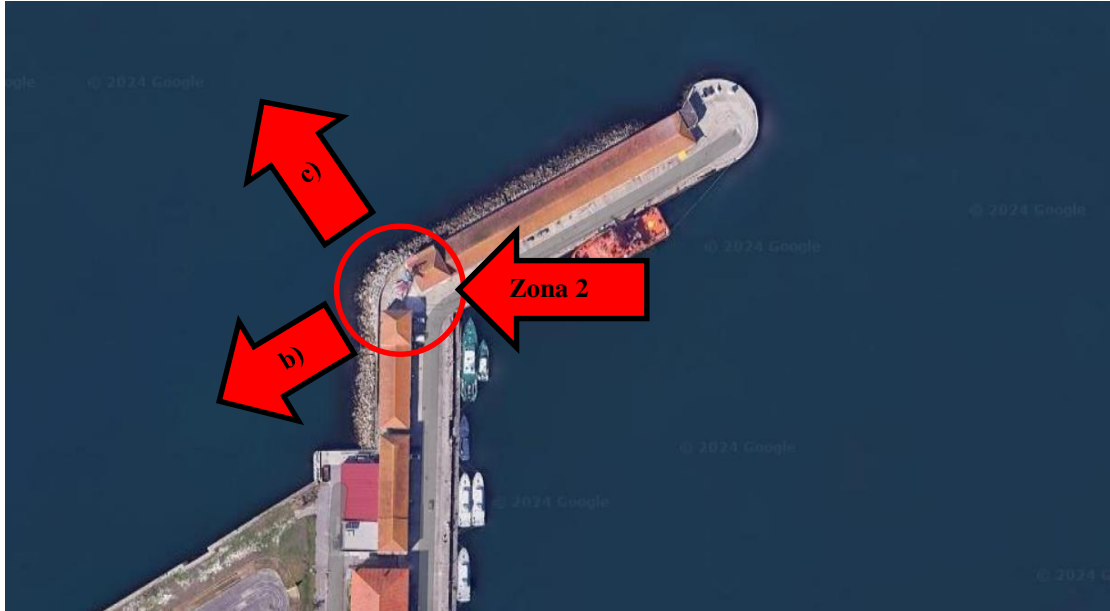
d)



e)

Figura 3-4 a) Vista general de la Zona 1. b) Lugar desde el que se tomaron imágenes en la Zona 1. c) d) e) Zonas a las que se pueden acceder desde dicha Zona 1 (Fuente: Google Maps)

2. **Zona 2:** Estación de la Guardia Civil. Situada en el codo del muelle, se encuentra la segunda zona de obtención de imágenes, entre los edificios del núcleo de las lanchas de instrucción y la estación de la Guardia Civil. Tiene contacto directo con la ría de Pontevedra en un sector que va desde el Norte hasta el Oeste (véase Figura 3-5).



a)



b)



c)

Figura 3-5 a) Vista general de la Zona 2. b) Lugar desde el que se obtuvieron imágenes en la Zona 2. c) Área accesible desde dicha Zona 2 (Fuente: Google Maps)

3. **Zona 3:** Edificio de la banda de música de la Escuela Naval Militar de Marín. Situada en la planta alta del Edificio de Investigación del Centro Universitario de la Defensa de Marín. Esta zona destaca por disponer de vistas al muelle comercial de la Escuela Naval Militar, situado al Este de esta zona (véase Figura 3-6).



a)



b)



c)

Figura 3-6 a) Vista general de la Zona 3. b) Lugar desde el que se obtuvieron imágenes en la Zona 3. c) Área accesible desde dicha zona 3 (Fuente: Google Maps)

3.2.2 Plataforma móvil

El segundo de los escenarios se llevará a cabo a bordo en las lanchas de instrucción del departamento de Adiestramiento a Flote de la Escuela Naval Militar. La toma de imágenes se realizó, al igual que en el caso de la plataforma fija, en la ría de Pontevedra. Cabe resaltar que, a bordo de las lanchas de instrucción, se pueden tomar imágenes de diferente índole, no solo de embarcaciones que salen de los puertos, sino también de objetos de pequeño tamaño tales como palangres u objetos a la deriva en la ría. Asimismo, se pueden obtener imágenes desde zonas en las que el impacto meteorológico es diferente al de la plataforma estática, zonas incluso con peores condiciones meteorológicas. Además, otra característica destacable del uso de este tipo de plataformas es que desde ella se puede llevar a cabo ejercicios de hombre al agua, lo que hace posible el uso también de la termografía infrarroja para la detección de personas que hayan caído de una embarcación. En la Figura 3-7 se puede observar la embarcación utilizada como plataforma móvil para la toma de imágenes.



Figura 3-7 Guardiamarina Chereguini, la segunda de las 6 lanchas de instrucción de la Escuela Naval Militar (Fuente: Página Armada [19])

3.3 Objetos de interés

Para la toma de imágenes térmicas y visibles, se han tenido en consideración diferentes objetos a lo largo del escenario de la ría de Pontevedra. Se han tomado imágenes de objetos que tienen relevancia sobre las aplicaciones mencionadas con anterioridad, ya sean de seguridad marítima o con fines de salvamento y rescate. Entre los objetos principales se encuentran los siguientes:

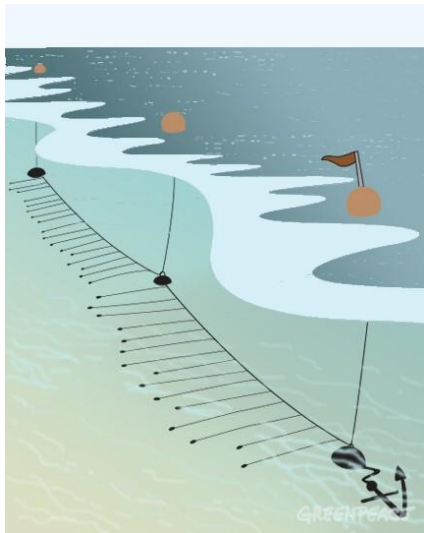
1. **Embarcaciones:** especialmente aquellas con el menor tamaño posible, como pequeños pesqueros, embarcaciones neumáticas o a remos o embarcaciones de recreo, ya sean de vela o a motor. Esta condición se debe a que este tipo de embarcaciones, es decir buques con una eslora inferior a 7 metros, según el Reglamento Internacional para Prevenir Abordajes en la Mar, no están obligados a llevar más que una luz todo horizonte blanca, por lo que el riesgo de no ver este tipo de embarcaciones en condiciones de baja visibilidad es mucho mayor que con embarcaciones de mayor tamaño. Este tipo de imágenes, por tanto, tienen una aplicación directa con el aspecto de la seguridad marítima. En la Figura 3-8 se puede observar un ejemplo de una pequeña embarcación pesquera.



Figura 3-8 Ejemplo de una pequeña embarcación pesquera

2. **Objetos a la deriva y palangres:** existen numerosos objetos, ya sean arrojados por el ser humano o por causas naturales, que tienen un riesgo elevado para la seguridad a la

navegación, ya que, a diferencia de las embarcaciones, no están señalizadas y no llevan un rumbo fijo, encontrándose a la deriva. En esta categoría cabe destacar los palangres, objetos de especial interés en la ría de Pontevedra. Se trata de una línea de anzuelos colocados con cebo en el fondo marino. Este tipo de artes de pesca pueden alcanzar los 150 kilómetros de longitud y están señalados en la superficie mediante pequeños objetos flotantes que actúan de boyas (véase Figura 3-9). No obstante, estos objetos, en la mayoría de los casos, no están iluminados, ya que suelen ser bidones de combustible vacíos u otros objetos a los que se les ha dado un segundo uso, por lo que suponen un gran peligro para la navegación.



a)



b)

Figura 3-9 a) Funcionamiento de un palangre de fondo. b) Foto real (Fuente: Greenpeace [46])

3. **Hombre al agua:** a bordo de la plataforma móvil se han llevado a cabo ejercicios simulados con un maniquí en condiciones de visibilidad reducida para probar la capacidad de detección de las cámaras térmicas en casos de salvamento y rescate, como se muestra en la Figura 3-10 (caso de hombre al agua).

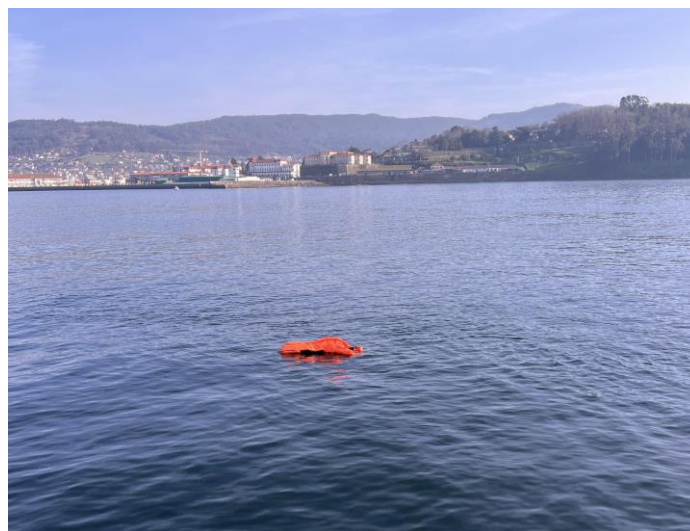


Figura 3-10 Ejercicio de hombre al agua a bordo de la lancha de instrucción

3.4 Condiciones meteorológicas de la adquisición de imágenes

Las condiciones meteorológicas fueron extraídas de los datos históricos de METEOGALICIA, concretamente de la estación ubicada en el Puerto de Marín [47], situada a escasa distancia de las zonas estudiadas en este Trabajo Fin de Grado (véase Figura 3-11).



Figura 3-11 Ubicación estación METEOGALICIA frente a la Escuela Naval Militar [48]

Los días elegidos para la toma de imágenes fueron, todos del año 2024, el 24 y 30 de enero, 1 y 29 de febrero y el 14 de marzo. Los días 24 y 30 de enero se procedió a la adquisición de imágenes desde las zonas 1 y 2 mientras que el 29 de febrero se usó la zona 3. En cuanto a la plataforma móvil, fueron los días 1 de febrero y el 14 de marzo cuando tuvo lugar la toma de imágenes. Los días fueron elegidos de forma predeterminada, con el fin de tener la mayor variabilidad posible de condiciones meteorológicas, y además se trató de tomar imágenes de una misma zona en diferentes días para enriquecer aún más el estudio. Es importante resaltar que, al margen de los días citados, se realizaron toma de imágenes en otras jornadas, pero la no presencia de buques u objetos de interés hace que no resulten relevantes las imágenes adquiridas y, por tanto, dichas imágenes no han sido incluidas en este estudio.

Los datos históricos arrojados por la estación de Marín, entre los que se encuentran los parámetros con más interés para este Trabajo Fin de Grado reflejados en la Tabla 3-3, indican que los dos días de enero (Zonas 1 y 2) hizo buen día sin lluvia, pero en el primero de ellos era todavía de noche (capturas tomadas de 8:30 a 9:00 de la mañana), y en el segundo de ellos era ligeramente de día (capturas realizadas de 9 a 9:30 de la mañana). Hay que destacar que todos los valores de los parámetros arrojados en la Tabla 3-3 son promedios con respecto al intervalo de captura de cada día.

Por otra parte, en el día 29 de febrero, de la Zona 3, aunque fuese de día (de 9 a 9:30 de la mañana) tuvo lugar la adquisición de imágenes), ha habido precipitaciones ofreciendo una visibilidad muy baja. El 1 de febrero, se presentó un día soleado en las capturas desde la plataforma móvil (capturas de 15:30 a 17:30 de la tarde), caso contrario para dicha plataforma en el día 14 de marzo, con precipitaciones y poca visibilidad realizando las capturas también por la tarde (de 15:30 a 17:30 h).

