



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Integración de IA y RPAS en la
Vigilancia Portuaria: Desarrollo,
Aplicaciones y Perspectivas en el
Contexto Español**

Magdalena Ivars Soriano

Curso 2023-2024

Título: Integración de IA y RPAS en la Vigilancia Portuaria: Desarrollo, Aplicaciones y Perspectivas en el Contexto Español

Autor: Magdalena Ivars Soriano

Tutor: Ernesto de la Fuente Cantarino

Titulación: Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica (HCAP)

Curso: 2023 - 2024



RESUMEN

El informe "Integración de Inteligencia Artificial y Drones en la Vigilancia Portuaria: Desarrollo, Aplicaciones y Perspectivas en el Contexto Español" profundiza en la convergencia estratégica de la Inteligencia Artificial (IA) y los Sistemas Aéreos Pilotados Remotamente (RPAS) para transformar la vigilancia portuaria en España. Explorando desde la evolución histórica de los drones hasta su aplicación en tiempo real en entornos portuarios, el documento destaca los avances tecnológicos clave. Se analizan las complejidades técnicas, incluyendo diseño de drones, sensores avanzados y algoritmos de IA para el procesamiento eficiente de imágenes aéreas.

Los hallazgos revelan la capacidad de estos sistemas para mejorar significativamente la seguridad y eficiencia portuaria, permitiendo la detección temprana de amenazas y la respuesta rápida a situaciones de emergencia. Además, se demuestra que la implementación de estas tecnologías conlleva un notable Retorno de la Inversión (ROI), tanto en términos económicos como operativos.

Las conclusiones del informe subrayan la importancia de una regulación precisa para equilibrar la innovación tecnológica con las consideraciones éticas y de privacidad. También se destaca la necesidad de una formación especializada para operadores de drones y profesionales de IA, asegurando un uso responsable y seguro de estas tecnologías avanzadas. En última instancia, el informe resalta que la sinergia entre la Inteligencia Artificial y los drones representa un cambio paradigmático en la vigilancia portuaria, promoviendo un futuro más seguro y eficiente para los puertos españoles.

Palabras clave:

1. Inteligencia Artificial (IA)
2. Drones
3. Vigilancia Portuaria
4. Procesamiento de Imágenes Aéreas
5. Retorno de la Inversión (ROI)
6. Tecnología de Vigilancia Avanzada

Índice de contenidos

RESUMEN	5
Chapter 1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 Contexto y relevancia del estudio	11
1.2 Objetivos de la investigación.....	12
1.3 Metodología	13
1.4 Estructura del documento.....	13
Chapter 2. HISTORIA Y CLASIFICACIÓN DE LOS RPAS.....	14
2.1 Evolución de términos empleados	14
2.2 Evolución histórica de los RPAS.....	14
2.2.1 Introducción	14
2.2.2 Historia	14
2.3 Tipos y clasificaciones de RPAS	16
2.3.1 Componentes de un RPAS.....	16
2.3.2 Definición de RPA.....	16
2.3.3 Clasificación de los RPAS	17
2.4 Aplicaciones previas en vigilancia portuaria	20
Chapter 3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS RPAS	22
3.1 Diseño y estructura de los drones.....	22
3.1.1 Segmento aéreo	22
3.1.2 Segmento superficie.....	25
3.1.3 Enlace de datos	26
3.2 Sistemas de propulsión y autonomía	27
3.3 Sensores y tecnología de imagen a bordo	28
3.3.1 Resolución	29
3.3.2 Proceso de identificación	30
3.3.3 Tipos de sensores más comunes en RPAS.....	32
3.4 Comunicación y telemetría, alcance	33
Chapter 4. CONOCIMIENTO GENERAL DE AERONAVES	35

4.1	Principios de vuelo	35
4.2	Sistemas de control y navegación	36
4.3	Mantenimiento	36
4.4	Seguridad operacional.....	37
Chapter 5.	LEGISLACIÓN AÉREA Y NORMATIVA.....	38
5.1	Regulaciones internacionales sobre el uso de drones	38
5.2	Normativas específicas en España	38
5.3	Aspectos legales relacionados con la vigilancia y privacidad	39
Chapter 6.	APLICACIÓN DE IA EN EL PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN E IMÁGENES	41
6.1	Algoritmos de inteligencia artificial aplicados a imágenes aéreas.....	41
6.1.1	Detección y reconocimiento	41
6.1.2	Análisis de patrones y comportamientos.....	42
6.1.3	Reconocimiento y seguimiento.....	42
6.1.4	Análisis de imágenes multiespectrales	43
6.1.5	Corrección de distorsiones y mejora de calidad	44
6.2	Procesamiento de datos en tiempo real	44
6.3	Integración de sistemas de IA en RPAS	45
Chapter 7.	ESTUDIO DE CASO: VIGILANCIA DE UN PUERTO EN ESPAÑA.....	46
7.1	Descripción del puerto	46
7.1.1	Situación del puerto	47
7.1.2	Instalaciones.....	47
7.1.3	Cruceros	49
7.1.4	Integración puerto ciudad.....	50
7.1.5	Patrimonio arquitectónico	50
7.2	Desafíos de seguridad del puerto	51
7.3	Planificación de procedimiento de vigilancia del puerto con RPAS	52
7.3.1	Red privada 5G	52
7.3.2	Vuelo del RPAS	54
7.3.3	Plataforma de explotación de videos.....	55
7.4	Diseño del RPAS	55
7.5	Implementación del sistema de vigilancia	57
7.6	Resultados y análisis de la eficacia del sistema.....	58
7.6.1	Ventajas de la vigilancia con RPAS	58
7.6.2	Ventajas de la red privada 5G	59

7.6.3	Ventajas de plataforma de videos privada.....	60
7.6.4	Análisis de la Eficacia	61
Chapter 8.	ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	62
8.1	Implantación del sistema	62
8.2	Mantenimiento de los RPAS.....	63
8.2.1	Mantenimiento del M5D Airfox	63
8.2.2	Mantenimiento Akila e-Quad.....	66
8.2.3	Coste de mantenimiento de ambos RPAS.....	66
8.3	Beneficios operativos	67
8.3.1	Ahorro de personal	67
8.3.2	Aumento del tráfico marítimo	68
8.4	Retorno de la inversión (ROI)	71
8.5	Evaluación de costos a largo plazo.....	72
Chapter 9.	CONCLUSIONES	73
9.1	Resumen de hallazgos	73
9.2	Implicaciones prácticas	73
9.3	Recomendaciones para la implementación	73
9.4	Limitaciones del estudio.....	74
9.5	Áreas para futuras investigaciones	74
9.6	Recomendaciones	75
APÉNDICES	76
	PLANO DEL PUERTO DE VALENCIA.....	79
	HIPOTESIS PRECIO ADQUISICIÓN M5D AIRFOX	80
	REFERENCIAS.....	98

Figuras

Ilustración 1 Clasificación OTAN de RPAS	17
Ilustración 2 Esquema de arquitectura de un RPAS.....	22
Ilustración 3 Configuraciones del segmento aéreo.....	23
Ilustración 4 Instalación del tubo de pitot	25
Ilustración 5 Representación LOS.....	26
Ilustración 6 Representación aeronave fuera de línea de vista	27
Ilustración 7 Solución problema de línea de vista	27
Ilustración 8 Clasificación de los sensores	29
Ilustración 3-8 (ATP 47) Relación píxel objeto	30
Ilustración 10 Factores clave para la identificación	31
Ilustración 11 Espectro visible por el ojo humano	32
Ilustración 3-11 (ATP 47) Ventajas y desventajas según el tipo de sensor	33
Ilustración 13 Diagrama de fuerzas en una aeronave.....	35
Ilustración 14 Relación resistencia-velocidad	36
Ilustración 15 Vista satélite puerto de Valencia.....	46
Ilustración 16 Plano del puerto de Valencia	49
Ilustración 17 Patrimonio arquitectónico del puerto de Valencia	51
Ilustración 18 Ubicación de antenas 5G.....	53
Ilustración 19 Arquitectura red privada 5G	54
Ilustración 20 Ruta y zona de despegues y aterrizajes	54
Ilustración 21 Sistema M5D Airfox.....	56
Ilustración 22 RPAS Akila e-Quad	57
Ilustración 23 Esquema sistema de vigilancia	58
Ilustración 24 Resumen de magnitudes básicas de tráfico	68
Ilustración 25 Evolución del tráfico anual (por Valencia Port).....	69

Tablas

Tabla 2-1 Arquitectura de un RPAS	16
Tabla 7-1 Datos principales del puerto de Valencia.....	47
Tabla 7-2 Terminales de contenedores del puerto de Valencia	48
Tabla 8-1 Importe adquisición de dos sistemas M5D Airfox.....	62
Tabla 8-2 Importe de adquisición de 1 sistema Akila e-Quad.....	63
Tabla 8-3 Programa de mantenimiento del M5D Airfox.....	66
Tabla 8-4 Coste anual de mantenimiento de los RPAS	66
Tabla 8-5 Coste anual de formación y mantenimiento.....	67
Tabla 8-6 Salario medio por vigilante.....	67
Tabla 8-7 Beneficios obtenidos	71
Tabla 8-8 Análisis del retorno de inversión.....	72

Chapter 1. INTRODUCCIÓN

En la era de la revolución tecnológica, la convergencia de la Inteligencia Artificial (IA) y los Vehículos Aéreos No Tripulados (drones) ha transformado radicalmente la forma en que enfrentamos los desafíos de seguridad en entornos críticos. En este contexto, los puertos marítimos, como puntos neurálgicos del comercio global, han enfrentado una creciente necesidad de fortalecer sus sistemas de vigilancia para garantizar la seguridad, la eficiencia operativa y el cumplimiento normativo. España, con su rica herencia marítima y una red de puertos vitales, se encuentra en la vanguardia de esta innovación, adoptando tecnologías de vanguardia para abordar estas demandas sin precedentes.

Este documento, "Integración de Inteligencia Artificial y Drones en la Vigilancia Portuaria en España", es un examen profundo de cómo la sinergia entre la Inteligencia Artificial y los drones ha revolucionado la vigilancia portuaria en el contexto español. Exploramos los intrincados detalles de los drones, desde su evolución histórica hasta las características técnicas de última generación, y analizamos cómo los algoritmos de IA están transformando la manera en que procesamos las imágenes capturadas por estos dispositivos.

A través de un estudio de caso detallado en un puerto español específico, este documento examina la aplicación práctica de estas tecnologías, evaluando su impacto en la seguridad y la eficiencia operativa. Además, exploramos las complejidades de la legislación y regulaciones aéreas en España, así como las consideraciones éticas que rodean el uso de tecnologías de vigilancia avanzadas.

Este estudio no solo es un análisis técnico, sino también una exploración ética y legal, proporcionando una visión holística de la integración de la IA y los drones en la vigilancia portuaria. Al trascender los límites de la innovación tecnológica, este documento propone soluciones tangibles y sostenibles para los desafíos complejos que enfrentan los puertos españoles en el siglo XXI. A través de estas páginas, nos sumergiremos en un mundo donde la inteligencia artificial se encuentra con los cielos, creando un horizonte de seguridad inigualable en las aguas españolas.

1.1 Contexto y relevancia del estudio

En un mundo cada vez más interconectado, los puertos marítimos representan eslabones cruciales en la cadena global de suministro. España, con su extensa costa y una red de puertos estratégicamente ubicados, se encuentra en la encrucijada del comercio internacional. Sin embargo, este papel vital conlleva desafíos significativos en términos de seguridad y eficiencia operativa. Las amenazas actuales, que van desde el terrorismo hasta el contrabando y la piratería, demandan soluciones innovadoras y adaptativas para salvaguardar la integridad de estos nodos económicos.

En este contexto, la convergencia de la Inteligencia Artificial (IA) y los Vehículos Aéreos No Tripulados (drones) ha surgido como una respuesta tecnológica revolucionaria. Esta fusión no solo ha ampliado las capacidades de vigilancia, sino que también ha transformado la forma en que se procesa y se actúa sobre la información recopilada. Este estudio se sumerge en este emocionante cruce de tecnologías, explorando cómo la inteligencia artificial potenciada por drones está redefiniendo la seguridad portuaria en España.

La relevancia de este estudio se acentúa por la necesidad urgente de implementar sistemas de vigilancia avanzados y efectivos. La seguridad portuaria no solo es vital para proteger las infraestructuras críticas y las cadenas de suministro, sino que también es esencial para garantizar la confianza internacional en el comercio marítimo de España. Además, en un contexto más amplio, este estudio se suma al creciente cuerpo de conocimientos que contribuyen al desarrollo de estándares internacionales y mejores prácticas en el campo de la vigilancia portuaria.

Al analizar la integración de IA y drones en la vigilancia portuaria española, este estudio se posiciona como un recurso esencial para autoridades portuarias, legisladoras, académicas y profesionales de seguridad, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones informadas y el diseño de políticas efectivas en el complejo escenario de seguridad marítima del siglo XXI.

1.2 Objetivos de la investigación

Los objetivos de este documento son los siguientes:

1. Analizar la Evolución de los Drones y la Inteligencia Artificial: Investigar el desarrollo histórico y tecnológico de los drones y la Inteligencia Artificial, identificando los hitos clave que han llevado a su convergencia en la vigilancia portuaria.
2. Explorar las Aplicaciones Actuales y Potenciales: Evaluar las aplicaciones actuales de drones e IA en la vigilancia portuaria, así como explorar posibles usos futuros, considerando tecnologías emergentes y tendencias en el campo.
3. Examinar las Características Técnicas de los Drones: Analizar en profundidad las especificaciones técnicas de los drones utilizados en la vigilancia portuaria, incluyendo su diseño, capacidad de carga, autonomía, y sistemas de sensores.
4. Investigar los Algoritmos de Inteligencia Artificial Aplicados: Estudiar los algoritmos de IA empleados en el procesamiento de imágenes y datos recopilados por los drones, evaluando su eficacia y precisión en contextos portuarios.
5. Evaluar el Marco Legal y Ético: Analizar las regulaciones existentes y éticas en el uso de drones y sistemas de IA en la vigilancia portuaria en España, identificando desafíos y oportunidades para el cumplimiento normativo y ético.
6. Realizar un Estudio de Caso Detallado: Investigar un caso específico de implementación de drones y tecnologías de IA en un puerto español, examinando los desafíos enfrentados, las soluciones desarrolladas y los resultados obtenidos.
7. Calcular el Retorno de la Inversión (ROI): Realizar un análisis económico completo para determinar el ROI de la implementación de sistemas de drones e IA en la vigilancia portuaria, considerando costos de adquisición, mantenimiento y beneficios operativos.
8. Identificar Desafíos y Oportunidades Futuras: Identificar los desafíos futuros y las oportunidades de investigación y desarrollo en el campo de la vigilancia portuaria, proponiendo recomendaciones para superar obstáculos y aprovechar avances tecnológicos.