	Día 1 24-01-2024	Día 2 30-01-2024	Día 3 01-02-2024	Día 4 29-02-2024	Día 5 14-03-2024
Humedad relativa (%)	100	100	74	100	100
Precipitación (l/m ² de lluvia)	0	0	0	4	5,2
Radiación solar media (W/m ²)	20	60	150	20	103,62
Perspectiva global	Día sin lluvia, prácticamente de noche	Día sin lluvia, prácticamente de día	Día sin lluvia, soleado	Día con lluvia, prácticamente de día, poca visibilidad	Día con lluvia, de día, poca visibilidad

Tabla 3-3 Datos meteorológicos para los diferentes días (Fuente: METEOGALICIA)

3.5 Parámetro métrico: Ratio de intensidades medias

De los diferentes parámetros métricos cuantificables aquel que resulta más relevante en la presente investigación es el ratio de intensidades medias. La Ecuación 5 calcula el ratio de intensidades como el cociente entre la intensidad media de los píxeles del objeto bajo investigación y la intensidad media de los píxeles del entorno más cercano que rodea a la imagen. El resultado de dicha ecuación muestra cuánto de contraste de color hay entre el objeto y su entorno próximo, donde cuanto más distante el ratio esté de 1 en términos absolutos, mejor se visualizará el objeto. Hay que destacar que con un ratio menor de 1 se observará dicho objeto como un punto negro, y si el ratio es mayor de 1, como un punto blanco, pero en términos de visibilidad es independiente del signo que tenga el ratio, mientras se aleje lo máximo posible del valor 1 siempre será un aspecto positivo.

$$\text{Ratio de intensidades medias} = \frac{\text{Intensidad media del objeto}}{\text{Intensidad media entorno próximo}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

La Ecuación 6, por otro lado, calcula la intensidad media de color de un píxel siguiendo el modelo RGB (Rojo-Verde-Azul). Dicho modelo consiste en la superposición de tres imágenes de los tres colores que componen el nombre del modelo, una roja, una verde y una azul, que, tras juntarse, suman una sola imagen de un color determinado que muestra la intensidad media de cada píxel que conforma la imagen [41]. Se comenta esto ya que las imágenes térmicas y visibles se representan en RGB en este trabajo, siendo necesario aplicar primero la Ecuación (6) y después la Ecuación (5), es decir, primero promedio de color en cada píxel de la imagen, y luego promedio de todos los píxeles del objeto y promedio de todos los píxeles de su entorno para obtener el ratio de intensidades medias.

$$\text{Promedio de un píxel} = \sqrt{\frac{R^2 + G^2 + B^2}{3}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

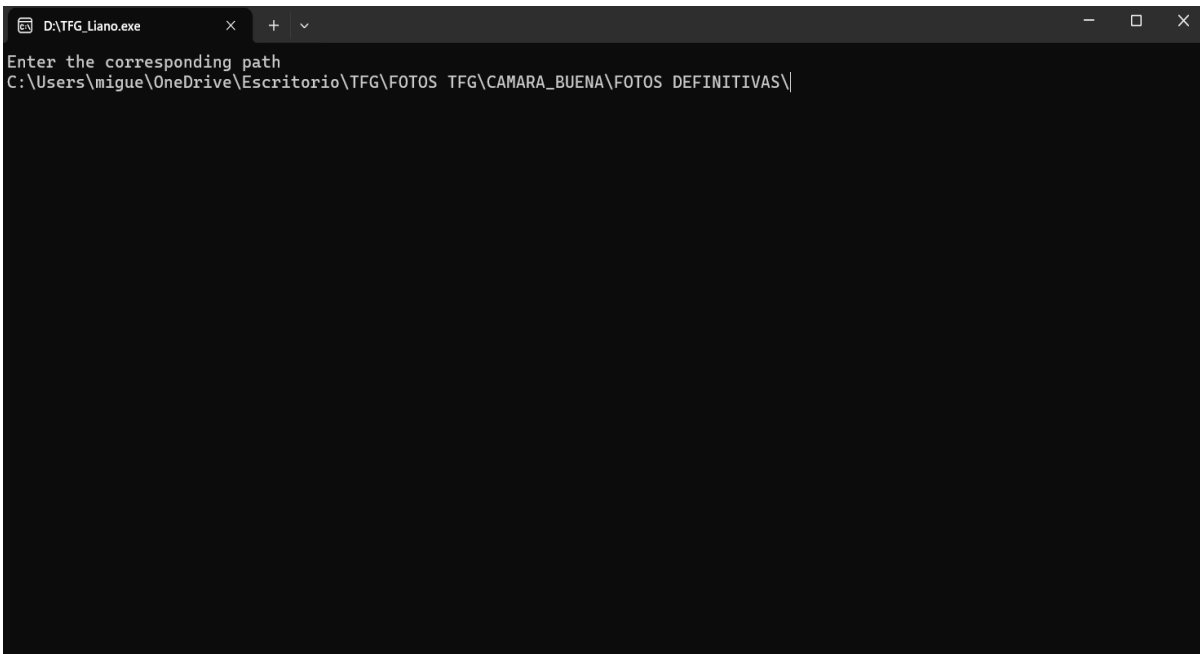
3.6 Código empleado (Script)

Python es uno de los lenguajes de programación más utilizados en el campo científico [49] debido a que su lenguaje es de código abierto, de fácil escritura, además de la necesidad de pocos recursos para el funcionamiento de sus potentes librerías a la hora de realizar diferentes operaciones. En todas las secuencias de comandos, conocidas como scripts, se ha empleado la versión 3.10 de Python apoyado para sus escrituras mediante el entorno de desarrollo integrado Spyder (versión 5) con el fin de aplicar correctamente las Ecuaciones 5 y 6 a cada imagen. En la Figura 3-12 se muestra el diagrama de flujo de cómo funciona el código completo escrito. Tras ello, se describe cómo se ha preparado el código.

PASO 1:

Se abre el código desde la terminal del Sistema Operativo

Se inserta la ruta de la carpeta de las imágenes a editar



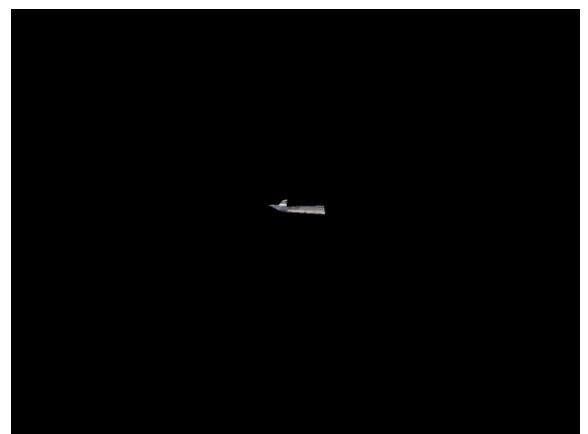
```
D:\TFG_Liano.exe
Enter the corresponding path
C:\Users\miguel\OneDrive\Escritorio\TFG\FOTOS TFG\CAMARA_BUENA\FOTOS DEFINITIVAS\
```

PASO 2:

En primer lugar, aparecerá una ventana para seleccionar el objeto de interés



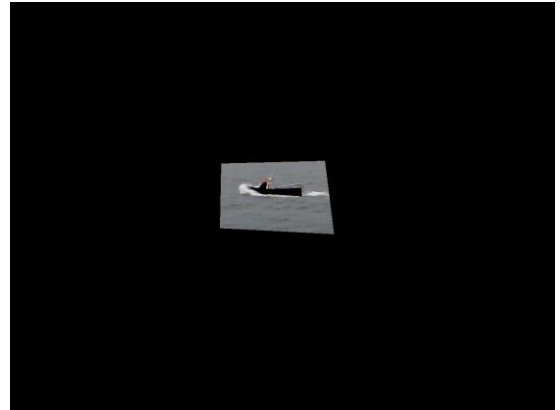
Se realiza un polígono que incluya al objeto de interés



PASO 3:

Tras la edición del objeto de interés, se abrirá de nuevo la misma ventana, pero esta vez para el entorno en el que se encuentra el objeto de interés

Se realiza un polígono seleccionando el entorno más cercano que rodee al objeto de interés



PASO 4:

Una vez seleccionados el objeto de interés y el entorno que le rodea, el código calculará el ratio de intensidades media y lo guardará en un .txt

Además de guardar el ratio de intensidades medias, también se guarda en formato imagen el entorno y el objeto recortado

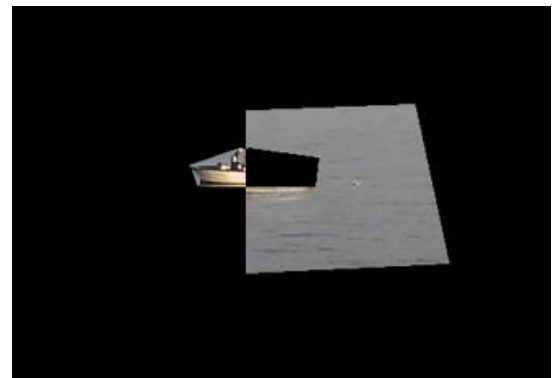
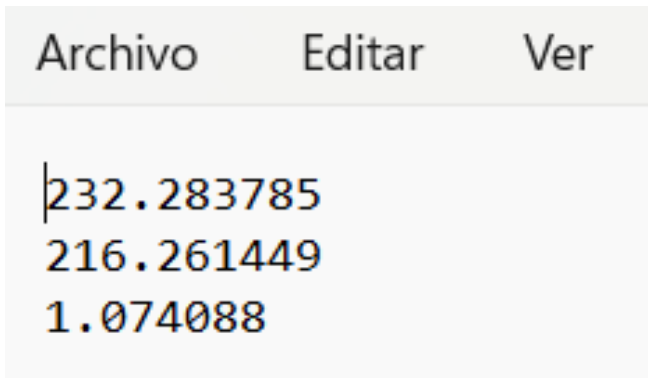


Figura 3-12 Diagrama de flujo mostrando cómo funciona el código escrito para aplicar la Ecuación 5 y 6 en cada imagen

Para el parámetro métrico definido (ratio de intensidades medias), en las librerías a importar, se tiene la librería “os” para poder acceder a las distintas rutas del sistema operativo, y, por tanto, a las imágenes, “cv2” que es la librería de OpenCV que permite el procesamiento de imágenes, y “numpy” para crear vectores y matrices multidimensionales, además de que es una librería que recoge funciones matemáticas de alto nivel para operar con ellas. Destacar que el comando “os.environ[“XDG_SESSION_TYPE”] = “xcb”” permite la lectura en el orden correcto de los distintos canales de color de las imágenes (Figura 3-13).

```
# =====
import os
os.environ["XDG_SESSION_TYPE"] = "xcb"
import cv2
import numpy as np
# =====
```

Figura 3-13 Script para la carga de las librerías necesarias para el cálculo del parámetro métrico

A continuación, se asigna unas dimensiones tanto en horizontal como en vertical al fondo que va a tener la ventana emergente, la cual va a soportar a cada imagen a la hora de realizar los recortes oportunos con el fin de obtener dicho parámetro métrico. Las dimensiones por supuesto tendrán que ser mayores a las imágenes a importar. Asimismo, se define un color determinado para cada línea que se traza para el recorte correspondiente, asignado un color distinto al último trazo para indicar al usuario que el polígono del recorte trazado está finalizado (Figura 3-14).

```
# =====
CANVAS_SIZE = (600,800)
FINAL_LINE_COLOR = (255, 255, 255)
WORKING_LINE_COLOR = (127, 127, 127)
# =====
```

Figura 3-14 Definición de las dimensiones del fondo de las imágenes a cargar, y asignación de los colores (RGB) a los trazos empleados a la hora de definir el recorte correspondiente en la imagen

En este punto, al ser Python un lenguaje orientado a objetos, se define una clase en concreto que será la que contiene los distintos comandos responsables de la generación de los distintos recortes en las imágenes. Una clase (“class”) define una plantilla para crear objetos, los cuales son instancias de esa clase. Por tanto, los objetos definidos a partir de una clase tendrán las mismas propiedades y comportamientos definidos por la clase, ejemplo las mismas funciones (“def”), pero pueden tener valores diferentes para los atributos que se definen en la clase, ejemplo sea las entradas a introducir a cada función definida dentro de la clase. En esta clase, como es común en programación orientada a objetos, se define primero una función de iniciación o arranque de la clase, esta la cual dará el nombre del fondo que se abra para cargar las imágenes, una señal (“flag”) indicando si el recorte se ha terminado o no, las coordenadas cartesianas del cursor del ratón al cargar una imagen (que será en el origen (0,0)), y un listado vacío en el cual se guardará las coordenadas cartesianas de cada esquina de un recorte (Figura 3-15).

```
# =====
class PolygonDrawer(object):
    def __init__(self, window_name):
        self.window_name = window_name
        self.done = False
        self.current = (0, 0)
        self.points = []
# =====
```

Figura 3-15 Definición de la función iniciación de la clase que va a permitir realizar recortes en las imágenes

La siguiente función dentro de la clase se relaciona al ratón del ordenador. Según la acción que se realice, clic en el botón izquierdo o clic en el botón derecho, la función almacenará las coordenadas correspondientes de la imagen según la localización del ratón en la imagen en el momento de la acción, botón izquierdo indicando que el polígono aún no ha terminado y que se va a seguir definiendo otras coordenadas (esquinas) del recorte con el ratón, y botón derecho indicando que las coordenadas

seleccionadas son las últimas del polígono, generando así el cierre del recorte uniendo como último trazo desde esa última esquina a la primera esquina definida (Figura 3-16).

```
# =====
def on_mouse(self, event, x, y, buttons, user_param):
    if self.done:
        return
    if event == cv2.EVENT_MOUSEMOVE:
        self.current = (x, y)
    elif event == cv2.EVENT_LBUTTONDOWN:
        print("Adding point #%d with position(%d,%d)" % (len(self.points), x, y))
        self.points.append((x, y))
    elif event == cv2.EVENT_RBUTTONDOWN:
        print("Completing polygon with %d points." % len(self.points))
        self.done = True
# =====
```

Figura 3-16 Definición de la función relacionada con el ratón, el cual permite almacenar cada esquina relacionado al polígono a dibujar, que será el recorte correspondiente a la imagen

La última función será la encargada de gestionar el funcionamiento de la clase, es decir, la de abrir el fondo en el que se cargará la imagen, la de abrir la imagen, la de definir los trazos en la imagen con respecto a las esquinas obtenidas con la anterior función, la de quedarse con sólo el recorte realizado, y la de cerrar el fondo al terminar, devolviendo como salida el recorte hecho (Figura 3-17).

```
# =====
def run(self, filepath):
    cv2.namedWindow(self.window_name, flags=cv2.WINDOW_AUTOSIZE)
    cv2.imshow(self.window_name, np.zeros(CANVAS_SIZE, np.uint8))
    cv2.waitKey(1)
    cv2.setMouseCallback(self.window_name, self.on_mouse)
    while(not self.done):
        canvas = cv2.imread(filepath)
        if (len(self.points) > 0):
            cv2.polylines(canvas, np.array([self.points]), False, FINAL_LINE_COLOR, 1)
            cv2.line(canvas, self.points[-1], self.current, WORKING_LINE_COLOR)
            cv2.imshow(self.window_name, canvas)
            if cv2.waitKey(50) == 27:
                self.done = True
        canvas = cv2.imread(filepath)
        if (len(self.points) > 0):
            mask = np.zeros(np.shape(canvas))
            cv2.fillPoly(mask, np.array([self.points]), FINAL_LINE_COLOR)
            i, j = np.shape(mask)[0:2]
            aux = mask/255
            mask_final = canvas*aux
            cv2.imshow(self.window_name, mask_final)
        else:
            cv2.imshow(self.window_name, canvas)
            mask_final = np.zeros(np.shape(canvas))
            cv2.waitKey()
            cv2.destroyWindow(self.window_name)
        return mask_final
# =====
```

Figura 3-17 Definición de la función que actúa como gestor de todo el procedimiento, apertura del fondo y carga de la imagen, asignación de los trazos según las esquinas obtenidas con la anterior función y obtención del recorte, cierre del fondo y salida de la función el propio recorte

Tras el cierre de la definición de la clase, los últimos comandos se corresponden a la parte principal del script, es decir, los primeros comandos que se van a ejecutar a la hora de poner en marcha el fichero. Estos, primero solicita al usuario la ruta de la carpeta en donde se encuentran las imágenes a recortar. Tras ello, se emplea la clase creada para obtener primero el recorte del objeto de interés en la imagen en concreto, y luego el recorte del objeto junto a su entorno más próximo en la misma imagen. El segundo recorte se le resta al primero para tener solamente el recorte del entorno más próximo, y se guarda como imagen tanto esa diferencia como el recorte del objeto. Además de guardarlos, se halla a partir de ellos los valores de las variables necesarias para calcular el parámetro métrico establecido, y se guarda el resultado correspondiente (Figura 3-18).

```

if __name__ == "__main__":
    print('Enter the corresponding path')
    path = input()
    dir_list = os.listdir(path)
    for filepath in dir_list:
        if filepath.endswith('.jpg') or filepath.endswith('.jpeg') or filepath.endswith('.JPG'):
            name_image = filepath
            pd = PolygonDrawer("Mask_Inside")
            mask_inside = pd.run(path + filepath)
            cv2.imwrite("mask_inside_" + name_image + ".jpg", mask_inside)
            pd = PolygonDrawer("Mask_Inside_and_Surrounding")
            mask_inside_and_surrounding = pd.run(path + filepath)
            mask_surrounding = mask_inside_and_surrounding - mask_inside
            cv2.imwrite("mask_surrounding_" + name_image + ".jpg", mask_surrounding)
            i,j = np.shape(mask_inside)[0:2]
            average_pixel_mask_inside = np.zeros(np.shape(mask_inside))
            for k in range(0,i):
                for k2 in range(0,j):
                    pixel_r = mask_inside[k][k2][0]
                    pixel_g = mask_inside[k][k2][1]
                    pixel_b = mask_inside[k][k2][2]
                    average_pixel_mask_inside[k][k2] = np.sqrt((pixel_r**2 + pixel_g**2 + pixel_b**2)/3)
            global_average_mask_inside = np.nanmean(np.where(average_pixel_mask_inside != 0, average_pixel_mask_inside, np.nan))
            i,j = np.shape(mask_surrounding)[0:2]
            average_pixel_mask_surrounding = np.zeros(np.shape(mask_surrounding))
            for k in range(0,i):
                for k2 in range(0,j):
                    pixel_r = mask_surrounding[k][k2][0]
                    pixel_g = mask_surrounding[k][k2][1]
                    pixel_b = mask_surrounding[k][k2][2]
                    average_pixel_mask_surrounding[k][k2] = np.sqrt(pixel_r**2 + pixel_g**2 + pixel_b**2)
            global_average_mask_surrounding = np.nanmean(np.where(average_pixel_mask_surrounding != 0, average_pixel_mask_surrounding, np.nan))
            with open('meanintensity_mask_inside_mask_surrounding_and_ratio_' + name_image + '.txt', 'w') as f:
                ratio = global_average_mask_inside/global_average_mask_surrounding

```

Figura 3-18 Definición de la parte principal del script, llamando a la clase definida para obtener el valor del parámetro métrico establecido en cada imagen adquirida

Se resalta que, para un uso más práctico del script creado, se ha empleado PyInstaller, que es un módulo para Python, que permite convertir programas en ejecutables para diferentes plataformas, como Windows. De este modo, implementando la siguiente línea en la terminal de Windows, “python -m PyInstaller --onefile nombre_fichero.py”, estando la terminal en la ruta del script, y sustituyendo “nombre_fichero” por el nombre del script, se obtiene una serie de carpetas, las cuales tienen que ir siempre unidas, en el que bastará en darle al fichero ejecutable para el funcionamiento del programa creado, independientemente del ordenador utilizado y de si tiene o no instalado Python en su sistema operativo. De ahí que en el primer paso del diagrama de flujo se indica que el código se abre desde la terminal, ya que realmente se abre su ejecutable, en este caso necesario hacerlo desde dicha terminal del Sistema Operativo (en este caso Windows).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

A continuación, se muestran las tablas detalladas con los datos relativos a cada una de las imágenes tomadas durante el transcurso de este trabajo. En dichas tablas se especifica la “zona” desde la que fueron adquiridas, así como el día, la distancia aproximada entre la cámara y el objeto de interés, el propio objeto de interés y finalmente el ratio (Ecuación 5), cuyo cálculo ha sido explicado en el apartado anterior. Se han considerado 3 distancias entre el objeto de interés y la cámara definiendo bajo el nombre de “cercana” aquella comprendida entre los 0-100 metros, “intermedia” entre 100 m y 1000 metros y “lejana” aquella distancia superior a los 1000 metros.

Entre las diferentes tablas se encuentran las correspondientes a la cámara visual, la cámara infrarroja FLIR E85, la alternativa *low cost*, la FLIR One Edge, y finalmente la tabla correspondiente a la comparación entre las diferencias de los ratios de la FLIR E85 con la cámara visual y la FLIR One Edge con la cámara visual de nuevo. A continuación de cada tabla se presenta una gráfica ilustrativa de los ratios obtenidos en cada caso con el objetivo de visualizar, de manera más clara, el rango en el que se encuentran los ratios obtenidos en cada uno de los casos estudiados.

4.1.1 Resultados en cámara visual

En primer lugar, en la Tabla 4-1, se muestran los datos correspondientes a la cámara visual de la FLIR E85.

Identificador	Zona	Día	Distancia	Objeto de interés	Ratio
A	PF: 2		lejana	remolcador	0,99
B	PF: 2		lejana	pequeña embarcación	1,14
C	PF: 2		intermedia	pequeña embarcación	1,03
D	PF: 1		cercana	pequeña embarcación	1,06
E	PF: 1		intermedia	pequeña embarcación	0,94
F	PF: 1	1	cercana	pequeña embarcación	0,97
G	PF: 2		lejana	remolcador	0,64
H	PF: 1		intermedia	pequeña embarcación	0,83
I	PF: 1		intermedia	pequeña embarcación	0,81
J	PF: 1		intermedia	pequeña embarcación	0,82
K	PF: 1		intermedia	Fragata F-100	0,56
L	PF: 1		intermedia	Fragata F-100	0,69
M	PF: 1	2	lejana	pequeña embarcación	0,95

Identificador	Zona	Día	Distancia	Objeto de interés	Ratio
N	PF: 1		lejana	pequeña embarcación	0,86
Ñ	PF: 2		intermedia	pequeña embarcación	0,79
O			cercana	lancha de instrucción	1,4
P			cercana	hombre al agua	0,98
Q	PM	3	intermedia	lancha de instrucción	0,73
R			cercana	pequeña embarcación	1,08
S	PF: 3	4	cercana	pequeña embarcación	1,1
T			intermedia	pequeña embarcación	0,81
U			cercana	lancha de instrucción	0,94
V			intermedia	lancha de instrucción	0,96
W	PM	5	intermedia	lancha de instrucción	1,04
X			intermedia	lancha de instrucción	1,05
Y			cercana	lancha de instrucción	1,03
Z			cercana	pequeña embarcación	0,61

Tabla 4-1 Resultados obtenidos mediante la cámara visual. Nota: PF significa Plataforma Fija, PM significa Plataforma Móvil

Tal y como se comentó anteriormente, en la Figura 4-1, se muestra la gráfica representativa de los ratios obtenidos para cada una de las imágenes tomadas. En ella se recalca el ratio igual a 1, para dar una idea visual de cuántas imágenes están realmente lejos del 1 y cuáles son, siendo estas en las que mejor se apreciaría el objeto.

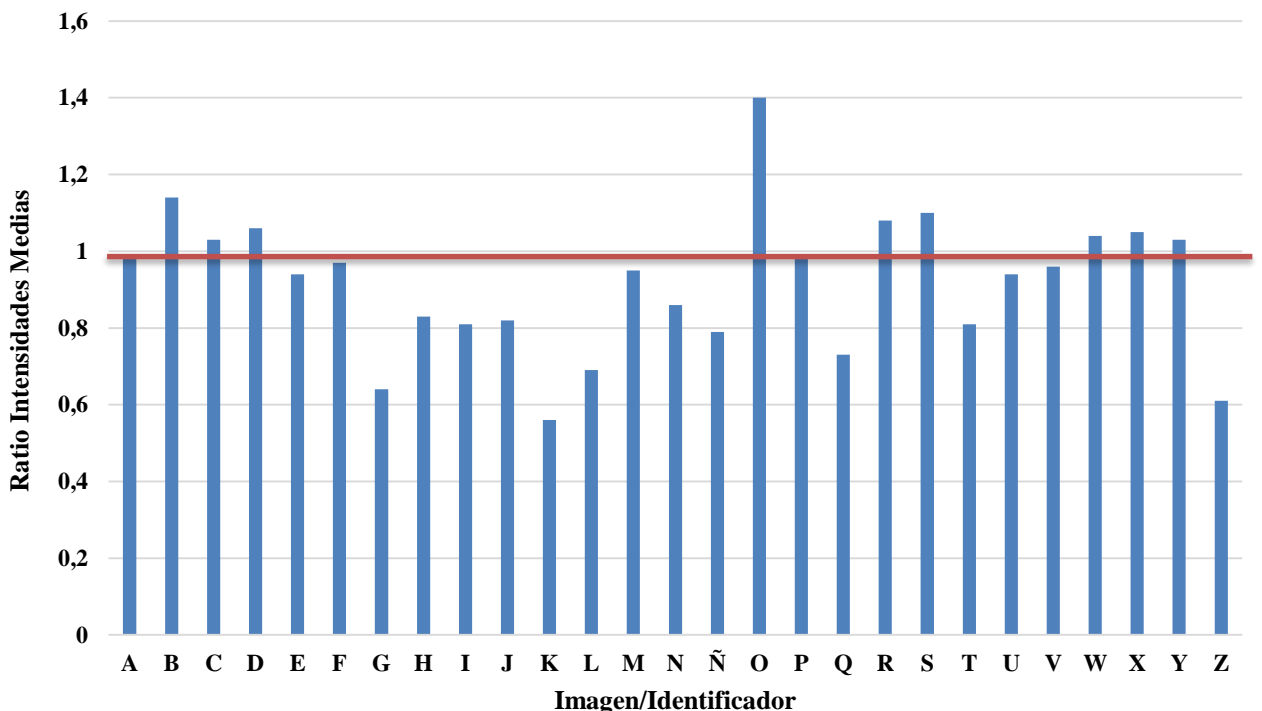


Figura 4-1 Gráfica ratios correspondientes a la cámara visual

Con una diferencia mayor de 0,2, se tiene por encima la imagen “O”, y por debajo a las imágenes “G”, “K”, “L”, “Ñ”, “Q” y “Z”. La “O” y “Q” fueron en el día soleado en la plataforma móvil, observando una lancha de instrucción desde una distancia cercana e intermedia, respectivamente, de ahí su valor, es decir, día bueno, distancia corta o media y objeto grande. “G”, “K” y “L” fueron en el día

sin lluvia, prácticamente de noche, desde las Zonas 1 y 2, en distancias intermedias y lejanas. A pesar de ser prácticamente de noche y distancias no cortas, los ratios fueron distantes de 1 porque los objetos de interés analizados eran de gran envergadura (remolcador y fragata). Los valores de los ratios para objetos de menor tamaño fueron cercanos a 1, véase por ejemplo de la “B” a la “F”. “Ñ” fue en el día sin lluvia prácticamente de día, pero siendo de 0,79, debido a ser un objeto pequeño y a media distancia. “Z” fue en el día lluvioso en la plataforma móvil, pero a distancia cercana.