Estos objetivos proporcionarán una estructura integral para la investigación, permitiendo una exploración detallada y holística de la integración de la Inteligencia Artificial y los drones en la vigilancia portuaria española.

1.3 Metodología

La presente investigación se basa en un enfoque metodológico riguroso y multidisciplinario que combina métodos cualitativos y cuantitativos para obtener una comprensión profunda y completa de la integración de la Inteligencia Artificial y los drones en la vigilancia portuaria española.

1.4 Estructura del documento

El presente documento sigue una estructura lógica para facilitar la comprensión y la fluidez del contenido:

En los capítulos 1 y 2, se realiza una introducción detallada. Se contextualiza el estudio y se incluyen los antecedentes históricos de los drones y la IA.

En los capítulos 3 y 4, se establecen los fundamentos técnicos. Aquí se realiza una exploración profunda de las características técnicas de los drones y principios de aeronaves.

En el capítulo 5, se estudia el marco legal, realizando un análisis exhaustivo de las regulaciones aéreas y aspectos legales relacionados con la vigilancia y privacidad.

En los capítulos 6 y 7, se estudian las aplicaciones de IA y se particulariza para el caso de estudio. Aquí se realiza un desglose de algoritmos de IA aplicados y un estudio detallado sobre la vigilancia de un puerto español específico.

En los capítulos 8 y 9, se realiza una evaluación económica y se estudian las futuras perspectivas. En estos capítulos destaca el análisis del retorno de inversión y las conclusiones del estudio, que incluyen implicaciones prácticas y recomendaciones para futuras investigaciones.

El capítulo apéndice contiene detalles adicionales, datos complementarios y recursos técnicos relevantes.

En el capítulo presupuesto se presenta el desglose financiero de la implementación del sistema de vigilancia.

Finalmente se incluye el capítulo referencias, que contiene la lista completa y detallada de todas las fuentes bibliográficas y referencias utilizadas en el informe.

Esta estructura asegura una presentación ordenada y comprensiva del estudio, siguiendo una progresión lógica desde los fundamentos técnicos hasta las aplicaciones prácticas, y finalizando con evaluaciones económicas y recomendaciones para futuras investigaciones.

Chapter 2. HISTORIA Y CLASIFICACIÓN DE LOS RPAS

2.1 Evolución de términos empleados

En los años 90, el término comúnmente utilizado para describir estas aeronaves fue "UAV" (*Unmanned Aerial Vehicle*), reemplazando así al término anterior "RPV" (*Remotely Piloted Vehicle*) que se empleaba durante la Guerra de Vietnam. La definición de UAV, según el documento del Departamento de Defensa de los Estados Unidos, describe un vehículo aéreo motorizado que no lleva a bordo a un operador humano, puede volar autónomamente o ser controlado de forma remota, y puede transportar carga útil letal o no. Sin embargo, excluye a misiles, proyectiles de artillería, planeadores, globos, dirigibles y objetos arriestrados.

Posteriormente, se introduce el acrónimo "RPAS" (Sistema de Aeronave Pilotada Remotamente), reconocido por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) en 2011. Esta definición incluye el término "RPA" (Aeronave Pilotada Remotamente) para describir a una aeronave donde el piloto no está a bordo y el "RPAS" como un sistema que consta de un RPA, su estación de pilotaje remoto asociada, el sistema de enlace de mando y control, y otros elementos necesarios durante la operación del vuelo.

Estos términos tienen validez internacional y se utilizan ampliamente en todos los ámbitos relacionados con las aeronaves no tripuladas.

2.2 Evolución histórica de los RPAS

Este apartado presenta un recorrido histórico que abarca el nacimiento de los vehículos aéreos no tripulados (UAVs) y su evolución a lo largo del tiempo, desde los inicios de la aeronáutica hasta su integración y desarrollo tecnológico en diferentes países

2.2.1 Introducción

En 1908, destaca la visión de Nikola Tesla, quien vaticinó que el futuro de la aviación pertenecería a los dirigibles en lugar de las aeronaves más pesadas que el aire. A pesar de este pronóstico, Tesla sentó las bases de la aviación no tripulada y de los misiles crucero.

Otros pioneros, como Louis Brennan y René Lorin, exploraron la idea de armas controladas remotamente en 1888 y 1908, respectivamente.

2.2.2 Historia

Reino Unido: Sir George Cayley fue pionero en el diseño de aviones en 1799. En 1810, escribió sobre la navegación aérea y, en 1849, diseñó un planeador tripulado. William Samuel Henson ideó un avión propulsado por turbina de vapor en 1843, y John Stringfellow hizo volar un diseño no tripulado en 1848.

EE. UU.: Samuel Franklin Cody logró volar una cometa propulsada no tripulada en 1907. Durante la Primera Guerra Mundial, Elmer Ambrose Sperry desarrolló el primer avión no tripulado viable. En 1918, se realizó el primer vuelo controlado exitoso de una aeronave no tripulada.

Desarrollos durante y después de la Primera Guerra Mundial:

El Torpedo Aéreo de Sperry, equipado con un sistema de guía primitivo, marcó el inicio de los sistemas no tripulados.

Charles Franklin "Boss" Kettering, con su empresa Dayton Wright Airplane Company, desarrolló el "Bug", un avión no tripulado que entró en producción.

Lawrence Burt Sperry, hijo de Elmer Ambrose Sperry, fabricó aviones Messenger Aerial Torpedoes (MET) para la US Army.

Avances posteriores:

Reginald Denny desarrolló aviones de radio control durante los años 30. Su empresa, Radioplane Company, más tarde Northrop, produjo modelos como el OQ-1 y el OQ-17, que evolucionaron durante la Segunda Guerra Mundial.

En Europa, se crearon blancos aéreos controlados por radio para entrenamiento y formación militar.

Uso en la II Guerra Mundial:

Alemania desarrolló misiles crucero y la bomba V-1. Estos sistemas marcaron el comienzo de los misiles de crucero modernos y los primeros aviones no tripulados.

Posteriormente, se reanudó el interés por los UAVs en diferentes países como Italia, Rusia e Israel, donde se continuó con el desarrollo y la producción de diferentes modelos de UAVs para usos militares.

Hitos y fechas relevantes:

- Autonomía 1992
- Cámaras 1955
- Navegación autónoma 1953
- Blancos aéreos 1934
- Control por radio 1922
- Control y estabilización automática 1918
- Nacimiento del concepto, finales del siglo XIX

La evolución histórica de los drones se remonta a los primeros intentos de vuelo teledirigido en el siglo XIX. En el siglo XX, durante la Primera Guerra Mundial, se desarrollaron aviones teledirigidos como el Kettering Bug en 1918, marcando los primeros pasos significativos en la tecnología de drones militares. Durante la Segunda Guerra Mundial, los avances tecnológicos llevaron a la creación de drones controlados remotamente para propósitos militares, como el "Radioplane OQ-2", utilizado como blanco de tiro.

En las décadas siguientes, la tecnología de drones se diversificó para aplicaciones civiles y militares. La Guerra Fría vio un aumento significativo en la investigación y desarrollo de drones militares. En las últimas décadas del siglo XX, los drones comenzaron a ser utilizados en aplicaciones civiles, como la vigilancia del tráfico y la agricultura.

El auge de la tecnología digital y los avances en la miniaturización llevaron al desarrollo de drones de consumo en la década de 2000. A medida que las cámaras se hicieron más pequeñas y potentes, los drones se convirtieron en herramientas populares para la fotografía y la grabación aérea. En las últimas dos décadas, los drones han evolucionado rápidamente en términos de autonomía, capacidad de carga y capacidades de vuelo, convirtiéndose en herramientas versátiles utilizadas en una variedad de campos, desde la cartografía hasta la entrega de paquetes.

2.3 Tipos y clasificaciones de RPAS

2.3.1 Componentes de un RPAS

El término RPAS comprende aeronaves pilotadas remotamente (RPA) y sus componentes operativos, como sistemas de control, comunicación, medios de lanzamiento y recuperación, así como equipos de apoyo. Esta estructura se divide en dos segmentos: el aéreo, que incluye la plataforma, la carga útil y parte del sistema de comunicación, y el terrestre, que engloba la estación, el control de las plataformas, los equipos de comunicación y los elementos de lanzamiento y recuperación.

Arquitectura de un RPAS	
Segmento aéreo	
	Plataforma aérea (RPA), (UAV) (drone)
	Carga útil (payload)
Segmento superficie	
	GCS
	Control de vuelo
	Control de carga útil
	GDT
	Elementos de apoyo
Enlace de datos	

Tabla 2-1 Arquitectura de un RPAS

2.3.2 Definición de RPA

Definir un RPA específicamente es desafiante. En términos simples, es una aeronave sin piloto, aunque según el Departamento de Defensa de EE. UU., es un vehículo propulsado, operable de manera autónoma o remota, recuperable y capaz de transportar cargas letales o no letales. Los RPA comparten características como generación de fuerzas aerodinámicas, ausencia de piloto a bordo, reutilización, vuelo remoto o autónomo, capacidad de carga útil y sistema de propulsión propio.

Estos elementos excluyen de la categoría de RPA a municiones guiadas, misiles, blancos aéreos no reutilizables, globos sin propulsión y objetos con control umbilical sin autonomía.

En resumen, el RPA es la aeronave y se caracteriza por, ser propulsada, no llevar personal como operador a bordo, ser controlables en los tres ejes, ser capaz de mantenerse en vuelo por medios aerodinámicos, ser pilotado de forma remota o incluye un programa de vuelo automático, ser reutilizable, y no estar clasificado como un blanco aéreo, un arma guiada o un dispositivo similar de un solo uso diseñado para el lanzamiento de armas.

2.3.3 Clasificación de los RPAS

La clasificación de los RPAS no tiene una norma universal debido a su diversidad y las múltiples misiones que pueden realizar. No se trata solo de una aeronave, sino de la combinación de aeronaves, sistemas de comunicación, lanzamiento, carga útil, etc. Esta necesidad de taxonomía está ligada al desarrollo de regulaciones que permitan su uso seguro y confiable en el espacio aéreo compartido.

Se emplean diversos métodos de clasificación basados en características físicas, misión, nivel militar y otros aspectos como el tipo de sistema de comunicación. No hay una taxonomía perfecta, pero cada clasificación debe adaptarse al uso específico que se le dará.

El subgrupo más habitual es el que clasifica los UAS en función del peso máximo al despegue del UAV (MTOW). Por un lado, el MTOW está relacionado con la capacidad máxima de carga útil (MPL), la autonomía en vuelo u otros parámetros del UAV; y por otro, dicho parámetro está directamente vinculado con la energía cinética en el momento de un eventual impacto sobre el suelo, que determinará el riesgo asociado a los accidentes de los UAV.

Tabla 1 Clasificación RPAS

Clase	Categoría	Empleo habitual	Altura de operación normal	Radio de Misión
CLASE I (< 150 Kg)	MICRO < 66 Julios	Subunidad táctica (lanzamiento manual), operadores individuales.	Hasta 200 ft AGL	Hasta 5 Km (LOS)
	MINI <15 Kg	Subunidad táctica (lanzamiento manual), operadores individuales.	Hasta 3.000 ft AGL	Hasta 25 Km (LOS)
	SMALL > 15 Kg< 150 Kg	Unidad Táctica (utiliza sistema de lanzamiento)	Hasta 5.000 ft AGL	50 Km (LOS)
CLASE II (150 Kg- 600 Kg)	TÁCTICO	Formación Táctica	Hasta 10.000 ft AGL	200 Km (LOS)
CLASE III (>600 Kg)	MALE (<i>Medium Altitude Long Endurance</i>)	Operacional / de Teatro	Hasta 45.000 ft MSL	Sin límite (BLOS)
	HALE (<i>High Altitude Long Endurance</i>)	Estratégico	Hasta 65.000 ft	Sin límite (BLOS)
	ATAQUE/COMBATE	Estratégico/Operacional	Hasta 65.000 ft	Sin límite (BLOS)

¶ En caso de conflicto prevalece el peso máximo al despegue (MTOW). Desde el punto de vista de aeronavegabilidad existe otra clasificación según el uso y espacio aéreo donde operan.

Ilustración 1 Clasificación OTAN de RPAS

El sistema de clasificación de Sistemas de Aeronaves Pilotadas de Forma Remota (RPAS) establecido por la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) distingue siete clases de drones, identificadas como C0, C1, C2, C3, C4, C5 y C6. Las diferencias entre estas clases se fundamentan en las restricciones operativas asociadas y los componentes que las integran. Cada clase se define en base a las características inherentes de la aeronave no tripulada, los sistemas que la conforman y el equipo dedicado para su control remoto.

El cumplimiento de una determinada clase por parte de las aeronaves no tripuladas está sujeto al cumplimiento de una serie de requisitos específicos. Estos criterios están principalmente relacionados con la masa máxima al despegue (MTOW) del dron, su velocidad máxima, así como la altura máxima alcanzable con respecto al punto de despegue.

- Drones de clase C0
 - MTOW inferior a 250 g.
 - Velocidad máxima en vuelo: 19 m/s.
 - Altura máxima desde el punto de despegue: 120 m.
 - Alimentado con electricidad.
- Drones de clase C1
 - MTOW inferior a 900 g o que su energía transmitida en caso de impacto sea inferior a 80 J.
 - Velocidad máxima en vuelo horizontal: 19 m/s.
 - Altura máxima desde el punto de despegue: 120 m.
 - Alimentado con electricidad.
 - Dispone de número de serie único.
 - Dispone de sistema de identificación a distancia directa y de red.
 - Embarca un sistema de geoconsciencia.
 - Equipado un sistema de aviso de batería baja para el dron y la estación de control (GCS).
- Drones de clase C2
 - MTOW inferior a 4 kg.
 - Altura máxima desde el punto de despegue: 120 m.
 - Alimentado con electricidad.
 - Dispone de un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control (C2).
 - Salvo si es una aeronave de ala fija, debe dispone de un modo de baja velocidad seleccionable que limite la velocidad a 3 m/s como máximo.
 - Dispone de un número de serie único.
 - Dispone de un sistema de identificación a distancia directa y de red.
 - Embarca un sistema de geoconsciencia.
 - Dispone de un sistema de aviso de batería baja para el dron y la estación de control (GCS).
 - Embarca luces para control de actitud y vuelo nocturno.