4.1.2 Datos cámara IR FLIR E85

En segundo lugar, la Tabla 4-2 muestra los datos obtenidos por la cámara infrarroja FLIR E85.

Identificador	Zona	Día	Distancia	Objeto de interés	Ratio
A	PF: 2		lejana	remolcador	1,05
B	PF: 2		lejana	pequeña embarcación	1,32
C	PF: 2		intermedia	pequeña embarcación	1,28
D	PF: 1		cercana	pequeña embarcación	1,14
E	PF: 1		intermedia	pequeña embarcación	1,18
F	PF: 1	1	cercana	pequeña embarcación	1,33
G	PF: 2		lejana	remolcador	1,23
H	PF: 1		intermedia	pequeña embarcación	1,21
I	PF: 1		intermedia	pequeña embarcación	1,16
J	PF: 1		intermedia	pequeña embarcación	1,14
K	PF: 1		intermedia	Fragata F-100	0,98
L	PF: 1		intermedia	Fragata F-100	1,25
M	PF: 1		lejana	pequeña embarcación	1,2
N	PF: 1	2	lejana	pequeña embarcación	1,14
Ñ	PF:2		intermedia	pequeña embarcación	1,17
O			cercana	lancha de instrucción	1,25
P	PM	3	cercana	hombre al agua	1,54
Q			intermedia	lancha de instrucción	1,41
R			cercana	pequeña embarcación	1,24
S	PF: 3	4	cercana	pequeña embarcación	0,99
T			intermedia	pequeña embarcación	0,95
U			cercana	lancha de instrucción	1,2
V			intermedia	lancha de instrucción	1,18
W	PM	5	intermedia	lancha de instrucción	1,18
X			intermedia	lancha de instrucción	1,16
Y			cercana	lancha de instrucción	1,3
Z			cercana	pequeña embarcación	1,03

Tabla 4-2 Datos obtenidos mediante la cámara infrarroja FLIR E85. Nota: PF significa Plataforma Fija, PM significa Plataforma Móvil

Adicionalmente, se muestra en la Figura 4-2 la correspondiente gráfica con los datos pertenecientes a la Tabla 4-2. Como en el caso previo, en ella se recalca el ratio igual a 1, para dar una idea visual de cuántas imágenes están realmente lejos del 1 y cuáles son, siendo las que mejor se apreciaría el objeto.

Con una diferencia mayor de 0,2, se tiene por encima las imágenes “B”, “C”, “F”, “G”, “H”, “L”, “O”, “P”, “Q”, “R” e “Y”. 11 imágenes en total frente a 7 de las imágenes visibles con diferencias mayores a 0,2 de ratios frente al valor de 1, demostrando las ventajas de las cámaras termográficas a la hora de localizar y seguir objetos. Incluso en días prácticamente de noche a distancias lejanas y objetos

pequeños (“B”), hombre al agua (“P”) y objetos grandes a media distancia (“Q”) en plataformas móviles en días soleados, y objetos en días lluviosos también en plataformas móviles (“Y”).

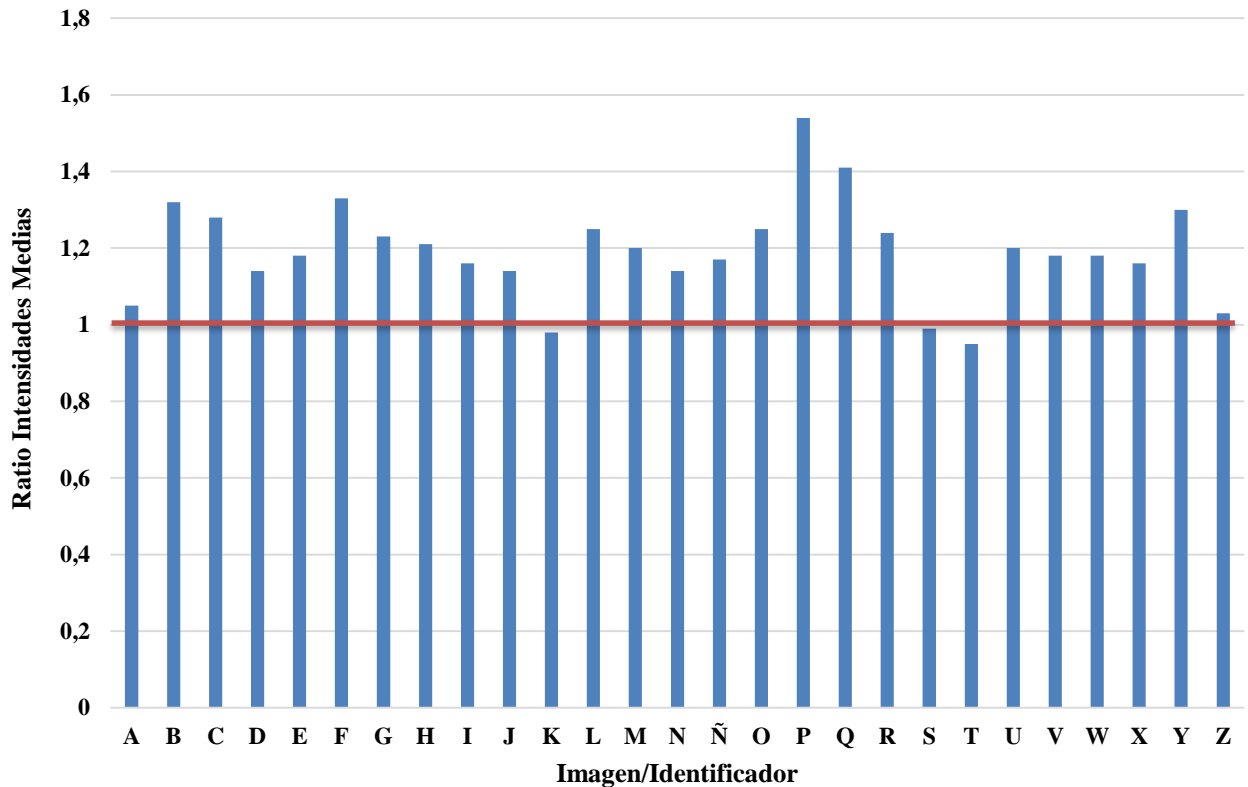


Figura 4-2 Gráfica ratios cámara infrarroja FLIR E85

4.1.3 Datos cámara IR FLIR One Edge

En tercer lugar, en la Tabla 4-3 se muestran los datos obtenidos mediante la alternativa *low cost*, la FLIR One Edge.

Identificador	Zona	Día	Distancia	Objeto de interés	Ratio
A	PF: 2		lejana	remolcador	0,92
B	PF: 2		lejana	pequeña embarcación	0,98
C	PF: 2		intermedia	pequeña embarcación	0,93
D	PF: 1		cercana	pequeña embarcación	0,91
E	PF: 1		intermedia	pequeña embarcación	0,91
F	PF: 1	1	cercana	pequeña embarcación	0,91
G	PF: 2		lejana	remolcador	0,94
H	PF: 1		intermedia	pequeña embarcación	0,95
I	PF: 1		intermedia	pequeña embarcación	0,96
J	PF: 1		intermedia	pequeña embarcación	0,99
K	PF: 1		intermedia	Fragata F-100	0,92
L	PF: 1		intermedia	Fragata F-100	0,96
M	PF: 1		lejana	pequeña embarcación	0,99
N	PF: 1	2	lejana	pequeña embarcación	0,99
Ñ	PF: 2		intermedia	pequeña embarcación	1,02
O	PM	3	cercana	lancha de instrucción	1,09

Identificador	Zona	Día	Distancia	Objeto de interés	Ratio
P			cercana	hombre al agua	0,87
Q			intermedia	lancha de instrucción	1,17
R			cercana	pequeña embarcación	0,93
S	PF: 3	4	cercana	pequeña embarcación	0,97
T			intermedia	pequeña embarcación	0,98
U	PM	5	cercana	lancha de instrucción	0,98
V			intermedia	lancha de instrucción	1,09
W			intermedia	lancha de instrucción	1,21
X			intermedia	lancha de instrucción	0,95
Y			cercana	lancha de instrucción	0,94
Z			cercana	pequeña embarcación	1,11

Tabla 4-3 Datos obtenidos mediante la cámara infrarroja FLIR One Edge. Nota: PF significa Plataforma Fija, PM significa Plataforma Móvil

Asimismo, en la Figura 4-3, se muestra la gráfica que representa los datos pertenecientes a la Tabla 4-3. Como en el caso previo, en ella se recalca el ratio igual a 1, para dar una idea visual de cuántas imágenes están realmente lejos del 1 y cuáles son, siendo las que mejor se apreciaría el objeto.

Con una diferencia mayor de 0,2, se tiene únicamente la imagen “W”, demostrando así la limitación de las cámaras *low cost* frente a cámaras de alta gama. Aun así, dicha imagen fue tomada desde la plataforma móvil con día lluvioso y a distancia media, aunque se trata de un objeto de gran envergadura (lancha). De todas formas, en el apartado siguiente se muestra realmente la prestación de cada cámara térmica frente a la visual para así realizar una comparación más precisa.

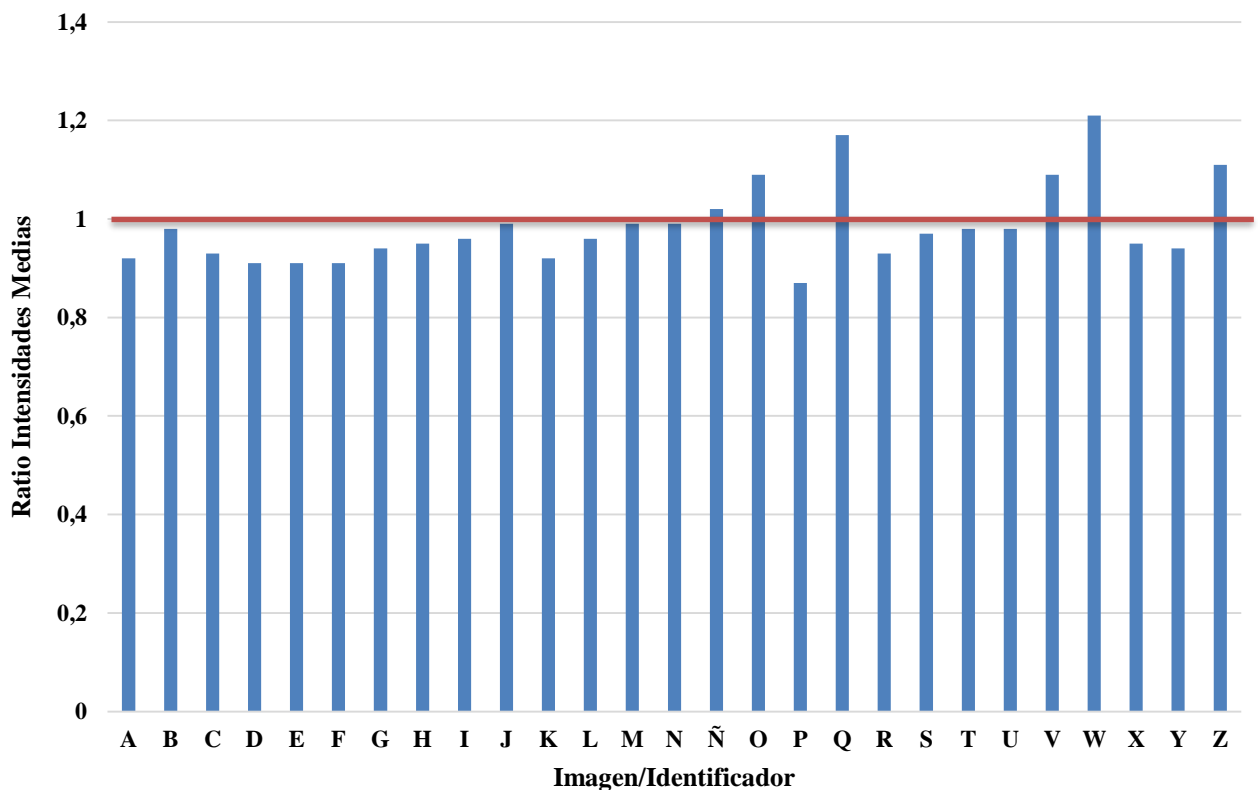


Figura 4-3 Gráfica ratios cámara infrarroja FLIR One Edge

4.1.4 Datos comparativos cámaras FLIR E85 y One Edge frente a cámara visual

Finalmente, la Tabla 4-4 muestra los datos finales que representan la comparativa entre los dos tipos de imágenes capturadas a lo largo del trabajo. Para ello, se han cogido los datos de los ratios, tanto de la cámara visual, como de ambas cámaras infrarrojas. Posteriormente se ha realizado una diferencia absoluta restando el valor 1 a cada ratio, para así obtener el contraste con el que el objeto de interés se ve con respecto al entorno en el que se encuentra. En último lugar, se han cogido las diferencias calculadas en el paso anterior y se han realizado tanto la diferencia entre la cámara infrarroja FLIR E85 y la cámara visual como la diferencia entre la cámara infrarroja FLIR One Edge (alternativa *low cost*) y la cámara visual de nuevo, obteniéndose la tabla que a continuación se muestra. De acuerdo con lo explicado, la obtención de un valor positivo significa que, en la cámara térmica, bien sea la FLIR E85 como la FLIR One Edge, se aprecia mejor el objeto de interés frente a la cámara visible.