- Drones de clase C3
 - MTOW inferior a 25 kg y una envergadura inferior a 3 m.
 - Altura máxima desde el punto de despegue: 120 m.
 - Alimentado con electricidad.
 - Dispone de un número de serie único.
 - Dispone de un sistema de identificación a distancia directa y de red.
 - Embarca un sistema de geoconsciencia.
 - Dispone de un sistema de aviso de batería baja para el dron y la estación de control (GCS).
 - Embarca luces para control de actitud y vuelo nocturno.
- Drones de clase C4
 - MTOW inferior a 25 kg, incluida la carga útil.
 - No dispone de modos de control automático, excepto para la asistencia a la estabilización del vuelo y para la asistencia en caso de pérdida del enlace.
 - Destinados para la práctica del aeromodelismo.
- Drones de clase C5
 - MTOW inferior a 25 kg.
 - No debe ser una aeronave de ala fija, salvo si es una UA cautiva.
 - Dispone de un sistema que proporcione al piloto a distancia información clara y concisa sobre la altura del dron.
 - Dispone de un modo de baja velocidad seleccionable que limite la velocidad a 5 m/s como máximo.
 - Ante una pérdida de enlace de datos (C2), o en caso de fallo, debe disponer con un método de recuperarlo o de terminar el vuelo de forma segura.
 - Dispone de un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control (C2).
 - Alimentado con electricidad.
 - Dispone de un número de serie único.
 - Dispone de un sistema de identificación a distancia directa.
 - Embarca un sistema de geoconsciencia.
 - Dispone de un sistema de aviso de batería baja para el dron y la estación de control (GCS).
 - Embarca para control de actitud y vuelo nocturno.
 - Si el dron dispone de función de limitación de acceso a determinadas zonas o volúmenes del espacio aéreo, esta deberá ser interoperable con el sistema de control del vuelo, y deberá informar al piloto a distancia cuando esta impida entrar a la UA a estas zonas o volúmenes del espacio aéreo.
 - Un dron de clase C5 puede consistir en una aeronave no tripulada de clase C3 que lleve instalado un kit de accesorios que lo convierta en clase C5.
 - El kit de accesorios no incluirá cambios en el software del dron de clase C3.

- Drones de clase C6
 - MTOW inferior a 25 kg.
 - Dispone de un sistema que proporcione al piloto a distancia información clara y concisa sobre la altura del dron, proporcionando medios que eviten que la aeronave supere los límites horizontales y verticales de un volumen operacional programable.
 - Velocidad máxima respecto al suelo en vuelo horizontal de 50 m/s.
 - Ante una pérdida de enlace de datos (C2), o en caso de fallo, debe disponer de un método de recuperarlo o de terminar el vuelo de forma segura.
 - Dispone de un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control (C2).
 - Alimentado con electricidad.
 - Dispone de un número de serie único.
 - Dispone de un sistema de identificación a distancia directa.
 - Embarca un sistema de geoconsciencia.
 - Dispone de un sistema de aviso de batería baja para el dron y la estación de control (GCS).
 - Si el dron dispone de función de limitación de acceso a determinadas zonas o volúmenes del espacio aéreo, esta deberá ser interoperable con el sistema de control del vuelo, y deberá informar al piloto a distancia cuando esta impida entrar a la UA a estas zonas o volúmenes del espacio aéreo.
 - Embarca luces para control de actitud y vuelo nocturno.

2.4 Aplicaciones previas en vigilancia portuaria

En este sub-apartado, se examinan casos específicos de drones utilizados en vigilancia portuaria en el pasado. Se destacan ejemplos históricos y estudios de caso que ilustran cómo los drones han sido implementados con éxito para mejorar la seguridad y eficiencia en entornos portuarios.

Los drones han sido utilizados de manera efectiva en la vigilancia portuaria, mejorando la seguridad y la eficiencia en diversas áreas:

- Vigilancia Perimetral. Drones equipados con cámaras de alta resolución han sido desplegados para monitorear las áreas perimetrales del puerto, detectando intrusiones y actividades sospechosas.
- Control de Tráfico Marítimo. Los drones han sido utilizados para supervisar el tráfico de embarcaciones, asegurando la seguridad en las operaciones de atraque y desatraque.
- Inspección de Infraestructuras. Drones con cámaras y sensores especiales han sido empleados para inspeccionar estructuras portuarias, como muelles y grúas, identificando posibles daños o necesidades de mantenimiento.
- Monitoreo Ambiental. Los drones han sido utilizados para evaluar la calidad del agua y detectar posibles contaminantes en el entorno portuario, contribuyendo a la gestión ambiental del área.
- Respuesta a Emergencias. En situaciones de emergencia como derrames de sustancias peligrosas, los drones han proporcionado imágenes en tiempo real para ayudar en la coordinación de las operaciones de respuesta.

- Prevención de Robos y Contrabando. Drones equipados con cámaras de visión nocturna y sensores infrarrojos han sido empleados para detectar actividades ilegales, como robos y contrabando, durante la noche.

En la actualidad, por un lado, existen varias empresas, como Elistair, que se dedican a prestar el servicio de vigilancia con RPAS. Por otro lado, cabe destacar que la Fundación Valenciaport testea la vigilancia con drones para elevar la seguridad en los puertos europeos. En octubre se realizó prueba para demostrar y validar el uso de drones para recopilar datos en tiempo real del tráfico marítimo. Los drones utilizados tienen la capacidad identificar varios tipos de embarcaciones y objetos flotantes, incluso aquellos que carecen de sistemas automáticos de identificación. La finalidad principal de este proyecto, llamado Passport, es proporcionar información detallada y en tiempo real sobre el tráfico marítimo en el puerto. De esta forma es posible realizar una toma de decisiones más eficiente y una planificación más efectiva de medidas de prevención de riesgos, mejorando significativamente la seguridad y optimizando las operaciones portuarias.

En esta línea, puertos como el de Tarragona, han adquirido RPAS para realizar las tareas de vigilancia. En el caso del puerto de Tarragona, se han adquirido dos RPAS, el Mavic 300 RTK, con sensores EO e IR de alta definición, y Mavic 2 Enterprise Advanced, con sensor EO de alta definición, altavoz y foco.

Chapter 3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS RPAS

3.1 Diseño y estructura de los drones

Tal y como se ha explicado anteriormente, un RPAS se compone de tres segmentos: El segmento aéreo, el segmento terrestre y el enlace de datos

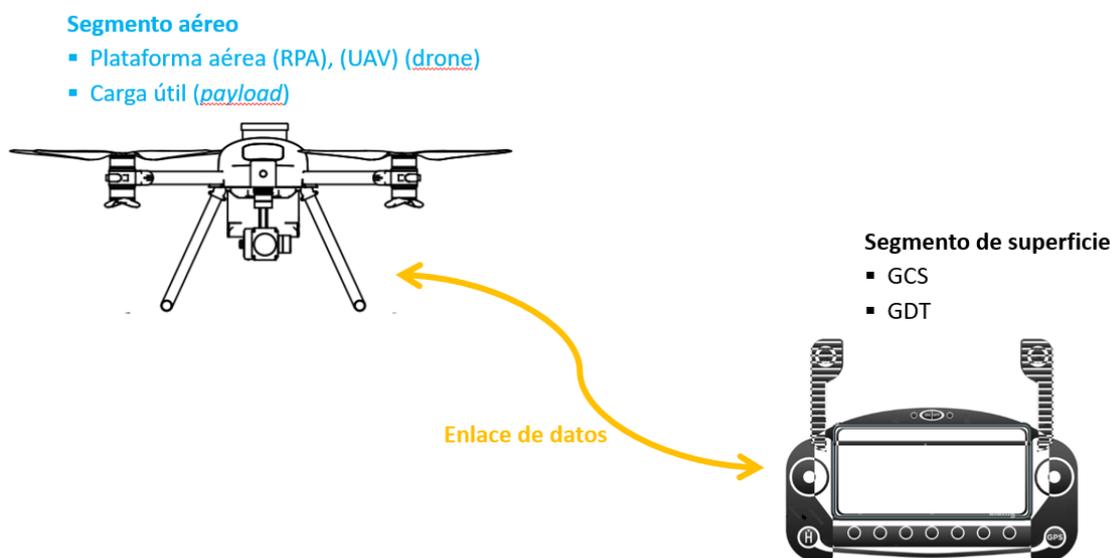


Ilustración 2 Esquema de arquitectura de un RPAS

3.1.1 Segmento aéreo

3.1.1.1 Plataforma aérea

El tipo y las características del vehículo aéreo se determinan principalmente por las necesidades de la misión que tenga encomendada nuestra aeronave. La tarea de la aeronave es principalmente el transporte de la carga útil, pero también tiene que portar los subsistemas necesarios para su funcionamiento.

Otros factores determinantes en el diseño de la aeronave son el radio de acción, la velocidad y la autonomía que le exija el requisito de la misión. El requisito de autonomía y alcance determinará la carga de combustible o de la capacidad de la batería. Conseguir una carga de combustible pequeña y un rendimiento máximo requiere un sistema de propulsión eficiente y una excelente aerodinámica.

La velocidad necesaria o la capacidad de nuestra aeronave para realizar un vuelo estacionario, por ejemplo, es determinante para saber si se utiliza una aeronave de ala fija como aviones, helicópteros o multirrotores.

Ala fija



Ala rotatoria



Aerostatos



VTOL



Ilustración 3 Configuraciones del segmento aéreo

Drones de Ala Fija: se caracterizan por su estructura semejante a la de un avión convencional, lo que les otorga mayor autonomía y capacidad para cubrir largas distancias. Su aplicación principal se encuentra en actividades como la cartografía y la vigilancia a larga distancia.

Drones de Ala Rotatoria (Multirrotores): Los drones de ala rotatoria, también conocidos como multirrotores, están equipados con hélices para la propulsión y estabilidad. Su versatilidad les permite realizar vuelos estacionarios, giros rápidos y cambios de dirección, siendo ampliamente utilizados en fotografía y videografía aérea.

Drones de Ala Híbrida: combinan las características de los de ala fija y ala rotatoria, ofreciendo la eficiencia de vuelo de los primeros y la capacidad de vuelo estacionario de los multirrotores.

Drones de Despegue y Aterrizaje Vertical (VTOL): pueden despegar y aterrizar verticalmente, pero también tienen la capacidad de vuelo horizontal. Son óptimos para operaciones en espacios reducidos y áreas urbanas.

Drones de Alcance Largo y Alta Altitud: están diseñados para vuelos a gran altura y larga distancia, utilizándose principalmente en actividades como la vigilancia fronteriza y la monitorización medioambiental.

Microdrones y Nano-drones: son de pequeño tamaño y peso ligero, comúnmente se emplean en aplicaciones de interior, como la inspección de estructuras.

3.1.1.2 Carga útil (payload)

La carga útil es el equipo embarcado específico para cada tipo de misión, no es necesario para la operación de vuelo de la plataforma aérea (RPA), pero es la razón de ser del vuelo. El objetivo es volar el sensor o sensores de nuestra aeronave.

El tipo de carga útil estará determinado por las necesidades de la operación. Aunque existen variedad de sensores y dispositivos, los sensores más comunes son: electroóptico (EO), infrarrojo (IR) y designador láser.

Existen aeronaves en las que la carga útil puede ser intercambiable dependiendo de la misión que se tenga que realizar.

3.1.1.3 Sistema de navegación guiado y control

Los RPA vuelan prácticamente “solos” y lo hacen siguiendo las órdenes de su sistema de control de vuelo (FCS). Este elemento del sistema es fundamental y es el encargado de controlar la aeronave, guiarla y realizar las funciones de navegación.

El sistema de control de vuelo a través del autopiloto enviara las señales a los actuadores para mover las superficies de control. Los RPAS usan actuadores eléctricos.

El sistema de navegación incluye el autopiloto y todos los sensores necesarios para garantizar la autonomía funcional y la fiabilidad operacional que necesitamos en el vuelo. De todos los sensores del sistema de control del vuelo, los sensores electrónicos más importantes son sistema de posicionamiento global (GPS) y la IMU (Inertial measurement unit), y los sensores aerodinámicos más importantes son el altímetro, el variómetro y el anemómetro que utilizan el tubo de pitot para realizar sus mediciones.

El sistema de posicionamiento global (GPS) accede a información posicional de un sistema de satélites alrededor de la tierra. Actualmente los GPS disponibles son muy ligeros, compactos y baratos, y dan actualización de posición continuamente. Los RPAS más sofisticados, mejoran aún más la precisión de posicionamiento mediante el uso de GPS diferencial.

La IMU, mediante sistemas de giróscopos, determina la posición exacta de nuestra aeronave con respecto al horizonte y da al piloto automático la información para que este corrija las posiciones de la aeronave.

El sistema de control de vuelo recibe información del altímetro, que indica la altitud de la aeronave, del variómetro, que indica la velocidad vertical de ascenso o descenso, y del anemómetro, que indica la velocidad con respecto al aire. Para realizar estas mediciones, se utiliza el tubo de Pitot, que mide la diferencia de presión entre la presión de impacto/dinámica y la presión estática.

En los RPAS de aeronaves pequeñas de ala rotatoria, se prescinde del tubo de Pitot y las mediciones, de altura y velocidad, las realiza el GPS.