Identificador	Flir E85 vs Visible	Flir One Edge vs Visible
A	0,04	0,07
B	0,18	-0,12
C	0,25	0,04
D	0,08	0,03
E	0,12	0,03
F	0,3	0,06
G	-0,13	-0,3
H	0,04	-0,12
I	-0,03	-0,15
J	-0,04	-0,17
K	-0,42	-0,36
L	-0,06	-0,27
M	0,15	-0,04
N	0	-0,13
Ñ	-0,04	-0,19
O	-0,15	-0,31
P	0,52	0,11
Q	0,14	-0,1
R	0,16	-0,01
S	-0,09	-0,07
T	-0,14	-0,17
U	0,14	-0,04
V	0,14	0,05
W	0,14	0,17
X	0,11	0
Y	0,27	0,03
Z	-0,36	-0,28

Tabla 4-4 Comparativa entre las cámaras térmicas y la cámara visual

A continuación, la Figura 4-4 muestra la representación gráfica de los datos presentados en la Tabla 4-4, pudiéndose observar los resultados de la prestación de cada una de las cámaras térmicas con respecto a la visual. Dicha prestación, y por tanto la Tabla 4-4 como la Figura 4-4, se discute con más detalle en el siguiente apartado.

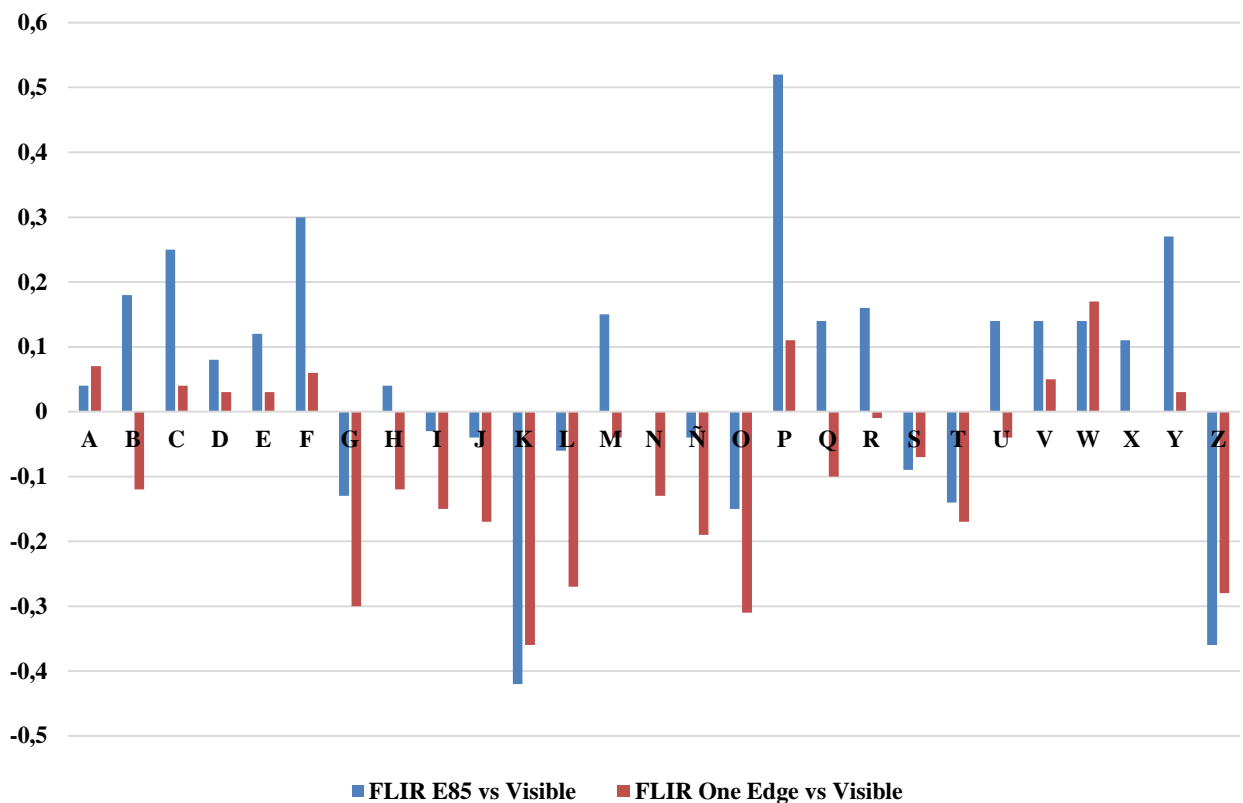


Figura 4-4 Gráfica comparativa entre las cámaras térmicas y la cámara visual

4.2 Discusión

Como se ha mencionado en el punto anterior, la Tabla 4-4 y Figura 4-4 muestran los resultados comparativos de ambas cámaras térmicas con respecto a la cámara visual para cada imagen obtenida. Todos los resultados que oscilen entre -0,1 y 0,1 no van a ser discutidos en detalle, ya que se ha establecido ese rango como el máximo en el que la diferencia de calidad de visualización de un objeto determinado con respecto al entorno en el que se encuentra es prácticamente indiferente en ambas cámaras, es decir, que tanto la cámara visual como la cámara térmica captan el objeto con el mismo contraste frente al entorno y, por tanto, ambas son de la misma utilidad en ese caso específico.

De las 27 imágenes tomadas e investigadas (de la A a la Z), únicamente tres imágenes (“A”, “D” y “S”) tienen ambas cámaras, FLIR E85 frente a cámara visible y FLIR One Edge frente a visible, en el rango de -0,1 a 0,1. Por tanto, en las restantes 24 imágenes existentes, por lo menos en una de las dos cámaras térmicas existe un resultado, ya sea positivo o negativo, mayor a ese rango de -0,1 a 0,1 con respecto a la cámara visual. De ahí se muestra un indicio de la variabilidad de prestación entre las dos cámaras térmicas.

En el caso de la FLIR E85, 9 imágenes de dicha cámara (“A”, “D”, “H”, “I”, “J”, “L”, “N”, “Ñ” y “S”) se encuentran en el rango mencionado anteriormente (-0,1 a 0,1), por lo que no se discutirá por la justificación dada en el primer párrafo. Por otro lado, en el caso de la FLIR One Edge, existen 13 imágenes (“A”, “C”, “D”, “E”, “F”, “M”, “Q”, “R”, “S”, “U”, “V”, “X” y “Y”) en las que el resultado se encuentra dentro de ese mismo rango, por lo que tampoco serán analizadas. Se observa así que no se llega a la mitad de los casos con las cámaras térmicas y visual con prestaciones semejantes, siendo razonable al ser de diferentes bandas espectrales.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los valores positivos, que significa, a modo recordatorio, que el contraste entre objeto y entorno es mayor en cámara térmica frente a visual y por tanto mejor

visualización y localización del objeto, se puede decir que la cámara FLIR E85 es superior a la FLIR One Edge en 14 casos (“B”, “C”, “D”, “E”, “F”, “H”, “M”, “P”, “Q”, “R”, “U”, “V”, “X” y “Y”), mientras que la última es únicamente superior a la primera en 2 casos (“A” y “W”), y la diferencia es mínima. Se vuelve a demostrar que se compensa el mayor coste económico de la cámara de alta gama arrojando mejores prestaciones.

Adicionalmente, la FLIR One Edge es incluso inferior a la cámara visual en 17 casos (“B”, “G”, “H”, “I”, “J”, “K”, “L”, “M”, “N”, “Ñ”, “O”, “Q”, “R”, “S”, “T”, “U” y “Z”), factor para tener en cuenta, ya que, como se mencionó con anterioridad, de las 27 imágenes presentes, en el caso específico de la alternativa *low cost*, en 13 imágenes la diferencia entre la cámara térmica y la visual es indiferente, y únicamente en 2 casos la cámara térmica supera a la visual en más de 0,1 como resultado (“P” y “W”). En otras palabras, hay 12 casos críticos para la FLIR One Edge (“B”, “G”, “H”, “I”, “J”, “K”, “L”, “N”, “Ñ”, “O”, “T” y “Z”).

En lo que respecta a la FLIR E85, esta es superior a la cámara visual en 16 casos (“A”, “B”, “C”, “D”, “E”, “F”, “H”, “M”, “P”, “Q”, “R”, “U”, “V”, “W”, “X” y “Y”), mientras que la visual es superior en 10 de los 27 casos (“G”, “I”, “J”, “K”, “L”, “Ñ”, “O”, “S”, “T” y “Z”) y 1 indiferente (“N”). Fuera del rango -0,1 a 0,1, mejor la cámara térmica en 13 casos (“B”, “C”, “E”, “F”, “M”, “P”, “Q”, “R”, “U”, “V”, “W”, “X” y “Y”) y la visible en 5 casos (“G”, “K”, “O”, “T” y “Z”).

La Tabla 4-5 y la Tabla 4-6 muestran un resumen de las cuantificaciones de prestaciones hechas en este apartado, entre las cámaras térmicas y las cámaras visibles, y propiamente entre las cámaras térmicas, respectivamente.

Prestación	Indiferente (-0,1 a 0,1) (% sobre total)	Superior (> 0,1) (% sobre total)	Inferior (< 0,1) (% sobre total)
FLIR E85 vs Visible	9 (33,33%)	13 (48,17%)	5 (18,5%)
FLIR One Edge vs Visible	13 (48,17%)	2 (7,39%)	12 (44,44%)

Tabla 4-5 Comparativa prestación entre las cámaras térmicas y la cámara visual

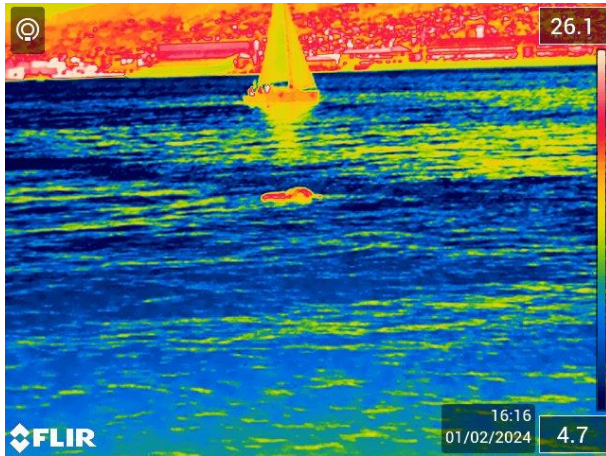
Prestación	Superior (% sobre total)	Inferior (% sobre total)
FLIR E85 vs FLIR One Edge	14 (87,5%)	2 (12,5%)

Tabla 4-6 Comparativa prestación entre las cámaras térmicas

Por tanto, en términos generales, se puede observar una clara ventaja por parte de la FLIR E85 (cámara de alta gama) con respecto a la FLIR One Edge (alternativa *low cost*) y la cámara visual, y una notable ventaja de la cámara visual con respecto a la FLIR One Edge en cuanto a la prestación de detección de un objeto en un entorno determinado se refiere. Aun así, hay casos donde es mejor la cámara One Edge tanto frente a la visible como a la E85, casos que, aunque sea un número reducido vale la pena tenerlo en cuenta debido al precio económico y competitivo de esas cámaras *low cost*. Asimismo, existe una cantidad notable de imágenes en las que la diferencia entre FLIR E85 y FLIR One Edge es considerable, tales como la imagen “C”, “F”, “P” o “Y”.