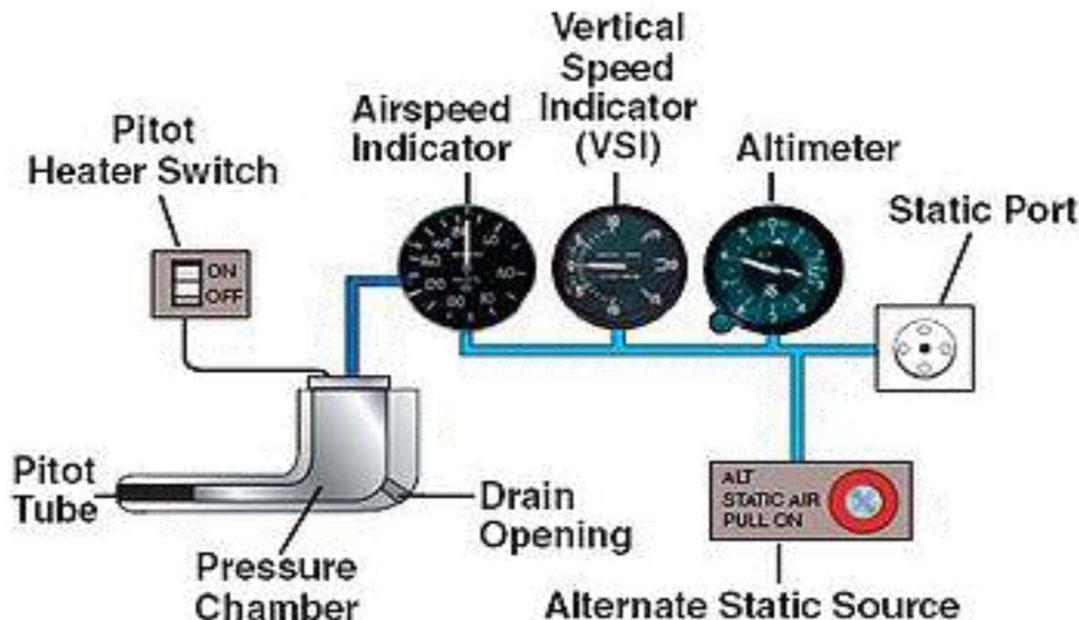


Ilustración 4 Instalación del tubo de pitot

3.1.2 Segmento superficie

3.1.2.1 Estación de control

La estación de control (Ground Control System) GCS es el centro de control de la operación, la interfaz entre los segmentos aéreo y terrestre. En la GCS se realiza el control de la planificación de la misión, la comunicación con la plataforma y el control de la carga útil mediante sistemas de comunicaciones y proporciona los enlaces de datos para acceder a la plataforma aérea y a los sistemas embarcados.

Hay una gran variedad de estaciones de control dependiendo de cada sistema y lo sofisticado que sea, pero por lo general se componen de un ordenador y la botonería necesaria para la realización de las funciones que tenemos que efectuar con el RPA.

3.1.2.2 Ground Data Terminal (GDT)

En el GDT se sitúan las antenas que permiten la comunicación entre la GCS y la plataforma aérea.

En sistemas de pequeño tamaño suelen estar solidarias al mando de control o la emisora, en sistemas más grandes suelen estar a cierta distancia. Las antenas están tanto en el segmento tierra como en el segmento aire. Pueden ser direccionales u omnidireccionales.

Las comunicaciones entre las antenas proporcionan los enlaces de datos (arriba y abajo, Up Link y Down Link) entre la GCS y la aeronave. El medio de transmisión normalmente usado es la radiofrecuencia.

La información ascendente (Up Link) es decir entre la GCS y la aeronave es la correspondiente a los comandos de control de la aeronave y de la carga útil.

La información descendente (Down Link) entre la aeronave y la GCS, son los datos de transmisión de posición en la aeronave, los datos de la información de los sensores y Los datos de transmisión de estado de la aeronave, por ejemplo, estado de baterías, combustible, enlace de datos, etc.

3.1.2.3 *Sistemas de lanzamiento y recuperación*

Si la aeronave no tiene la capacidad de aterrizaje y despegue vertical, se necesitarán medios para que inicie el vuelo y algún sistema para la recuperación.

Los sistemas de lanzamiento, suelen ser una rampa o catapulta por la que se acelera el avión en un carrito, propulsado por un sistema auxiliar de amortiguadores de goma o por aire comprimido, hasta que el avión ha alcanzado la velocidad de vuelo.

Los sistemas de recuperación más utilizados son los paracaídas y el enganche en una red.

3.1.3 **Enlace de datos**

Cuando el enlace de datos se realiza directamente entre las antenas, se dice que el enlace es en línea de vista (Line of sight) LOS.

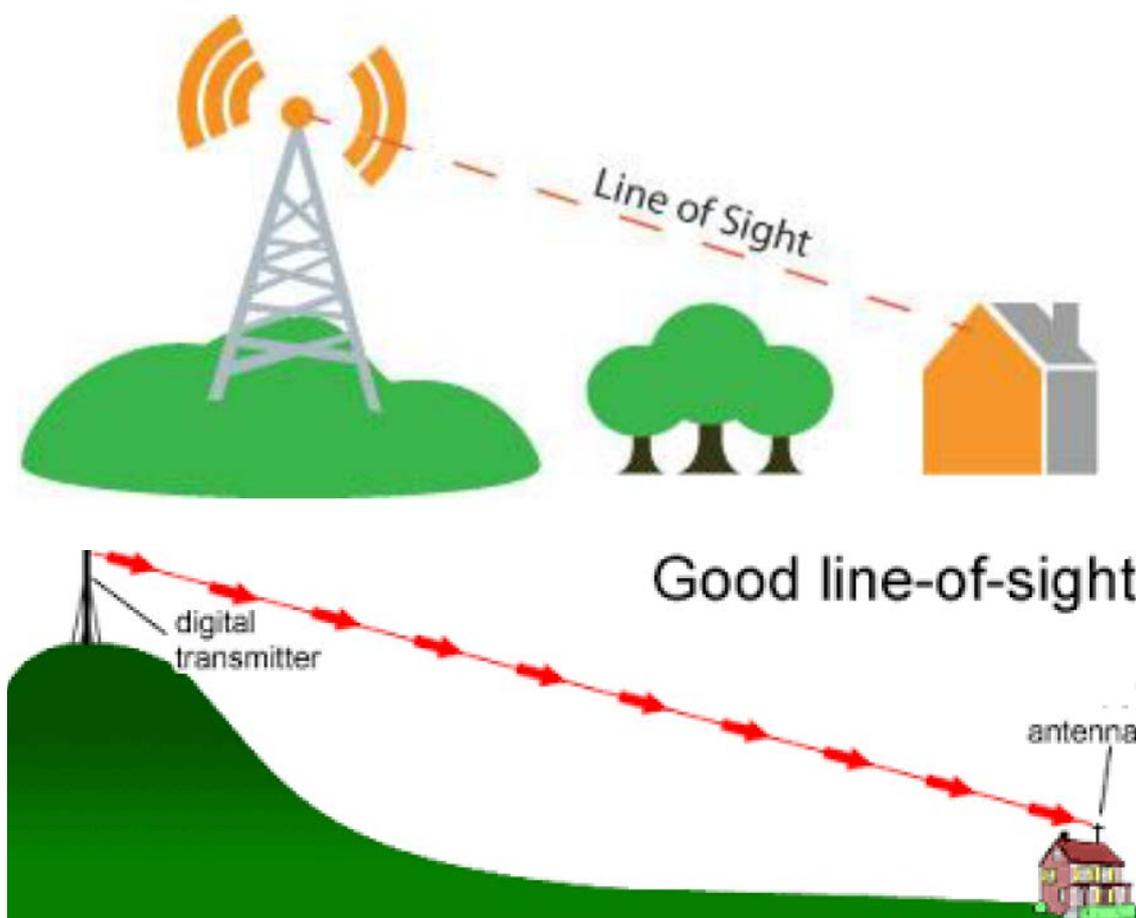


Ilustración 5 Representación LOS

Por el contrario, si las antenas no están en línea de vista, decimos que están BLOS (*beyond Line of sight*).

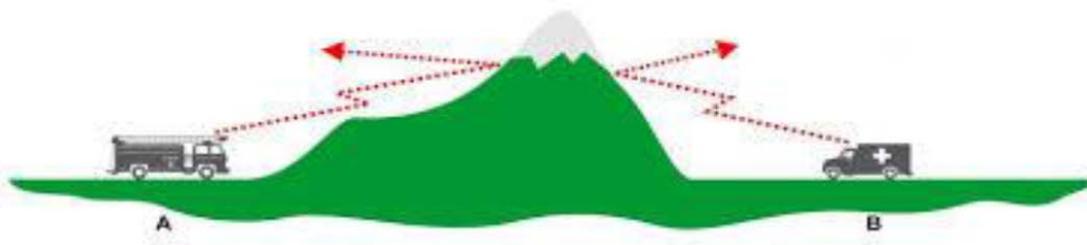


Ilustración 6 Representación aeronave fuera de línea de vista

Si la aeronave no está preparada para volar cuando hay un obstáculo entre las antenas de nuestro vehículo aéreo y la estación de control, se perderá el enlace. Por lo que no se debe volar en estas condiciones.

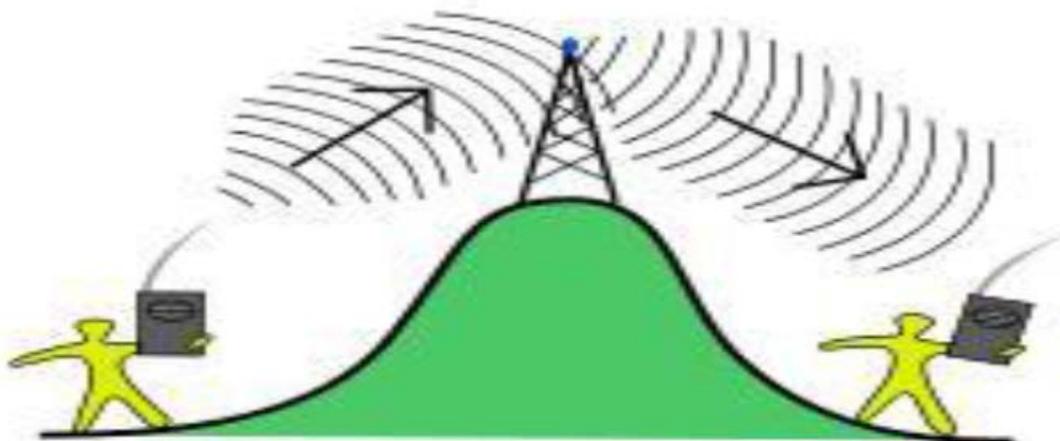


Ilustración 7 Solución problema de línea de vista

3.2 Sistemas de propulsión y autonomía

Existen variedad de sistemas de propulsión de aeronaves:

- Motor de combustión interna: de 2 tiempos o de 4 tiempos
- Motor de reacción: con compresión (turbohélice, turbofán, turboreactor), sin compresión (estatorreactor, pulsorreactor)
- Motor cohete: con combustible sólido, líquido híbrido o motor cohete térmico.
- Otros sistemas: motor eléctrico, células de combustible, propulsión iónica, vela solar, pila de hidrógeno, paneles solares...

Actualmente los sistemas de propulsión más empleados en los RPAS son las baterías o los motores de combustión interna. Estos sistemas de propulsión influyen directamente en la capacidad de carga, la duración del vuelo y la maniobrabilidad de los RPA.

Se define como autonomía al tiempo máximo que la aeronave puede permanecer en vuelo. Para que un RPAS tenga una alta autonomía es necesario que haya un equilibrio entre consumo y capacidad de la batería, con sus diferentes cargas útiles. Además en el caso de las baterías, la estimación de esta autonomía, se realiza considerando el límite de descarga seguro de la batería que normalmente se fija en un 20%.

Los RPAS, de clase I categoría micro y categoría mini suelen emplear sistemas de propulsión eléctrica, que se alimentan de baterías.

Las baterías LiPo son reconocidas por suministrar gran potencia necesaria para motores y sistemas a bordo. Las baterías Li-Ion son mayor densidad energética aunque menor capacidad de descarga, que las LiPo resultando viables gracias al bajo consumo del RPA, manteniendo el ratio de descarga adecuado. Ejemplificando, una batería estándar LiPo de 6S (22.2v) y 10.000 mAh pesa 1.400 gramos, mientras que una Li-Ion de 6S (22.2v) y 17.500 mAh pesa 1.450 gramos. Con un aumento de solo 50 gramos en el peso total, la Li-Ion logra un 75% más de energía que la LiPo.

Normalmente, la autonomía máxima que ofrecen las baterías para los RPAS micro y mini, se sitúa en torno a los 90 minutos.

Por otro lado, los RPAS de clase I categoría small hacen uso de propulsores con motor de combustión, comúnmente de tipo 2 tiempos, ofreciendo una autonomía de 5 horas.

Entre los RPAS en clase I categoría Small cabe destacar el modelo ATLANTIC, impulsado por un motor de 2 tiempos, que logra alcanzar una autonomía de entre 6 y 8 horas, sobresaliendo por su eficiencia en esta categoría. En la gama micro, se encuentra el PASSER, caracterizado por su autonomía de 60 minutos. Por su parte, en la clasificación de mini RPAS, el modelo MSD Airfox se distingue al obtener energía eléctrica a través de paneles solares situados en las alas, ofreciendo hasta 10 horas de autonomía en condiciones soleadas, lo que lo hace resaltar dentro de esta categoría por su capacidad de prolongado funcionamiento.

3.3 Sensores y tecnología de imagen a bordo

Las guías que establecen los procedimientos y formatos utilizados en operaciones de reconocimiento aéreo pueden variar dependiendo del país, la organización o la naturaleza específica de la misión.

En el ámbito militar, las fuerzas armadas suelen tener manuales específicos que detallan los procedimientos para operaciones de reconocimiento aéreo. Por ejemplo, manuales de doctrina militar, manuales de procedimientos operativos estándar (SOP) o manuales de tácticas y técnicas de reconocimiento.

Adicionalmente, organizaciones internacionales, como la OTAN o la ONU, a veces publican guías o manuales sobre procedimientos estándar para operaciones aéreas, incluido el reconocimiento. Por ejemplo, el ATP 47 (A) de la OTAN es una guía esencial que contiene información y datos de referencia para ser utilizados por el analista.

Por otro lado, los manuales de aviación, si bien no se centran específicamente en el reconocimiento, pueden cubrir temas relevantes sobre el vuelo, las operaciones aéreas y la recopilación de información desde el aire.

En el ámbito civil en España, no existe un manual único que abarque todos los aspectos del reconocimiento aéreo. No obstante, algunos organismos, como el Instituto Geográfico Nacional (IGN), instituciones o empresas tienen manuales o guías relacionadas con el reconocimiento aéreo en campos como la cartografía, la monitorización del territorio o la gestión del medio ambiente.

Dependiendo de la banda espectral en la cual se observe la imagen, se tiene cuatro tipos de sensores:

- Óptico (con película en b&n)
- Electro-óptico (óptico usando sensores electrónicos)
- Infrarrojo
- Radar. Radar de apertura sintética (SAR)

Clasificación de sensores

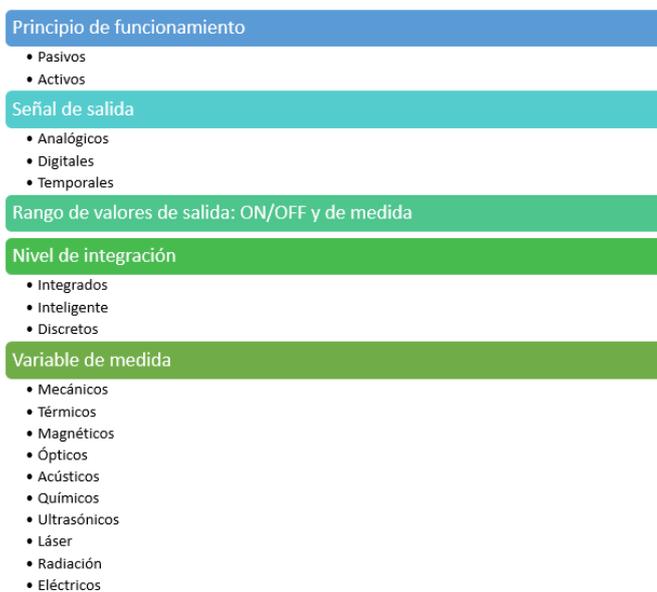


Ilustración 8 Clasificación de los sensores

3.3.1 Resolución

La resolución es la cantidad de detalle que se observa en una imagen. Se mide en píxeles por pulgada (ppp). Es, lo que comúnmente se dice, nitidez o pixelado en una imagen.

La resolución de la imagen se describe con dos números enteros: ej: 20x20. El primer número corresponde a la cantidad de píxeles por columna y el segundo a la cantidad de píxeles por fila.

Dependiendo de esa resolución es posible, detectar, distinguir o reconocer, identificar, o realizar un análisis técnico. Cuando se encuentre la presencia de un objeto, se estará detectando. Si se determinan diferentes tipos o partes del objeto detectado, se estará distinguiendo o reconociendo (Reconocer un RPA). Si es posible reconocer de forma precisa un objeto, se estará identificando (Identificar un DJI Matrice). Finalmente, se realizará un análisis técnico cuando sea posible describir con precisión una característica u objeto en la imagen

Por tanto, cada objeto debe establecer el tamaño mínimo que debe tener el píxel para obtener imágenes con buena resolución.

Minimum resolved object sizes

No.	Type of Target	Detect	Distinguish	Identify	Technical Analysis
		MPS Scale	MPS Scale	MPS Scale	MPS Scale
1.	Bridges	6 m (20 ft) 1:180,000	4.5m (15 ft) 1:140,000	1.5m (5 ft) 1:50,000	0.3m (1 ft) 1:9,000
2.	Communications equipment				
	a. Radar	3.0 m (10 ft) 1:90,000	1 m (3 ft) 1:27,000	0.3m (1 ft) 1:9,000	10mm (0.4 in) 1:400
	b. Radio	3.0 m (10 ft) 1:90,000	1 m (3 ft) 1:27,000	0.15m (6 in) 1:4,500	10mm (0.4 in) 1:400
3.	Supply Dumps (POL & Ordnance)	3.0 m (10 ft) 1:90,000	0.5m (1.7 ft) 1:18,000	0.15m (6 in) 1:4,500	25mm (1 in) 1:750
4.	Troop Units (Bivouac; Roads)	6 m (20 ft) 1:180,000	2 m (7 ft) 1:64,000	0.5m (1.7 ft) 1:18,000	0.15m (6 in) 1:4,500
5.	Airfield Facilities	6 m (20 ft) 1:180,000	4.5m (15 ft) 1:140,000	3 m (10 ft) 1:90,000	0.15m (6 in) 1:4,500
6.	Rockets & Artillery	1 m (3 ft) 1:27,000	0.5m (1.7 ft) 1:18,000	0.15m (6 in) 1:4,500	40mm (1.5 in) 1:1,200
7.	Aircraft	4.5 m (15 ft) 1:140,000	1.5m (5 ft) 1:50,000	0.15m (6 in) 1:4,500	40mm (1.5 in) 1:1,200
8.	Command & Control HQ	3 m (10 ft) 1:90,000	1.0m (3 ft) 1:27,000	0.3m (1 ft) 1:9,000	75mm (3 in) 1:2,300
9.	Missile Sites (SSM/SAM)	3 m (10 ft) 1:90,000	1.5m (5 ft) 1:50,000	0.15m (6 in) 1:4,500	40mm (1.5 in) 1:1,200
10.	Surface Ships	15 m (50 ft) 1:500,000	4.5m (15 ft) 1:140,000	0.15m (6 in) 1:4,500	40mm (1.5 in) 1:1,200
11.	Nuclear Weapons Components	2.5m (8 ft) 1:75,000	1.5m (5 ft) 1:50,000	0.3m (1 ft) 1:9,000	10mm (0.4 in) 1:400
12.	Vehicles	1.5m (5 ft) 1:50,000	0.8m (1.7 ft) 1:18,000	0.15m (6 in) 1:4,500	40mm (1.5 in) 1:1,200
13.	Land Minefields	3 m (10 ft) 1:90,000	1.5m (5 ft) 1:50,000	0.3m (1 ft) 1:9,000	75mm (3 in) 1:2,300
14.	Ports & Harbours	30 m (100 ft) 1:900,000	6 m (20 ft) 1:180,000	1.5m (5 ft) 1:50,000	0.4m (1.25ft) 1:11,000
15.	Coasts and Beaches	15 m (50 ft) 1:500,000	4.5m (15 ft) 1:140,000	0.5m (1.7 ft) 1:90,000	0.15m (6 in) 1:4,500
16.	RR – RR Yards Shops	15 m (50 ft) 1:500,000	4.5m (15 ft) 1:140,000	1.5m (5 ft) 1:50,000	0.4m (1.25ft) 1:11,000
17.	Roads	6 m (20 ft) 1:180,000	4.5m (15 ft) 1:140,000	1.5m (6 ft) 1:50,000	0.4m (1.25ft) 1:11,000
18.	Urban Areas	60 m (200 ft) 1:800,000	15 m (50 ft) 1:500,000	3 m (10 ft) 1:90,000	0.75 m (2.5 ft) 1:23,000
19.	Terrain	not applicable	91 m (300 ft) 1:2,700,000	3 m (10 ft) 1:90,000	0.75 m (2.5 ft) 1:23,000
20.	Surfaced Submines	7.5m (25 ft) 1:200,000	4 m (13.5ft) 1:126,000	0.15m (6 in) 1:4,500	25mm (1 in) 1:750

Ilustración 3-9 (ATP 47) Relación píxel objeto

3.3.2 Proceso de identificación

Hay cinco factores claves a tratar en el proceso de la identificación: la forma, el tamaño, la sombra, la tonalidad y las características asociadas y entorno.

El tamaño de los elementos a estudiar en una vista aérea puede ser determinado, bien por comparación con los objetos que aparezcan en nuestra fotografía que nos sea familiares y que puedan servir de unidad de medida, o bien por medición, mediante el uso de herramientas de medida de programas informáticos, a través de la escala de la fotografía, etc.

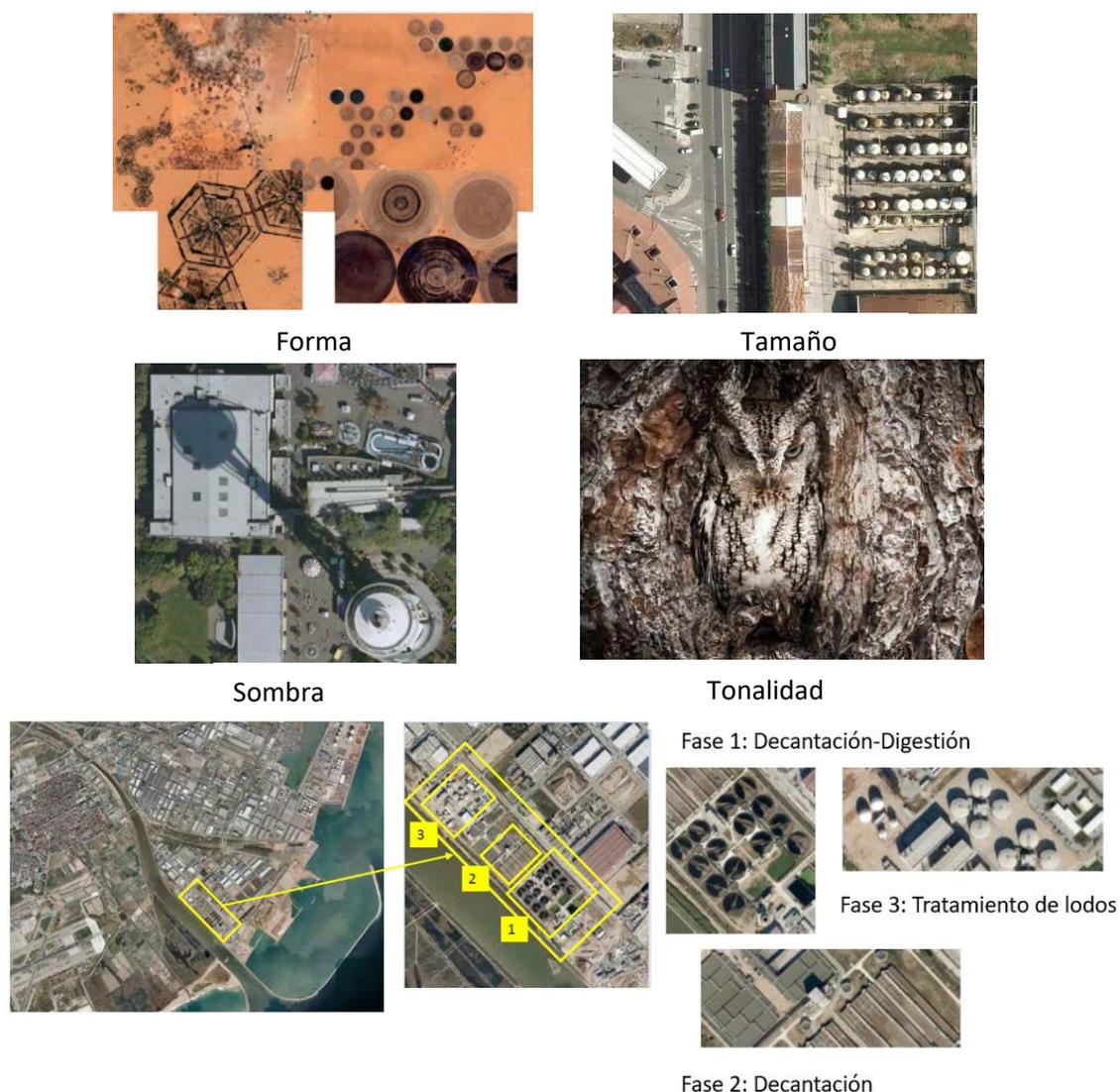


Ilustración 10 Factores clave para la identificación

Respecto a la tonalidad, la luz reflejada por el objeto puede ser modificada por diversas variables, como pueden ser:

- Condiciones atmosféricas→ cambios de luz durante el vuelo fotográfico, niebla, calima, etc.
- Hora del día → la respuesta de luz de un objetivo puede variar mucho dependiendo de la hora a la que es fotografiado.
- Estaciones→ afecta en mayor grado a la vegetación y al terreno. Dependiendo de la época estará más húmedo o seco, frío o caliente.
- Naturaleza de la superficie del objeto→ superficies lisas, rugosas, pulidas, etc., poseen distintos porcentajes de reflexión solar.
- color: los colores claros reflejan más luz y los oscuros absorben más luz.
- tipo de material del que está hecho.
- Posición relativa sol-cámara-objeto→ la diferente triangulación entre estos tres factores, puede dar respuestas de luz muy variables para un mismo objeto

El entorno ayudará a descartar las hipótesis que, a priori, podrían ser válidas y a afirmar las buenas, ya que el objetivo compartirá rasgos comunes con los objetos que le rodean, es decir, sus características asociadas. Esos rasgos comunes entre todos los objetos de un área son los que definen a esa zona como conjunto (base naval, instalación de ferrocarril, central nuclear, zona de almacenamiento de munición, etc.).

3.3.3 Tipos de sensores más comunes en RPAS

3.3.3.1 Electroóptico

Los sensores electroópticos son los que utilizan las cámaras digitales de hoy en día. Estos sensores son capaces de detectar todo el espectro visible, que en función de su longitud de onda (λ) representará los distintos colores de la luz visible.