Por otro lado, cabe destacar que se identifican una serie de imágenes con peculiaridades debido a los resultados que se han mostrado. En primer lugar, se encuentra la imagen “P” tomada a bordo de la plataforma móvil el 1 de febrero de 2024 con condiciones meteorológicas favorables (día 3). Esta imagen presenta una diferencia positiva, en cuanto a cifras se refiere, entre la FLIR E85 y la cámara visual (0,52), y también entre la FLIR One Edge y la cámara visual, aunque en menor valor, pero mayor de 0,1 (0,11)

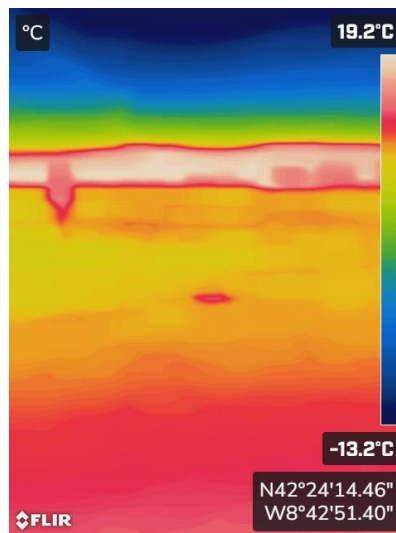
(véase Figura 4-5). Su peculiaridad se debe a que el objeto de interés es una simulación de un hombre al agua, por lo que se trata de un objeto cuya radiación térmica es difícilmente captable por las cámaras térmicas. No obstante, la cámara FLIR E85 consigue captar la poca radiación térmica del objeto con facilidad mientras que la alternativa *low cost*, con algo más de dificultades, también la capta. En la Figura 4-5 se pueden observar las 3 imágenes. Esta mayor prestación en las cámaras térmicas, incluido la *low cost*, es un aspecto interesante al simular dicho objeto de interés un náufrago en el agua.



a)



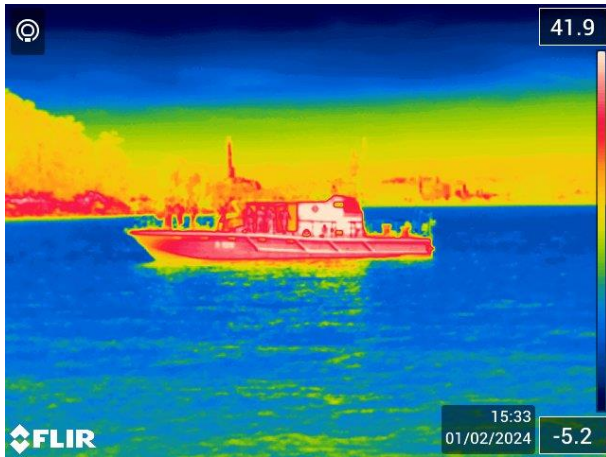
b)



c)

Figura 4-5 Imagen “P” tomada con (a) la cámara FLIR E85, (b) la cámara visual (b) y (c) la cámara FLIR One Edge

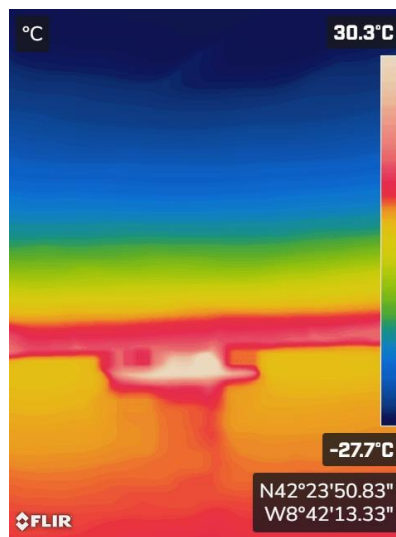
En segundo lugar, se encuentra la imagen “O”, tomada a bordo de la plataforma móvil el mismo día que la imagen anterior y en condiciones meteorológicas similares (día 3). Esta imagen encuentra su peculiaridad en el entorno con respecto al objeto de interés. El entorno, especialmente el fondo, no es uniforme, por lo que ambas cámaras térmicas no consiguen diferir en su totalidad la radiación térmica del objeto de interés con la del entorno que la rodea. Esto se puede observar especialmente en la imagen térmica de la cámara FLIR One Edge, la imagen c), en la que el objeto de interés es prácticamente una prolongación del fondo del entorno en el que se encuentra (véase Figura 4-6). De ahí la importancia en las adquisiciones de imágenes térmicas de centrar el objeto siempre en un fondo del mismo material para evitar resultados negativos frente a cámaras visibles (Tabla 4-4 y Figura 4-4).



a)



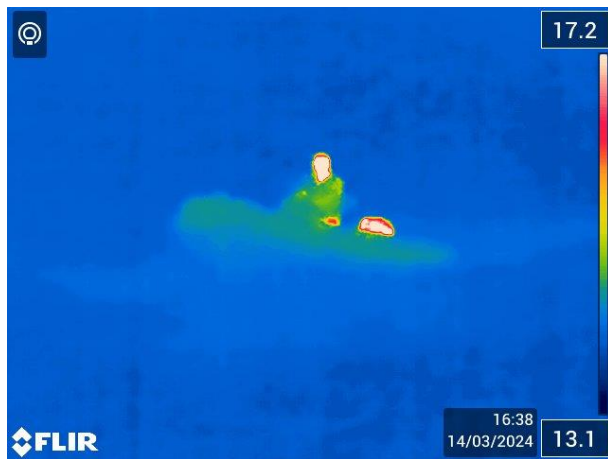
b)



c)

Figura 4-6 Imagen “O” tomada con (a) la cámara FLIR E85, (b) la cámara visual y (c) la cámara FLIR One Edge

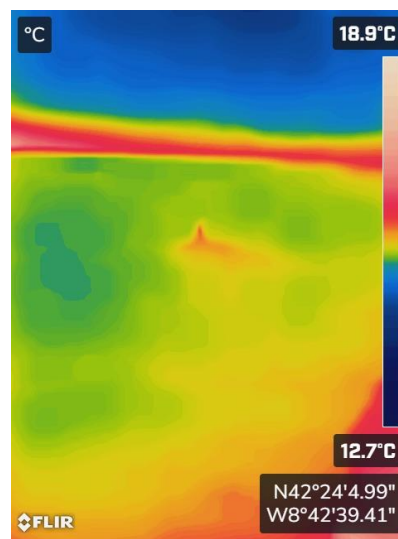
En tercer lugar, se encuentra la imagen “Z”, tomada a bordo de la plataforma móvil el 14 de marzo de 2024 con condiciones meteorológicas adversas, con presencia de lluvia, niebla y otros factores que redujeron la visibilidad el día de la toma de dicha imagen (día 5). La particularidad de esta imagen se encuentra en el estado de la mar, ya que era de marejada (0,5-1,25 m de altura), y por tanto actuaba de espejo, dificultando así la obtención de la radiación térmica del objeto de interés. Por tanto, mediante esta imagen se puede observar cierta limitación a la hora de tomar imágenes de objetos en entornos marinos en condiciones meteorológicas de este tipo. No obstante, el efecto espejo no es habitual en la toma de imágenes, como se puede observar en las restantes imágenes adquiridas en el día 5, incluso para las imágenes obtenidas con la *low cost*, por lo que, a pesar de ser un factor que va a tener que ser tomado en consideración para futuras investigaciones, no se trata de un agente determinante para dichos ensayos. La Figura 4-7 muestra las imágenes de las tres cámaras, pudiendo observarse en la imagen a) y c), perteneciente a la cámara FLIR E85 y FLIR One Edge, las consecuencias que tiene el efecto espejo sobre la radiación térmica del objeto de interés.



a)



b)



c)

Figura 4-7 Imagen “Z” tomada con (a) la cámara FLIR E85, (b) la cámara visual y (c) la cámara FLIR One Edge

Finalmente, se encuentra la imagen “K”, imagen de especial interés debido a su aplicación directa con el aspecto estratégico de buques de guerra de la Armada Española. La presente imagen fue tomada desde la Zona 1 de la plataforma estática, el 24 de enero de 2024 en condiciones meteorológicas favorables (día 1). Se trata de un buque de guerra, más específicamente la Fragata Blas de Lezo (F-103) entrando en el puerto comercial de Marín. La peculiaridad de esta imagen se encuentra en el objeto de interés en sí, ya que los buques de guerra tienen la capacidad de, mediante diferentes equipos y sistemas, reducir su firma infrarroja, especialmente en zonas con mayor radiación térmica, como la cámara de máquinas o las chimeneas con los gases de escape [50]. Por tanto, en esta imagen se puede observar la limitación del uso de cámaras termográficas con fines estratégicos, como detección de unidades enemigas sin importar su tamaño (véase Figura 4-8 y los valores negativos en la Tabla 4-4 y Figura 4-4), aunque de nuevo el fondo no es uniforme y habría que realizar más casos de estudio semejantes.

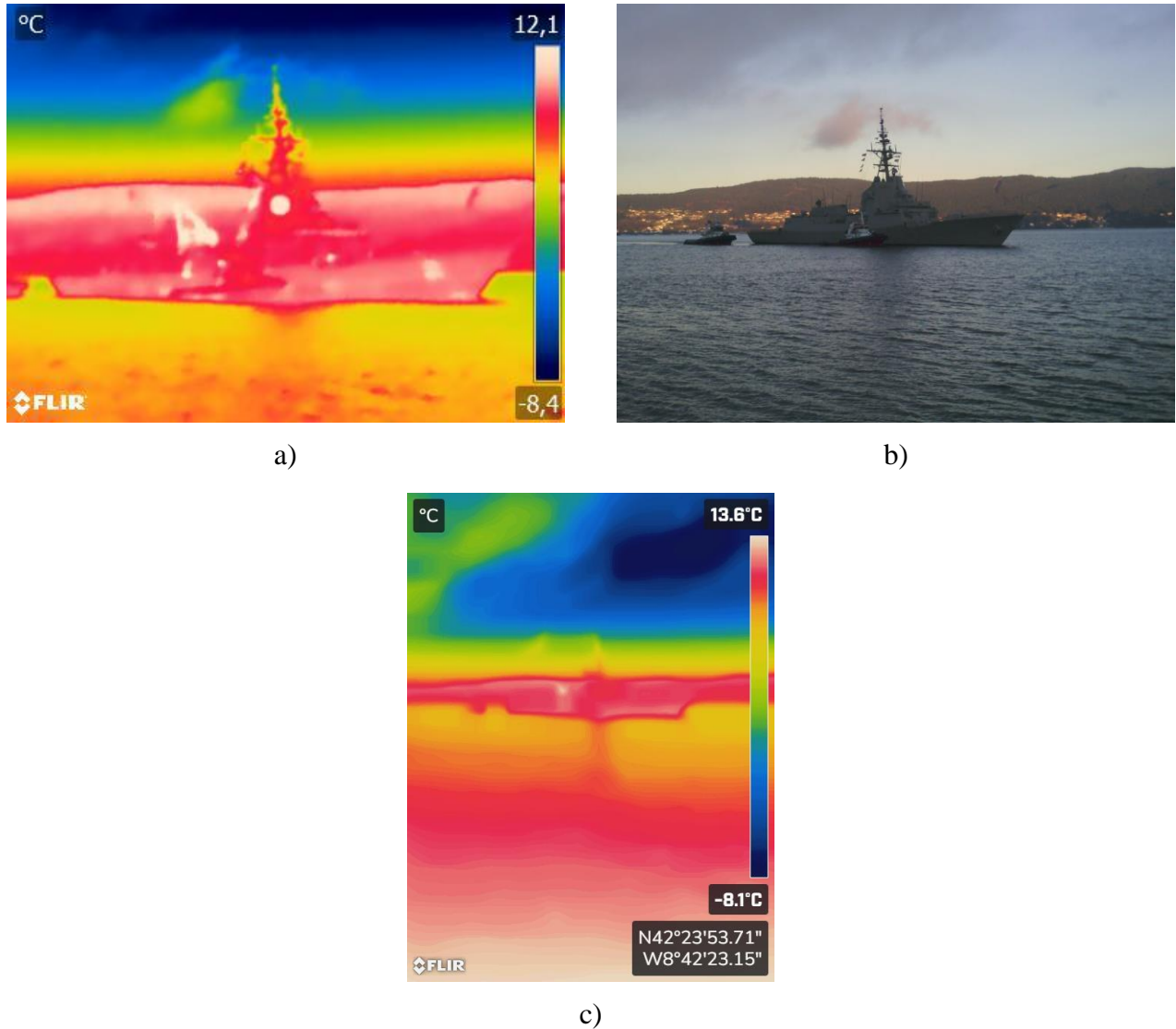
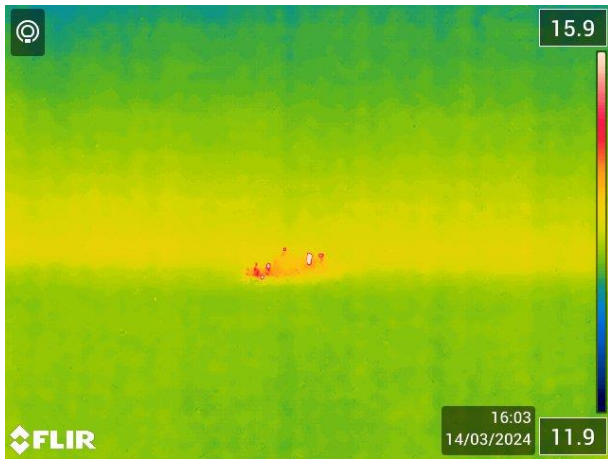