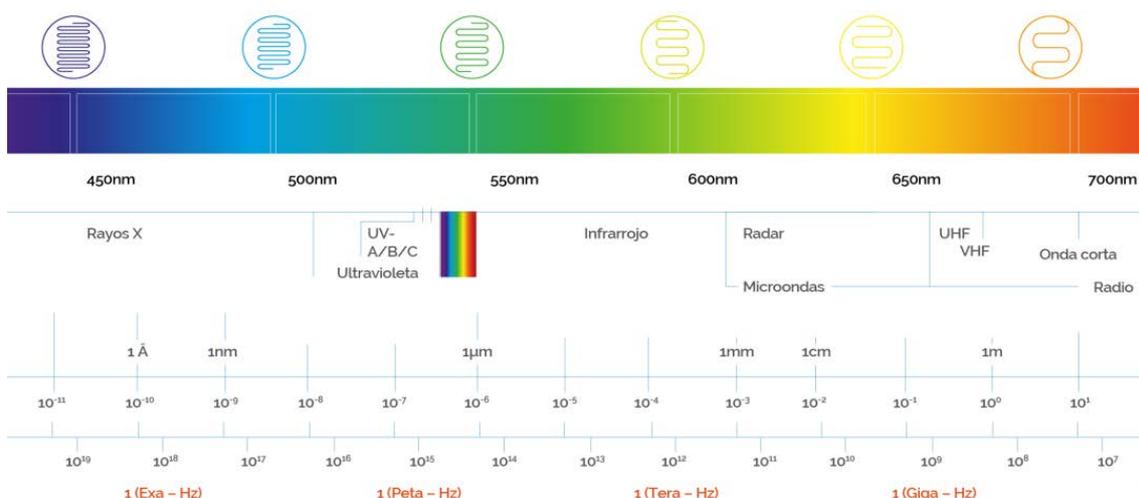


Ilustración 11 Espectro visible por el ojo humano

El empleo extenso de diversos sensores electroópticos avanzados en la industria los RPAS ha mejorado la eficiencia y precisión en múltiples áreas. Entre estos sensores cabe destacar los siguientes:

- Los sensores Sony Pregius CMOS, utilizados en drones y cámaras aéreas, se destacan por ofrecer imágenes de alta calidad y resolución, beneficiando la captura precisa de datos visuales.
- Sensores RGB, multiespectrales y hiperespectrales de marcas como MicaSense (RedEdge, Altum) y Parrot Sequoia se han integrado en RPAS, especialmente en agricultura y cartografía, capturando datos detallados de cultivos y generando mapas precisos de vegetación.

3.3.3.2 Infrarrojo

Los sensores infrarrojos detectan energía infrarroja, conocida como energía “calórica”. Todos los objetos emiten radiación térmica. Cuanto más caliente está un objeto más radiación emite. Pero la cantidad de radiación que emite un objeto no sólo depende de su temperatura y su λ , sino también del material del que esté hecho, es decir, de la emisividad o emitancia de un objeto. Conviene recordar que la emisividad (ϵ) es la propiedad que indica la eficacia con que una superficie emite radiación térmica.

En la industria de los RPAS cabe destacar, la integración y empleo de los siguientes sensores infrarrojos:

- Los sensores de FLIR Systems, como el FLIR Vue Pro, especializado en imágenes térmicas de alta resolución para aplicaciones comerciales e inspecciones, y el FLIR Duo Pro R, que combina cámaras térmicas y visibles para mapeo, inspección y seguridad.
- Teledyne FLIR aporta el Teledyne DALSA Genie Nano, sensor CMOS compacto y de alto rendimiento, empleado en aplicaciones de visión artificial en drones y sistemas de control, para análisis visual preciso y eficiente.

3.3.3.3 Otros sensores avanzados

Otros sensores avanzados utilizados en la industria de los RPAS son los sensores LIDAR. Los sensores de marcas como Velodyne, Hesai, Livox y Riegl, son utilizados en RPAS para mapeo 3D, cartografía y topografía, permitiendo la generación de modelos tridimensionales precisos y datos topográficos detallados.

0303. Advantages and disadvantages of different types of sensor systems

The main advantages and disadvantages of the optical, EO, IR and SAR sensor systems are tabulated below for easy reference.

	Optical	IR	SAR	EO
Active/Passive	Passive	Passive	Active	Passive
All weather	No	No	Yes	No
Day/Night	No	Yes	Yes	No
Resolution	Good	Fair	Fair	Good
Cover	Good	Good	Excellent	Good
Activity Indicator	No	Yes	No	No
Movement Indicator	Yes (Stereo Only)	No	Yes (not reliably)	Yes (Stereo Only)
Real Time Capability	No	Yes	Yes	Yes
Ease of Interpretation	Good	Good/Fair	Fair/Poor	Good
Ease of Scaling	Good (Vertical)	Fair	Good	Good (Vertical)
V/H Ratio	Good	Good	n/a	Good
Ease of Maintenance	Good	Fair/Good	Poor	Good
Stand-off Capability	Good (Oblique)	Limited	Good	Good (Oblique)

Ilustración 3-12 (ATP 47) Ventajas y desventajas según el tipo de sensor

3.4 Comunicación y telemetría, alcance

La comunicación y telemetría de constituyen el tercer pilar básico de la arquitectura de un RPAS, el enlace de datos, por lo que son vitales para la operación, el control y la transmisión de datos entre la aeronave y la estación de control terrestre.

El alcance es la distancia máxima que una aeronave puede recorrer en vuelo. En numerosas ocasiones, el alcance de un RPAS viene limitado por la distancia a la que es posible establecer el enlace de datos.

Respecto a las comunicaciones, algunos RPAS avanzados han adoptado enlaces de datos más sofisticados, como sistemas de comunicación por satélite (SATCOM), radios encriptadas y tecnologías de comunicación de largo alcance. Estos enlaces son los de mayor alcance y ofrecen una conexión confiable y segura entre la aeronave y la estación de control, incluso en entornos difíciles o a largas distancias. Otros RPAS incorporan capacidades de conectividad a redes móviles y de internet, permitiendo una transmisión de datos en tiempo real a través de redes de telecomunicaciones, lo que amplía significativamente su alcance operativo y evita el *delay* que pueda sufrir un enlace tipo SATCOM. Además, estos últimos, suelen ser más baratos.

Las empresas que actualmente han desarrollado estos enlaces de datos son, Inmarsat, SES Networks y Viasat en conectividad satelital, y Telesat en conectividad vía satélite y en la integración de tecnología 5G.

En ausencia de cobertura 5G, la compañía Starlink y las tecnologías terrestres podrían colaborar para mejorar la conectividad a internet. Sin embargo, es importante destacar que, para el área de estudio en cuestión, existe la posibilidad de aprovechar la red 5G preexistente o, alternativamente, seguir la propuesta del proyecto de establecer una red privada 5G.

Chapter 4. CONOCIMIENTO GENERAL DE AERONAVES

4.1 Principios de vuelo

Los principios fundamentales que rigen el vuelo de una aeronave se basan en las leyes de la física y en los conceptos aerodinámicos, entre los que destacan el principio de Bernoulli y la ecuación de los gases perfectos.

El Principio de Bernoulli establece que a medida que la velocidad de un fluido (como el aire) aumenta, su presión disminuye.

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = cte$$

Donde:

- p es la presión del fluido en el punto considerado.
- ρ es la densidad del fluido.
- v es la velocidad del fluido en ese punto.
- g es la gravedad
- h es la altura a la que se encuentra el punto en relación con un nivel de referencia.

La ecuación de los gases perfectos:

$$pV = \eta RT$$

En el contexto del vuelo, el ala de la aeronave está diseñada para crear una diferencia de presión entre la parte superior y la inferior del ala, generando sustentación.

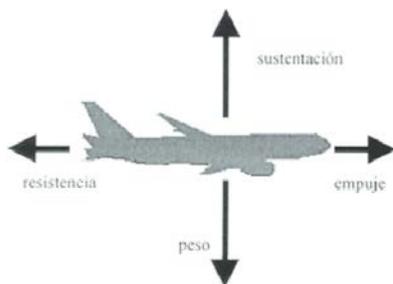


Ilustración 13 Diagrama de fuerzas en una aeronave

La sustentación es la fuerza que eleva y mantiene en vuelo a la aeronave. Se produce cuando el flujo de aire alrededor del ala genera una presión menor en la parte superior que en la inferior, creando una fuerza hacia arriba.

La resistencia es la fuerza opuesta al movimiento que experimenta la aeronave a través del aire. Depende de varios factores como la superficie expuesta o la velocidad. Hay dos tipos de resistencia, la resistencia inducida que está relacionada con la generación de sustentación, y la resistencia parásita que no está relacionada con la generación de sustentación. La resistencia se puede minimizar mediante diseños aerodinámicos eficientes.

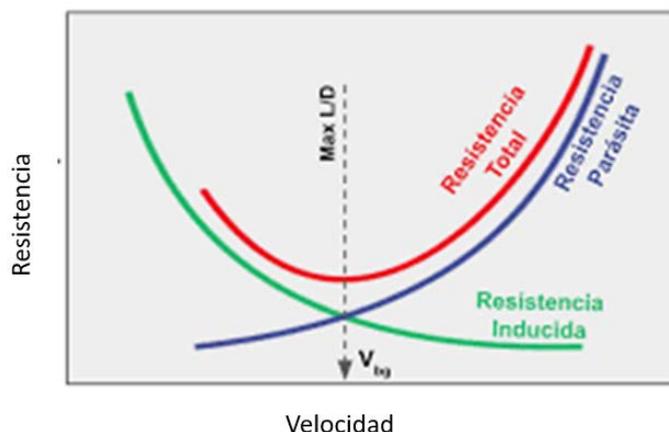


Ilustración 14 Relación resistencia-velocidad

El peso es la fuerza gravitacional hacia abajo que actúa sobre la aeronave. El peso es contrarrestado por la sustentación para mantener la aeronave en vuelo.

El empuje es la fuerza que impulsa la aeronave hacia adelante. Puede provenir de motores de combustión, motores eléctricos o cualquier otro dispositivo de propulsión.

Al igual que el peso se considera que está concentrado en un punto denominado centro de gravedad, la sustentación también se considera concentrada en un punto que se denomina centro de presiones.

4.2 Sistemas de control y navegación

El control de vuelo se logra mediante superficies de control, como alerones, elevadores y timones, que permiten a los pilotos controlar la aeronave en los ejes de movimiento (alabeo, cabeceo y guiñada).

En los RPAS este control lo realiza el piloto automático de abordaje, que envía las órdenes a las superficies de control mediante impulsos eléctricos.

La navegación de un RPAS normalmente se realiza punto a punto. Estos puntos son previamente definidos en el plan de vuelo. La plataforma aérea indica su posición, normalmente, mediante señales satelitales de GNSS (GPS, GALILEO o GLONASS). Algunos RPAS más sofisticados están capacitados para navegar sin señales GNSS mediante técnicas de posicionamiento visuales, mediante la navegación inercial, o incluso a través de un enlace de datos dedicado.

4.3 Mantenimiento

El mantenimiento de los RPAS es fundamental para garantizar su seguridad, fiabilidad y rendimiento óptimo durante las operaciones. El mantenimiento que se realiza a los RPAS es similar al de las aeronaves tripuladas, siendo más complejo cuanto mayor es la plataforma aérea. Hay dos tipos de mantenimiento, el programado y el no programado.

En el mantenimiento programado el fabricante define tanto la tolerancia permitida por horas o ciclos de ciertos componentes del sistema como las revisiones periódicas a realizar al sistema.

El mantenimiento no programado es aquel que se lleva a cabo ante una discrepancia detectada en una revisión que requiera una actuación inmediata, o por un accidente o incidente.

4.4 Seguridad operacional

Los RPAS deben registrarse en el Registro de Aeronaves Pilotadas por Control Remoto de AESA si superan ciertas características, como un peso superior a 250 gramos. Los pilotos también deben registrarse y obtener un certificado de piloto de drones según la categoría de operación.

La normativa establece diferentes categorías de operación (abierta, específica y certificada) según el riesgo y el tipo de vuelo. Cada categoría tiene requisitos y restricciones específicos que deben cumplirse.

La normativa también establece unas reglas de operación, como volar a una altura máxima de 120 metros sobre el suelo, mantener el RPA siempre dentro del alcance visual del operador y evitar vuelos sobre áreas urbanas, aglomeraciones de personas, aeropuertos y áreas restringidas.

Además, es obligatorio tener un seguro de responsabilidad civil para cubrir daños a terceros en caso de accidentes o incidentes durante la operación del RPAS.

Para ciertas operaciones especiales o actividades específicas, como vuelos nocturnos, vuelos fuera de la línea de vista visual u operaciones en áreas restringidas, se requiere la obtención de autorizaciones o permisos especiales de AESA.

Finalmente, cabe destacar que también hay que tener en cuenta las normativas de privacidad y protección de datos para garantizar que la captura y el procesamiento de imágenes no infrinjan los derechos de privacidad de las personas.

Chapter 5. LEGISLACIÓN AÉREA Y NORMATIVA

5.1 Regulaciones internacionales sobre el uso de drones

A nivel internacional, aunque la OACI no emite regulaciones directas sobre drones, ha proporcionado orientación y recomendaciones para la integración segura de RPAS en el espacio aéreo, en particular mediante la Circular 328 AN/190 sobre sistemas no tripulados.

Para la aviación en la Unión Europea, la EASA ha desarrollado regulaciones y estándares, incluyendo el Reglamento (UE) 1139/2018, que establece las normas comunes para los RPAS en la UE.

En Estados Unidos la FAA emite regulaciones para el uso de RPAS, incluyendo normativas sobre el registro de drones, requisitos para operaciones comerciales, restricciones de vuelo y requisitos para pilotos de drones.

En el Reino Unido la CAA (Civil Aviation Authority) también emite regulaciones específicas para el uso de drones, incluyendo normativas sobre el registro, las categorías de operación y las restricciones para vuelos recreativos y comerciales.

5.2 Normativas específicas en España

En España, la operación de drones está regulada por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) y la normativa establecida por la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA).

El Reglamento Base 1139/2018 de la Unión Europea para la aviación, establece los requisitos esenciales para el diseño, la producción, el mantenimiento y la explotación de los RPAS. Este reglamento permite armonizar las regulaciones en toda la Unión Europea, incluyendo España.

Por tanto, las disposiciones y limitaciones operacionales establecidas en la Ley 18/2014 para los RPAS y el Real Decreto 1036/2017 que regulaba la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto, y modificaba el RD 552/2014 (Reglamento del aire) y el RD 57/2002 (Reglamento de Circulación Aérea), para adecuarlos a la operación de las aeronaves pilotadas por control remoto, quedaron integrados en el Reglamento Base.

No obstante, para favorecer la seguridad y privacidad de los ciudadanos, permitir la libre circulación de drones y establecer el marco normativo europeo para el desarrollo de las operaciones, se publicaron el Reglamento 2019/947 y el Reglamento Delegado 2019/945.

El Reglamento 2019/947, de 24 de mayo de 2019, relativo a las normas y los procedimientos aplicables a la utilización de aeronaves no tripuladas, y el Reglamento Delegado 2019/945, de 12 de marzo de 2019, sobre los sistemas de aeronaves no tripuladas y los operadores de terceros países de sistemas de aeronaves no tripuladas.

Ambos reglamentos sustituyen a las normativas desarrolladas a nivel nacional. En ellos se incluyen requisitos técnicos y operacionales para RPAS: se definen las capacidades que un RPAS debe tener para volar de forma segura y se establecen los requisitos para todos los tipos de operación, desde los que no necesitan autorización previa hasta los que requiere aeronaves y operadores certificados.