Figura 4-8 Imagen “K” tomada con (a) la cámara FLIR E85, (b) la cámara visual (b) y (c) la cámara FLIR One Edge

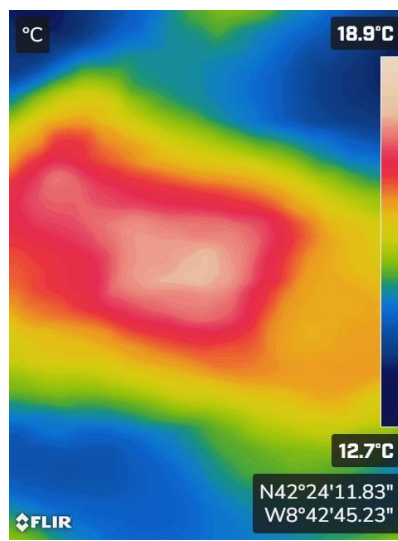
A la vista de los resultados obtenidos, se puede observar cómo las imágenes térmicas, en general, pueden resultar de gran utilidad para la detección de objetos de interés frente a sus homólogas visibles, sobre todo en condiciones meteorológicas adversas en las que las imágenes visibles no permiten diferenciar, en muchos casos, la detección de buques u otros objetos. La cámara térmica de alta gama FLIR E85 iguala e incluso supera en buena parte de los casos analizados con respecto a la cámara visible, y frente también a la cámara *low cost*, independientemente de la zona, día, distancia y objeto de interés. En cuanto a la FLIR One Edge, más limitado por su menor coste económico de adquisición, en varios casos se iguala a la cámara visible, e incluso la supera, siendo en esos casos en concreto donde mayor productividad y uso se le puede dar a dicha tecnología. Viene siendo las imágenes “A”, “C”, “D”, “E”, “F”, “P”, “V”, “W” y “Y”, con valores positivos, sobre todo “P” y “W” (Tabla 4-4 y Figura 4-4). En otras palabras, la cámara *low cost* trabaja bien en plataformas móviles localizando objetos pequeños flotando en el agua a distancia corta (hombre al agua) (“P” (véase Figura 4-5) e incluso objetos grandes en condiciones de lluvia a media distancia (“W” (véase Figura 4-9), siendo en las otras imágenes también resultados aceptables “U”, “V”, “X” e “Y”), casos que hay que seguir analizando en el futuro para evaluar su grado de repetibilidad.



a)



b)



c)

Figura 4-9 Imagen “W” tomada con (a) la cámara FLIR E85, (b) la cámara visual (b) y (c) la cámara FLIR One Edge

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Teniendo en cuenta los objetivos establecidos en el apartado 1.2, y tras la valoración de los apartados de desarrollo del TFG y de los resultados obtenidos, se puede afirmar con certeza que se han cumplido todos los propósitos establecidos al comienzo del trabajo.

En primer lugar, no solo se ha demostrado la utilidad de las cámaras termográficas en su uso como control de aparición y desaparición de objetos de interés en condiciones climáticas adversas en entornos marinos, si no que se ha demostrado una mayor fiabilidad y seguridad en entornos climáticos desfavorables sobre otros equipos (Radar, AIS, etc.). La comparación entre ambas cámaras termográficas empleadas, y la cámara visual, ha revelado una mejora considerable en la cámara FLIR E85 en numerosos casos frente a la cámara visual, y en ciertos casos determinados en la alternativa *low cost*, la FLIR One Edge.

Las mejoras mencionadas con anterioridad han sido conseguidas mediante la creación, satisfactoria, del código, que ha demostrado, mediante datos numéricos, las presentes diferencias entre todas las cámaras, para poder llevar a cabo una investigación basada en datos, aparte de en las observaciones y comparaciones visuales.

Por otro lado, el uso de la termografía infrarroja ha demostrado una gran eficiencia en las diferentes plataformas desde las que se han obtenido imágenes, tanto la móvil como la estática. Esto, unido a su capacidad para tomar imágenes en diferentes entornos y condiciones ambientales, cumplido también satisfactoriamente en el presente trabajo, demuestra la versatilidad del uso de la termografía infrarroja en todo tipo de escenarios dentro de uno de los entornos más desafiantes y cambiantes, la mar.

Adicionalmente, se ha demostrado su mayor accesibilidad, movilidad y facilidad de uso frente a los otros equipos presentes en las embarcaciones, que en su mayoría de casos requieren de cursos o largos períodos de tiempos de adaptación, frente a las ventajas y mayor capacidad de adaptación que ofrecen ambas cámaras termográficas empleadas.

Finalmente, se ha manifestado un gran potencial por parte de la cámara FLIR One Edge. Su buena respuesta en plataformas móviles, especialmente en la localización de objetos pequeños en distancias cortas, o incluso objetos grandes a distancias considerables en condiciones climáticas adversas, unido a su precio accesible a un amplio rango de personas y organizaciones teniendo en cuenta sus recursos, hace de este equipo una alternativa fiable, segura, de fácil adaptación e implementación en organizaciones de gran envergadura como es el caso de la Armada Española.

5.2 Líneas futuras

A pesar de haber cumplido todos los objetivos establecidos al comienzo del trabajo, existen una serie de aspectos para tener en cuenta en el futuro, ya sean cambios, mejoras o posibles desarrollos basados en el presente estudio.

En primer lugar, se propone investigar ambas cámaras por separado, pero manteniendo el entorno del presente TFG. Ambos equipos tienen un gran potencial en el entorno marino, no obstante, cada uno de los sistemas ha mostrado fortalezas y debilidades. Por tanto, es de gran relevancia investigar cada una de las cámaras en específico, para así obtener sus verdaderas ventajas, desventajas y ámbitos específicos de aplicación.

Por otro lado, se propone la investigación en detalle e implementación de posibles mejoras con respecto al código creado, para la edición de imágenes y la obtención de los ratios necesarios. A pesar de haber dado resultados satisfactorios durante el transcurso del trabajo, no deja de ser una primera versión de un código al que se le pueden implementar numerosas mejoras para facilitar la edición de imágenes y la obtención de datos. Tales son las opciones como automatizar la edición de imágenes, desarrollar una mejora que consista en poder hacer zoom a la imagen a editar, para poder introducir los puntos con mayor exactitud, la capacidad de poder eliminar algún punto introducido sin tener que volver a editar la imagen de nuevo, o muchas otras posibilidades. Asimismo, se plantea que el código pueda calcular otros parámetros métricos de interés.

Otro aspecto para valorar es desarrollar un nuevo tema de investigación que sería la posible integración de nuevas tecnologías para automatizar el proceso de detección de objetos en entornos marinos. Entre estas tecnologías, se encuentran el desarrollo y diseño de un programa informático capaz de conseguir el objetivo de la propuesta, o incluso proponer el uso de la Inteligencia Artificial (IA) para que se ocupe de la detección, clasificación y almacenamiento de toda información obtenida mediante estos equipos.

Finalmente, se propone el desarrollo de un trabajo que se base en la comparación de las cámaras térmicas con sistemas de obtención de imágenes de espectros diferentes a la visual. Existen una serie de tecnologías emergentes que trabajan en espectros diferentes a los del infrarrojo. En este grupo se destacan los equipos que han demostrado una gran eficiencia y utilidad en diferentes escenarios, incluido el del presente trabajo: las cámaras hiperespectrales y las cámaras ultravioletas (UV). La primera, empleada principalmente en la industria agroalimentaria, junta las emisiones de diferentes espectros con una técnica denominada visión artificial, obteniendo así imágenes fiables, precisas y con una gran cantidad de información adicional [51]. Por otro lado, se encuentran las cámaras ultravioletas, empleadas en numerosos sectores. Estas, como dice su nombre, trabajan en el espectro ultravioleta, ofreciendo ventajas similares a las mencionadas anteriormente.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. M. Duarte, ‘La exploración de la biodiversidad marina Desafíos científicos y tecnológicos’, 2006.
- [2] ‘El papel de las administraciones públicas en la lucha contra la contaminación marina’, 2024. Accessed: Jan. 29, 2024. [Online]. Available: https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/plan-ribera/contaminacion-marina-accidental/papel_admon.html
- [3] L. Suma De Todos, ‘GUÍA DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA. Aplicaciones en ahorro’, 2011. [Online]. Available: www.madrid.org
- [4] J. Pablo Fernández Pereira Director and M. Ballbé Mallol, ‘Seguridad humana’, *TESIS DOCTORADO*, vol. 0, 2006, Accessed: Jan. 20, 2024. [Online]. Available: <https://ddd.uab.cat/record/36774>
- [5] T. Fin and D. E. Máster, ‘ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA E MÁQUINAS UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS’, 2021.
- [6] ‘DSN | Sitio oficial del Departamento de Seguridad Nacional’. Accessed: Mar. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.dsn.gob.es/>
- [7] N. Onur Bakir, ‘A Brief Analysis of Threats and Vulnerabilities in the Maritime Domain’, 2007. [Online]. Available: http://research.create.usc.edu/nonpublished_reports
- [8] N. Eugenia and P. Montoya, ‘Un reto para el derecho internacional público’, Accessed: Apr. 03, 2024. [Online]. Available: www.tdx.cat
- [9] ‘IMB Piracy Report January-June 2023 - SAFETY4SEA’. Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: <https://safety4sea.com/imb-piracy-report-january-june-2023/>
- [10] ‘Informe global de tráfico de migrantes 2018 | DSN’. Accessed: Mar. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.dsn.gob.es/es/actualidad/sala-prensa/informe-global-traffic-migrantes-2018>
- [11] J. Feal Vázquez, ‘LA AMENAZA DEL TERRORISMO EN EL ÁMBITO MARÍTIMO’, 2008.
- [12] ‘USS Cole bomber died in Yemen air strike - Trump’, 2019. Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/news/world-middle-east-46776626>
- [13] ‘UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID’, 2015.

- [14] D. V.-C. geográficos de la U. de and undefined 1975, ‘La pesca marítima en España’, *dialnet.unirioja.es*, Accessed: Apr. 03, 2024. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/1249258.pdf>
- [15] J. J. García and D. Hoyo, ‘La pesca como actividad económica’, 2005 doi: 10.13140/RG.2.1.2642.2245.
- [16] ‘estrategia de seguridad Marítima nacional’ 2013.
- [17] ‘ESTRATEGIA DE SEGURIDAD NACIONAL 2021’.
- [18] ‘Ley Orgánica 5/2005, de 17 de noviembre, de la Defensa Nacional’.
- [19] ‘Armada - Ministerio de Defensa - Gobierno de España’. Accessed: Mar. 05, 2024. [Online]. Available: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/iniciohome/prefLang-es/>
- [20] M. DE Defensa, ‘I. DISPOSICIONES GENERALES MINISTERIO DE DEFENSA’, 2020. [Online]. Available: <https://www.boe.es>
- [21] A. Ceferino Bermejo Díaz Alumna and A. Alonso Frey, ‘NUEVAS TECNOLOGÍAS DEL RADAR DE NAVEGACIÓN’, 2016.
- [22] D. Alexandrovich Akmaykin, ‘Theoretical Foundations of Radar Location and Radio Navigation’, 2021, <https://books.google.es/books?id=u1YIEAAAQBAJ&lpg=PR5&ots=Y01xHCsy0q&dq=what%20is%20a%20navigation%20radar&lr&hl=es&pg=PR4#v=onepage&q&f=false>, Accessed: Jan. 23, 2024. [Online]. Available: <https://books.google.es/books?id=u1YIEAAAQBAJ&lpg=PR5&ots=Y01xHCsy0q&dq=what%20is%20a%20navigation%20radar&lr&hl=es&pg=PR4#v=onepage&q&f=false>
- [23] Ü. Özdemir, ‘Electromagnetic field effects of marine radar systems on the ship crew’, <https://doi.org/10.1177/14750902221107733>, Jul. 2022, doi: 10.1177/14750902221107733.
- [24] E. S. Lee, A. J. Mokashi, S. Y. Moon, and G. S. Kim, ‘The Maturity of Automatic Identification Systems (AIS) and Its Implications for Innovation’, *Journal of Marine Science and Engineering* 2019, Vol. 7, Page 287, vol. 7, no. 9, p. 287, Aug. 2019, doi: 10.3390/JMSE7090287.
- [25] ‘What is AIS? Overview | Weatherdock’. Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.easyaais.com/en/ais-info/what-is-ais/>
- [26] ‘Buques de carga sujetos al Convenio SOLAS \geq 300 GT | Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible’. Accessed: Mar. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.transportes.gob.es/areas-de-actividad/marina-mercante/radiocomunicaciones/instalaciones-radioelectricas/buques-de-carga-sujetos-al-convenio-solas-300-gt>
- [27] K. Korcz, ‘GMDSS as a Data Communication Network for E-Navigation’, *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. Vol. 2, no. 3, 2008.
- [28] ‘GMDSS | ICS Electronics Ltd’. Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.icselectronics.co.uk/support/info/gmdss>
- [29] ‘La Cámara Fotográfica’. Accessed: Mar. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.fiscalab.com/apartado/camara-fotos>
- [30] S. D. Cardona, M. Rafael, E. Ospina, C. Universidad, D. Valle, and F. De Ingeniería, ‘CALIBRACIÓN EXTRÍNSECA ENTRE CÁMARAS TÉRMICA Y DE ESPECTRO VISIBLE PARA INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA’, 2014.