En concreto, el Reglamento 2019/947 incluye las normas relativas al registro de operadores centralizado por EASA, el marcado de identificación de clase de UAS, las zonas geográficas de UAS, los kits de accesorios de identificación a distancia directa, los sistemas geo-awareness, la definición de categorías operacionales abierta, específica y certificada, y los esquemas de formación de pilotos.

La Comisión Europea aprobó en abril de 2021 los tres Reglamentos de Ejecución del U-space, con aplicación a partir del 26 de enero de 2023, que se centran en dos objetivos principales: la homogeneización de la normativa operativa dentro del contexto europeo; y el establecimiento de requisitos técnicos aplicables al diseño y la comercialización de drones en la Unión Europea. Los reglamentos son los siguientes:

- El Reglamento de Ejecución (UE) 2021/664, sobre el marco regulador para el U-Space. El objeto de este reglamento es establecer normas y procedimientos para la seguridad de las operaciones de los UAS en el espacio aéreo U-Space, para la integración segura de los UAS en el sistema de aviación y para la prestación de servicios de U-Space
- El Reglamento de Ejecución 2021/665 por el que se modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 2017/373 en lo que respecta a los requisitos para los proveedores de servicios de gestión del tránsito aéreo/navegación aérea y otras funciones de la red de gestión del tránsito aéreo en el espacio aéreo U-Space designado en el espacio aéreo controlado. Este reglamento establece las bases de la Reconfiguración Dinámica del espacio aéreo controlado en el caso de espacios U-Space que penetren en estos mencionados.
- El Reglamento de Ejecución (UE) 2021/666 por el que se modifica el Reglamento (UE) No 923/2012, en lo que se refiere a los requisitos para la aviación tripulada que opera en el espacio aéreo U-space es una modificación del Reglamento SERA (Standardised European Rules of the Air) para adaptar las reglas del aire de forma que se posibilite la integración de los UAS con el resto de la aviación tripulada

En España estos espacios estarán designados por la Comisión Interministerial de Defensa, Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (CIDETMA).

El concepto U-Space, desarrollado por EASA se refiere a un conjunto de servicios y procedimientos que permiten gestionar de manera segura y eficiente el tráfico aeronaves no tripuladas de manera ordenada, fluida, segura y asequible.

El término "U-space" se utiliza para describir un ecosistema completo que permite la integración segura y la gestión automatizada de los UAS, con un elevado número de operaciones simultáneas a baja altitud y en entornos urbanos.

5.3 Aspectos legales relacionados con la vigilancia y privacidad

En España, la legislación que regula la vigilancia y la privacidad en el contexto del uso de RPAS se encuentra principalmente en la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales (LOPDGDD) y en el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD), que establecen las normativas sobre privacidad y protección de datos personales.

Además, la Agencia Española de Protección de Datos (AEPD) ofrece directrices y orientaciones específicas sobre el uso de drones y la protección de la privacidad, asegurando el cumplimiento

de la normativa en el ámbito de la protección de datos y la privacidad en relación con la operación de RPAS. Aunque el Real Decreto 1036/2017 recoge algunos aspectos de seguridad y protección de datos.

Algunos puntos relevantes de la normativa española establecen que se requiere que el procesamiento, almacenamiento y gestión de datos personales se ajuste a las leyes de protección de datos, que la recopilación de datos sea proporcionada y necesaria para el propósito del vuelo. De este modo, se evita la captura indiscriminada de información no relevante para el objetivo establecido.

En algunos casos, puede ser necesario obtener el consentimiento previo o notificar a las personas afectadas antes de realizar la vigilancia mediante RPAS, especialmente en áreas donde se espera privacidad, como zonas residenciales o propiedades privadas.

Finalmente, cabe destacar que la normativa puede establecer restricciones y limitaciones sobre el vuelo de drones en áreas sensibles, como hospitales, escuelas, instalaciones militares y áreas de emergencia, con el objetivo de proteger la privacidad y seguridad de las personas.

Sin embargo, los RPAS para vigilancia por parte de agencias gubernamentales o de seguridad está sujeto a regulaciones especiales para garantizar que el monitoreo sea legal y cumpla con las leyes de privacidad y protección de datos.

Chapter 6. APLICACIÓN DE IA EN EL PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN E IMÁGENES

6.1 Algoritmos de inteligencia artificial aplicados a imágenes aéreas

Los algoritmos de inteligencia artificial (IA) aplicados a imágenes aéreas han experimentado avances significativos en diversas áreas, gracias al crecimiento en la calidad y cantidad de datos capturados por drones y otras plataformas aéreas. Estos algoritmos se utilizan para procesar y analizar imágenes aéreas con el objetivo de extraer información útil, realizar clasificaciones, detecciones, identificaciones o generar modelos tridimensionales del terreno.

En la vigilancia de puertos, la aplicación de IA se utiliza para mejorar la seguridad, la eficiencia operativa y la gestión de actividades portuarias. De este modo la IA contribuye a la prevención de riesgos, la mejora de la seguridad y el aumento de la productividad en estos entornos logísticos clave. Algunas de las aplicaciones específicas de IA utilizadas en la vigilancia de puertos incluyen sistemas de detección y reconocimiento de objetos, de reconocimiento y seguimiento de objetos, de análisis de imágenes multispectrales, y de corrección de distorsiones y mejora de calidad de las imágenes.

6.1.1 Detección y reconocimiento

Los sistemas de detección y reconocimiento de objetos como barcos, contenedores, vehículos, e incluso personas ayudan a monitorear el tráfico portuario y a detectar actividades sospechosas o intrusos. En esta aplicación destacan los algoritmos YOLO (You Only Look Once), Faster R-CNN (Region Convolutional Neural Network), SSD (Single Shot MultiBox Detector), Mask R-CNN y la plataforma Detectron

YOLO es un algoritmo de detección de objetos en tiempo real desarrollado por Joseph Redmon y colaboradores. Variaciones como YOLOv2, YOLOv3 y YOLOv4 mejoran la precisión y la velocidad de detección de objetos en imágenes y videos.

El algoritmo Faster R-CNN, propuesto por Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick y Jian Sun, es conocido por su capacidad para realizar detección de objetos a alta velocidad con una precisión mejorada. Utiliza una red neuronal convolucional para localizar y clasificar objetos en imágenes.

El algoritmo SSD es un algoritmo de detección de objetos desarrollado por Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy y Scott Reed. Es eficiente en términos de velocidad y mantiene un alto rendimiento en la precisión de la detección de objetos en imágenes.

El algoritmo Mask R-CNN, propuesto por Kaiming He, Georgia Gkioxari, Piotr Dollar y Ross Girshick, es una extensión de Faster R-CNN que agrega capacidades de segmentación semántica a la detección y localización de objetos, permitiendo identificar objetos y segmentar píxeles correspondientes.

Detectron es una plataforma desarrollada por Facebook AI Research (FAIR) que incluye implementaciones de varios algoritmos de detección de objetos, incluyendo Faster R-CNN, Mask R-CNN y otros, facilitando el desarrollo y la investigación en el campo de la visión por computadora.

Empresas como NVIDIA, Google y Amazon Web Services (AWS) desarrollan y utilizan estos algoritmos. NVIDIA desarrolla soluciones de inteligencia artificial y sistemas de cómputo de alto rendimiento que se utilizan en aplicaciones de visión por computadora, incluida la detección de objetos. Google, a través de TensorFlow Object Detection API, proporciona herramientas y marcos de trabajo como TensorFlow que permiten implementar algoritmos de detección de objetos, incluyendo Faster R-CNN y SSD. AWS ofrece servicios de aprendizaje automático, como Amazon Rekognition, que emplea algoritmos de IA para reconocimiento facial, detección de objetos y análisis de imágenes.

6.1.2 Análisis de patrones y comportamientos

Las aplicaciones de IA para el análisis de patrones y comportamientos anómalos o actividades inusuales en el puerto permiten una detección temprana de posibles amenazas, actividades potencialmente riesgosas o actividades ilícitas, contribuyendo así a la prevención de incidentes o acciones no autorizadas.

Los algoritmos específicos utilizados para la detección de patrones y comportamientos anómalos, suelen ser redes neuronales convolucionales (CNN), redes neuronales recurrentes (RNN) y modelos de aprendizaje profundo. Estos algoritmos pueden entrenarse con conjuntos de datos para reconocer patrones normales y, posteriormente, identificar desviaciones o comportamientos atípicos en tiempo real.

Empresas como Axis Communications, Bosch Security Systems, Hikvision y Huawei destacan en este ámbito. Axis Communications ofrece soluciones de análisis de video y detección de comportamientos anómalos a través de su plataforma de análisis de video AXIS Perimeter Defender que utiliza algoritmos de IA para identificar actividades inusuales en el perímetro y zonas restringidas. Bosch Security Systems proporciona soluciones de análisis de video inteligente, como Bosch Intelligent Video Analytics, que emplea algoritmos avanzados para la detección de comportamientos anómalos y la identificación de situaciones de riesgo en entornos portuarios. Hikvision ofrece sistemas de análisis de video basados en IA, como Hikvision DeepinView, que utiliza algoritmos de aprendizaje profundo para la detección de comportamientos inusuales, intrusiones y actividades sospechosas en áreas de seguridad crítica. Huawei desarrolla sistemas de vigilancia inteligente utilizando IA y análisis de video para la detección automática de eventos anómalos, lo que permite la identificación de comportamientos no usuales en entornos portuarios.

6.1.3 Reconocimiento y seguimiento

Las aplicaciones de IA para el reconocimiento y seguimiento permiten identificar y seguir objetos en movimiento, como vehículos o personas.

Los algoritmos los algoritmos YOLO, Faster R-CNN, SORT (Simple Online and Realtime Tracking) y DeepSORT (Deep Learning to Track) destacan en esta aplicación. El algoritmo SORT, de seguimiento en tiempo real, utiliza detección de objetos, como YOLO, y técnicas de asociación de datos para realizar seguimiento de múltiples objetos en secuencias de video en tiempo real. DeepSORT es una extensión de SORT que incorpora una red neuronal para realizar un seguimiento más preciso de múltiples objetos en entornos complejos.

Al igual que en el apartado 6.1.1 empresas como NVIDIA, Google (a través de su plataforma TensorFlow), Microsoft, Amazon Web Services (AWS), entre otras, ofrecen y desarrollan herramientas y plataformas que utilizan algoritmos de inteligencia artificial para reconocimiento y seguimiento de objetos en tiempo real.

6.1.4 Análisis de imágenes multispectrales

La IA también se aplica para realizar el análisis de imágenes multispectrales, proporcionadas por RPAS o satélites, permitiendo el monitoreo de la calidad del agua, la vegetación en áreas circundantes y detectando derrames de petróleo u otros contaminantes.

Algunos de los algoritmos que se desarrollan con este fin, son de análisis de índices espectrales, de clasificación y segmentación de imágenes, y de análisis de series temporales. Los algoritmos que calculan y analizan índices espectrales, como el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), evalúan la salud de la vegetación y la presencia de cultivos.

Los algoritmos de clasificación de imágenes utilizan técnicas de aprendizaje supervisado para categorizar áreas terrestres basadas en las diferentes firmas espectrales obtenidas de imágenes multispectrales. Los algoritmos que segmentan imágenes en áreas homogéneas permiten identificar diferentes coberturas del suelo o tipos de vegetación. Los algoritmos que analizan datos de series temporales se emplean para evaluar cambios en el terreno, cambios en la vegetación a lo largo del tiempo, detección de plagas o enfermedades en cultivos, entre otros.

A nivel internacional, empresas como Parrot, MicaSense, DJI, SenseFly, entre otras, ofrecen RPAS que pueden capturar imágenes multispectrales y proporcionar herramientas de software para el análisis de estos datos. En España, existen empresas y centros de investigación que trabajan en el campo de los RPAS y el análisis de imágenes multispectrales, aunque no todas se dedican exclusivamente al desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial para este propósito.

El Instituto Tecnológico de Galicia (ITG) fundamenta parte de su actividad en el desarrollo de soluciones para UAS a través de la aplicación de IA.

El Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), Universidades como la Universidad Politécnica de Madrid, así como algunas empresas tecnológicas y de ingeniería como Indra, Tecnalia, NTT Data, entre otras, trabajan en el ámbito de la investigación y desarrollo de tecnologías relacionadas con RPAS y análisis de imágenes, aunque su enfoque no se centra exclusivamente en algoritmos de inteligencia artificial para imágenes multispectrales proporcionadas por RPAS.

6.1.5 Corrección de distorsiones y mejora de calidad

Para la corrección de distorsiones y mejora de calidad de imágenes, se emplean algoritmos avanzados de inteligencia artificial que eliminan el ruido y mejoran la precisión de la información extraída. Algunos de los algoritmos comunes utilizados para este propósito son las Redes Neuronales Convolucionales (CNN), Redes Generativas Antagonistas (GANs), algoritmos autoencoders, o Redes Neuronales Recurrentes (RNN). Las CNN se utilizan para tareas de mejora de imágenes, incluyendo la eliminación de ruido, la mejora de la resolución, la restauración de detalles perdidos y la corrección de distorsiones. Las GANs son eficaces para la mejora de imágenes mediante la generación de datos realistas a partir de imágenes distorsionadas o de baja calidad, ayudando en la restauración de la imagen original. Los algoritmos autoencoders se utilizan para comprimir y luego reconstruir la imagen, eliminando el ruido y restaurando detalles faltantes. Las RNN a veces se emplean en la corrección de secuencias de imágenes, mejorando la coherencia y calidad de la secuencia.

Las empresas que destacan en este ámbito a nivel internacional son NVIDIA, Google y Adobe. NVIDIA ha desarrollado técnicas basadas en IA para mejorar la calidad de las imágenes, como su plataforma NVIDIA Deep Learning Super Sampling (DLSS) para mejorar la calidad de gráficos en juegos. Google, a través de Google Brain y Google Research, trabaja en algoritmos avanzados para mejorar la calidad de imágenes mediante el aprendizaje profundo. La suite de software Adobe incluye herramientas de mejora de imágenes que emplean algoritmos avanzados de IA para corregir distorsiones, reducir ruido y mejorar la calidad de las imágenes.