- [31] 'RNDS_128W'.
- [32] 'FLIR Systems | Sistemas de cámaras termográficas, de visión nocturna e infrarrojas | Teledyne FLIR'. Accessed: Mar. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.flir.es/>
- [33] M. Massoud, 'Engineering thermofluids: Thermodynamics, fluid mechanics, and heat transfer', *Engineering Thermofluids: Thermodynamics, Fluid Mechanics, and Heat Transfer*, pp. 1–1119, 2005, doi: 10.1007/B138870/COVER.
- [34] G. M. Carlomagno, 'Infrared Thermography in Thermo-Fluid-Dynamics' INFRARED THERMOGRAPHY IN THERMO-FLUID-DYNAMICS', 1994 Accessed: Mar. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/273071224>
- [35] J. N.-P. of Science and undefined 1987, 'The logical inconsistency of the old quantum theory of black body radiation', *cambridge.org/J NortonPhilosophy of Science, 1987*•*cambridge.org*, vol. 54, no. 3, pp. 327–350, 1987, Accessed: Mar. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.cambridge.org/core/journals/philosophy-of-science/article/logical-inconsistency-of-the-old-quantum-theory-of-black-body-radiation/0BB9A36B7A5BDF11A59CC08AEE8FF430>
- [36] 'Infrared Thermography: Fundamentals and Applications', *Non-Destructive Techniques for the Evaluation of Structures and Infrastructure*, pp. 159–184, Apr. 2016, doi: 10.1201/B19024-16.
- [37] R. Schacht, C. Gerner, T. Nowak, ... D. M.-... I. of Ic., and undefined 2010, 'Miniaturized black body radiator for IR-detector calibration—Design and development', *ieeexplore.ieee.org/R Schacht, CH Gerner, T Nowak, D May, B Wunderle, B Michel2010 16th International Workshop on Thermal Investigations of ICs, 2010*•*ieeexplore.ieee.org*, Accessed: Mar. 26, 2024. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5636354/>
- [38] 'Moropoulou, A.; Avdelidis, N.P.; Kouli, M.; Tzevelekos,... - Google Académico', 2000. Accessed: Mar. 26, 2024. [Online]. Available: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Moropoulou%2C+A.%3B+Avdelidis%2C+N.P.%3B+Kouli%2C+M.%3B+Tzevelekos%2C+I.+Determination+of+emissivity+for+building+materials+using+infrared+thermography&btnG=
- [39] I. Garrido, S. Lagüela, and P. Arias, 'Infrared thermography's application to infrastructure inspections', *Infrastructures*, vol. 3, no. 3. MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Sep. 12, 2018. doi: 10.3390/infrastructures3030035.
- [40] S. Bagavathiappan, B. B. Lahiri, T. Saravanan, J. Philip, and T. Jayakumar, 'Infrared thermography for condition monitoring - A review', *Infrared Physics and Technology*, vol. 60. pp. 35–55, 2013. doi: 10.1016/j.infrared.2013.03.006.
- [41] L. Spampinato, S. Calvari, C. Oppenheimer, and E. Boschi, 'Volcano surveillance using infrared cameras', *Earth-Science Reviews*, vol. 106, no. 1–2. pp. 63–91, May 2011. doi: 10.1016/j.earscirev.2011.01.003.
- [42] A. De Uso and Y. Publicación, 'UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA', 2022.
- [43] E. OSWALDO VARGAS PUERTO Director and J. Steven Vargas Cañón, 'ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS CAPACIDADES TÉCNICAS DE AERONAVES NO TRIPULADAS TERMOGRÁFICAS PARA LA VIGILANCIA', 2023.
- [44] A. A. S. Al Mansoori, I. N. Swamidoss, S. Sayadi, and A. Almarzooqi, 'Analysis of different tracking algorithms applied on thermal infrared imagery for maritime surveillance systems', *SPIE-Intl Soc Optical Eng*, Sep. 2020, p. 6. doi: 10.1117/12.2574793.
- [45] '2021GNSS-14', 2021.

- [46] ‘Palangre de superficie | Greenpeace España’. Accessed: Mar. 26, 2024. [Online]. Available: <https://archivo-es.greenpeace.org/espana/es/Trabajamos-en/Defensa-de-los-oceanos/pesca/artes-de-pesca/palangre-de-superficie/>
- [47] ‘Histórico da rede meteorolóxica - MeteoGalicia’. Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.meteogalicia.gal/observacion/estacionshistorico/historico.action?idEst=14005>
- [48] ‘Lista de estaciones - MeteoGalicia’. Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: https://www.meteogalicia.gal/observacion/rede/redeIndex.action?request_locale=es
- [49] ‘¿Es Python el lenguaje del futuro? - Paradigma’. Accessed: Mar. 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.paradigmadigital.com/dev/es-python-el-lenguaje-del-futuro/>
- [50] Enrique. Casanova Rivas, *Máquinas para la propulsión de buques*. Universidade da Coruña, Servicio de Publicaciones, 2001.
- [51] C. Garrido, ‘Aplicación de las cámaras hiperespectrales al control de calidad en la industria agroalimentaria’, 2019, Accessed: Mar. 30, 2024. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=233462&info=resumen&idioma=SPA>

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, Y/O ECONÓMICAS, Y/O AMBIENTALES

6.1 Implicaciones ambientales

La localización y seguimiento de objetos en entornos marinos con condiciones climáticas adversas mediante termografía infrarroja puede contribuir a la reducción del impacto ambiental asociado con la localización de objetos potencialmente peligrosos para el medioambiente, tales como derrames de combustible u otros tipos de líquidos contaminantes, recipientes de líquidos peligrosos que se encuentren a la deriva, o cualquier tipo de objeto nocivo arrojado por una embarcación.

Por otro lado, el uso de la termografía infrarroja en la detección de vertidos potencialmente peligrosos para el medio ambiente supondría una herramienta de utilidad a la hora de detectar la presencia de estos en una fase inicial pudiendo evitar así gran parte de las consecuencias catastróficas ambientales derivadas.

El empleo de la termografía infrarroja para la detección de objetos de interés en entornos marinos permite avanzar hacia una industria más sostenible en concordancia con los objetivos de la Agenda 2030 al contribuir a mejorar la calidad del agua, evitar el vertido de desechos pertenecientes a los buques, así como controlar las emisiones de gases de todo tipo de embarcaciones.

Una de las principales ventajas del uso de la termografía infrarroja es la reducción de gases de efecto invernadero mediante la prevención de estos en buques de diferente índole con la antelación suficiente como para realizar los cambios necesarios en los equipos de dicha embarcación para aplicarlo a los requisitos actuales que regulan la emisión de gases en el sector marítimo.

La termografía infrarroja es aplicable asimismo en el estudio ambiental de la zona, ya que, mediante estos equipos es posible estudiar el calentamiento presente del ambiente de un lugar determinado, así como sus principales causantes y sus posibles soluciones.

6.2 Implicaciones económicas

La localización y seguimiento de objetos en entornos marinos con condiciones climáticas adversas puede generar reducciones de coste significativas especialmente en el caso de las cámaras *low cost*, que, como bien dice su nombre, tienen un coste significativamente bajo, haciendo del aumento de la seguridad marítima un objetivo relativamente poco costoso y a corto plazo.

Por otro lado, la producción en masa de cámaras termográficas, con independencia del modelo, supondría un coste bajo para aquellas empresas del sector interesadas en la introducción de dichos equipos en sus embarcaciones, como en la Armada, cuya implementación se llevaría a cabo en todas las unidades de la Flota suponiendo unos costes relativamente bajos.

Adicionalmente, el uso de la termografía infrarroja para la prevención de derrames y otros vertidos similares con un impacto considerable sobre el medioambiente tendría además de una repercusión medioambientalmente positiva, un impacto económico también muy favorable pues con estas técnicas se podría proceder a la detección temprana de dichos vertidos evitando así el enorme despliegue de medios y el coste derivado de los mismos que es necesario para paliar las consecuencias de estos.

6.3 Implicaciones industriales

La incorporación de las técnicas de detección de objetos en entornos marinos mediante el uso de la termografía infrarroja puede mejorar la competitividad y posición de mercado de las empresas del sector marítimo al aumentar la eficiencia y precisión de los procesos de inspección del ecosistema marino.

La investigación y desarrollo en este campo pueden impulsar la innovación y el avance tecnológico en la industria naval, fomentando la adopción de soluciones más avanzadas y eficientes que mejoren la calidad y durabilidad del mar y lo que lo compone.

Además, se avanza hacia una industria más sostenible en concordancia con los objetivos de la Agenda 2030 al contribuir a mejorar la calidad del agua, evitar el vertido de desechos pertenecientes a los buques, así como controlar las emisiones de gases de todo tipo de embarcaciones.

6.4 Implicaciones sociales

La implementación de equipos de detección de objetos en el entorno marítimo puede mejorar significativamente la calidad de vida de las personas y del ecosistema al garantizar la seguridad de las embarcaciones que lo transitan.

La democratización de tecnologías de inspección avanzadas, como la termografía infrarroja *low cost*, puede reducir las disparidades sociales al brindar acceso a herramientas de seguridad y calidad a comunidades con recursos limitados.

Finalmente, el uso de la termografía infrarroja mejora la eficacia y rapidez de detección y rescate de embarcaciones en peligro u hombres al agua (MOB), asegurando la supervivencia de una mayor cantidad de personas, así como conservando la seguridad del personal encargada de llevar a cabo la acción de salvamento.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

6.5 Reflexiones éticas y sociales en la memoria del Trabajo Fin de Grado

A lo largo del desarrollo del presente trabajo, se han abordado diversas reflexiones éticas y sociales que se han reflejado en las diferentes secciones descritas. Estas reflexiones han surgido como resultado del análisis crítico de las implicaciones éticas y sociales asociadas con el uso de la termografía infrarroja para la detección de objetos, personas o incluso vertidos no deseados en entornos marinos.

6.6 Reflexión ética y social en el plano del trabajo desarrollado

A pesar de que el enfoque principal del trabajo se haya centrado en la mejora de la detección de objetos en el ecosistema marino a partir de equipos que empleen la termografía infrarroja, caben resaltar las implicaciones éticas y sociales inherentes a esta área de investigación. En este sentido, se plantea una reflexión sobre el impacto potencial del uso de la termografía infrarroja en diversos aspectos de la sociedad y el sector marítimo.

Desde una perspectiva ética, surgen numerosos aspectos para tener en cuenta, tales como la responsabilidad que conlleva el desarrollar sistemas dentro del marco de la seguridad marítima. No solo han de ser sistemas eficaces en su uso, sino que también han de ser seguros. Al fin y al cabo, se trata de garantizar la supervivencia de las personas en la mar y de aquellas encargadas del salvamento y rescate de estas en casos de peligro. Adicionalmente, la aparición de la alternativa *low cost*, convierte la termografía infrarroja en una técnica para el aumento de la seguridad marítima en la mar y el mantenimiento del ecosistema marino accesible para organizaciones con menos recursos, democratizando, como se mencionó en el apartado anterior, dichas tecnologías innovadoras.

En términos sociales, y al igual que en la perspectiva ética, el desarrollo de un sistema *low cost* de localización y seguimiento de objetos en el ecosistema marino mediante termografía infrarroja supone una gran mejora a nivel social en el aspecto ya mencionado anteriormente de la mayor accesibilidad a personas y organizaciones con menor capacidad adquisitiva, cuya principal consecuencia es la mayor participación de diversos actores nuevos para temas de gran importancia como son la seguridad marítima y mantenimiento del ecosistema marino. Adicionalmente, el uso de la termografía infrarroja en este aspecto tiene importantes consecuencias de cara a la concienciación de la población acerca de los peligros que presenta el entorno marino, especialmente en condiciones climáticas adversas, en los que factores de especial relevancia, como pueden ser la visibilidad o la capacidad de maniobra, se ven francamente afectados por diferentes fenómenos meteorológicos.