A nivel nacional, en España, empresas como Indra, TecNALIA, NTT Data se dedican al desarrollo de tecnologías de inteligencia artificial y visión por computadora, aunque no todas se centran específicamente en la corrección de distorsiones y mejora de calidad de imágenes.

6.2 Procesamiento de datos en tiempo real

El procesamiento eficiente de grandes volúmenes de datos es esencial para los algoritmos de IA. Esta capacidad se alcanza mediante el uso de arquitecturas de algoritmos optimizadas y hardware especializado, como GPUs (Unidades de Procesamiento Gráfico) o TPUs (Unidades de Procesamiento Tensorial). Estos recursos permiten ejecutar cálculos intensivos de manera rápida y eficiente, fundamental para el procesamiento de datos complejos en tiempo real.

Dentro del campo de la IA, existen sistemas diseñados específicamente para aprender y adaptarse en tiempo real a medida que nuevos datos llegan. Esta adaptabilidad continua mejora la precisión y la capacidad predictiva de los algoritmos con el paso del tiempo. El aprendizaje continuo les permite ajustarse y evolucionar para abordar nuevas situaciones o patrones emergentes de manera más precisa y eficaz.

La capacidad de los algoritmos de IA para detectar patrones, anomalías o eventos específicos en tiempo real es un factor clave. Esta capacidad les permite identificar situaciones críticas o eventos importantes de forma automática y rápida. La detección inmediata de estos patrones posibilita una respuesta inmediata y automatizada, facilitando la toma de decisiones rápidas y precisas en situaciones críticas.

Además de la detección de eventos, la IA en tiempo real puede realizar análisis predictivos avanzados. Este análisis identifica tendencias y patrones emergentes en los datos para

predecir resultados futuros o tomar decisiones anticipadas. La capacidad de prever tendencias o comportamientos permite tomar medidas proactivas para optimizar procesos o mitigar riesgos antes de que se conviertan en problemas reales.

Para el procesamiento en tiempo real, se utilizan sistemas distribuidos o arquitecturas de computación en la nube. Estas tecnologías permiten escalar el procesamiento de datos según sea necesario para mantener la velocidad y capacidad de respuesta en tiempo real. La flexibilidad de estos sistemas permite adaptarse a las demandas variables de procesamiento y garantizar la capacidad de respuesta continua.

En la vanguardia de este campo, empresas tecnológicas líderes como Google, Amazon, Microsoft, NVIDIA, IBM y numerosas startups especializadas en inteligencia artificial están desarrollando y aplicando tecnologías de procesamiento de datos en tiempo real mediante IA. Su enfoque se extiende a diversas industrias, donde buscan mejorar la toma de decisiones, optimizar la eficiencia y automatizar tareas, impactando positivamente en numerosos sectores.

6.3 Integración de sistemas de IA en RPAS

La integración de sistemas de IA en RPAS es una tendencia en evolución continua, orientada a mejorar las capacidades y funcionalidades de estas aeronaves no tripuladas. La IA proporciona a los drones la capacidad de tomar decisiones autónomas fundamentadas en datos recopilados en tiempo real, abarcando desde la autonomía de vuelo hasta la navegación mejorada y la toma de decisiones adaptativas durante misiones específicas.

Los RPAS equipados con sistemas de IA tienen la capacidad de procesar y analizar datos en tiempo real provenientes de sus sensores. Esta capacidad les permite realizar tareas diversas, incluyendo la identificación de patrones, reconocimiento de objetos, generación de mapas tridimensionales y análisis de imágenes y videos, todo mientras se encuentran en vuelo.

La IA desempeña un papel crucial en la mejora de la seguridad y eficiencia de los drones. Esto se logra mediante la capacidad autónoma para detectar y evitar obstáculos, responder a situaciones de emergencia, y optimizar las rutas de vuelo con el fin de reducir el consumo energético y mejorar la eficiencia operativa.

La integración de la IA en RPAS abarca una amplia gama de aplicaciones, como la agricultura de precisión, la inspección de infraestructuras, la vigilancia y seguridad, la cartografía y topografía, así como el monitoreo ambiental. Estos campos requieren análisis y procesamiento de datos en tiempo real, áreas donde la IA en drones marca una diferencia significativa.

Sin embargo, esta integración enfrenta desafíos importantes, como el cumplimiento de regulaciones y normativas de seguridad, privacidad y operación. Además, se requiere una optimización constante de la eficiencia energética para mantener el procesamiento en tiempo real.

Tanto las empresas consolidadas como las startups están realizando inversiones significativas en el desarrollo de tecnologías que integran sistemas de IA en RPAS, para mejorar la autonomía, capacidades de análisis y seguridad de los RPAS, lo que promete avances significativos en diversas industrias y aplicaciones de los RPAS en el futuro.

Chapter 7. ESTUDIO DE CASO: VIGILANCIA DE UN PUERTO EN ESPAÑA

7.1 Descripción del puerto

En este estudio se ha escogido el puerto de Valencia por ser no solo el más grande de España y la cuenca del Mar Mediterráneo, sino que además es uno de los más importantes en términos de movimiento de mercancías y contenedores. En el 2022, el puerto de Valencia fue el segundo de España con más tráfico con 85,46 millones de toneladas, después de la bahía de Algeciras, con 105,05 millones toneladas. Además, el puerto de Valencia es conocido por su gran capacidad y volumen de operaciones, siendo un punto crucial en el comercio internacional y la logística en el Mediterráneo.

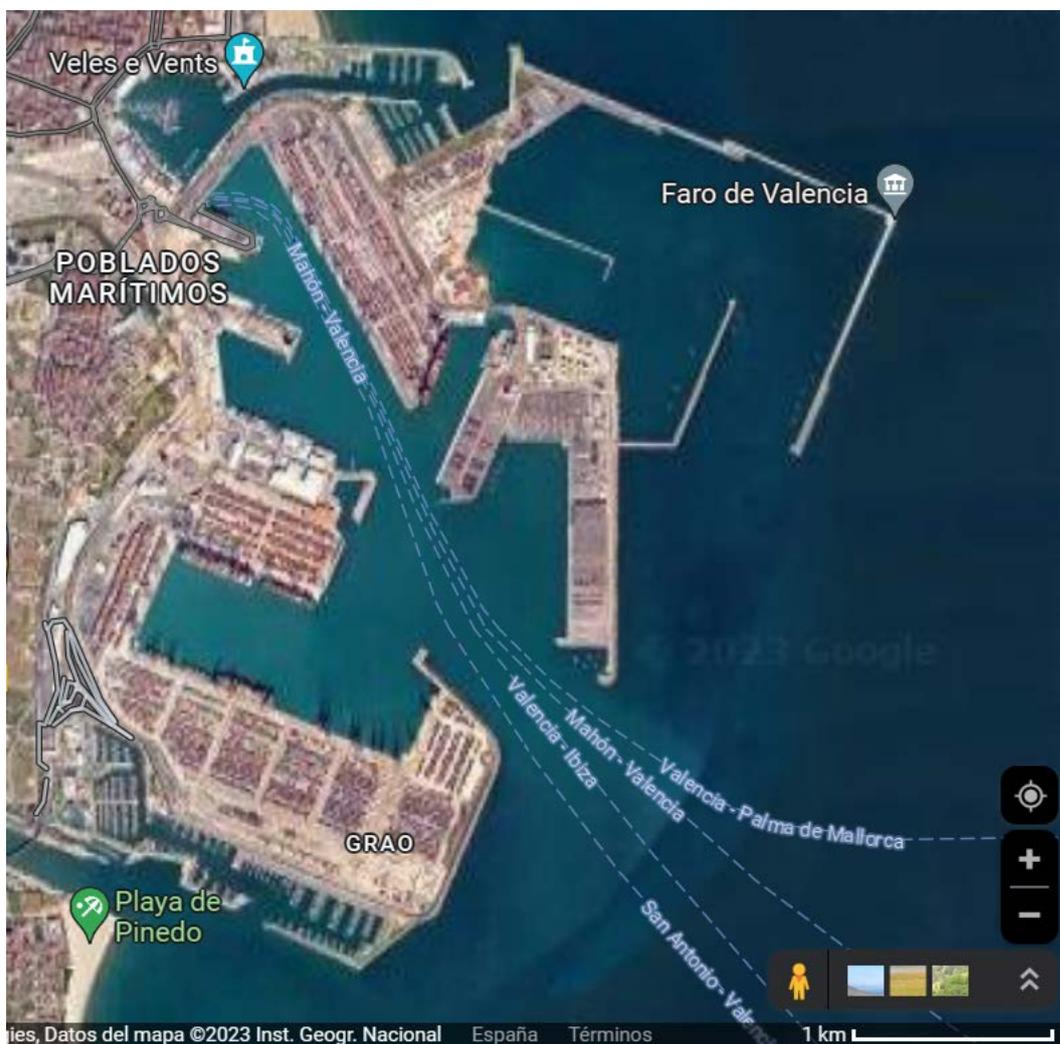


Ilustración 15 Vista satélite puerto de Valencia

Datos del puerto de Valencia	
Ámbito	Internacional
Tipo	Marítimo
Actividades	Pesquera, industrial, deportiva, comercial y de pasajeros
Operador	Autoridad Portuaria de Valencia
capacidad de tráfico anual	7,5 millones TEUs al año
	80 millones de toneladas anuales
Longitud de los muelles	13 232 m
Superficie	5 603 186 m ²

Tabla 7-1 Datos principales del puerto de Valencia

7.1.1 Situación del puerto

El Puerto de Valencia cuenta con una ubicación privilegiada, ofreciendo conexiones directas tanto por carretera como por ferrocarril a las redes nacionales e internacionales. La V-30, conocida como la circunvalación de Valencia, une el puerto con la Red de Interés General, permitiendo así acceder a todos los puntos nodales de su área de influencia. Esta vía estratégica se convierte en un enlace vital que facilita la conectividad eficiente y rápida del puerto con las principales rutas de transporte terrestre.

La conexión ferroviaria de Valencia representa otra pieza fundamental en la infraestructura de transporte del puerto. Este acceso ferroviario garantiza una conectividad óptima con todas las áreas productivas no solo de la península ibérica, sino también de Europa. La interconexión con las redes ferroviarias regionales e internacionales contribuye a la eficacia logística del puerto, permitiendo el traslado fluido de mercancías hacia y desde diversas zonas industriales y económicas, ampliando así su alcance a nivel nacional e internacional.

Estas conexiones viales y ferroviarias posicionan al Puerto de Valencia como un centro logístico estratégico, capaz de facilitar el flujo continuo y eficiente de mercancías, aprovechando su ubicación geográfica privilegiada y su infraestructura de transporte intermodal para integrarse de manera efectiva en las redes de distribución y comercio a nivel local e internacional.

7.1.2 Instalaciones

El Puerto de Valencia destaca por disponer de instalaciones altamente especializadas y de alto rendimiento, diseñadas para atender diversos tipos de tráfico marítimo y terrestre. Entre sus infraestructuras destacan una terminal pública de contenedores, terminales polivalentes, áreas específicas para automóviles y carga rodada, y terminales especializadas para graneles sólidos y líquidos.

En lo que respecta a las terminales de contenedores, el puerto dispone de tres instalaciones distintas. La terminal pública de contenedores, gestionada por Noatum Container Terminal Valencia, junto con las terminales de MSC Terminal Valencia y APM Terminals Valencia, conforman una infraestructura que permite un eficiente manejo de contenedores, facilitando la operación de embarque y desembarque de mercancías en estos puertos.

	Terminal pública de contenedores	MSC Terminal Valencia	APM Terminales Valencia
Ubicación	Muelles Príncipe Felipe y Este	Muelle Transversal de Costa	Muelle de Levante y Muelle Llovera
Atraque	1.500 y 330 metros, respectivamente	770 metros de longitud	1.133 y 430 metros, respectivamente
Calado	16 metros	16 metros	14 y 16 metros
Grúas	19 grúas pórtico	8 grúas pórtico	9 grúas portacontenedores

Tabla 7-2 Terminales de contenedores del puerto de Valencia

En el área de terminales de automóviles y carga rodada, el Puerto de Valencia dispone de dos instalaciones situadas en el Muelle Dique del Este, las cuales están diseñadas específicamente para la recepción, almacenamiento y distribución de vehículos y carga rodada, contribuyendo así a la fluidez de las operaciones portuarias.

Asimismo, en lo que respecta a graneles sólidos, varias empresas destacadas operan dentro del recinto portuario. Firmas como Holcim España, Silos y Almacenaje de Valencia, Terminal Marítima Servicesa, CEMEX, Temagra y Borax, entre otras, gestionan terminales e instalaciones especializadas para la manipulación y almacenamiento de graneles sólidos.

En el ámbito de los graneles líquidos, diversas empresas como Galp, Tepsa, Demagrisa, Productos Asfálticos y Teva-Tank tienen presencia y operan en el Puerto de Valencia. Estas compañías gestionan terminales especializadas para el manejo y almacenamiento de líquidos a granel, desempeñando un papel crucial en la logística y el movimiento de este tipo de mercancías en el recinto portuario.



Ilustración 16 Plano del puerto de Valencia

7.1.3 Cruceros

En la última década, el tráfico de cruceros en el Puerto de Valencia ha experimentado un significativo crecimiento, consolidándose como un motor económico para la ciudad gracias al turismo. En el año 2016, un total de 403.264 personas desembarcaron en el puerto a bordo de cruceros turísticos.

La infraestructura del Puerto de Valencia tiene dos muelles aptos para el atraque de buques de hasta 300 metros de eslora, junto con otros tres muelles diseñados para naves con más de 300 metros de eslora. En la zona norte del puerto se ha desarrollado una nueva área dedicada a cruceros, provista de tres atraques con espacios terrestres adecuados para las operaciones específicas de este tráfico marítimo.

La estación marítima de Valencia, adyacente a los muelles, ofrece una amplia gama de servicios especializados para los cruceros que incluyen la gestión integral de consignación de cruceros, fingers móviles y ajustables de altura para el acceso nave-terminal, seguridad conforme al código ISPS, registro de pasajeros y equipajes, asistencia a la tripulación, atención personalizada a pasajeros con movilidad reducida, instalaciones VIP, restaurantes, cafeterías, tiendas libres de

impuestos, acceso a internet, estacionamiento de larga duración y un centro de información turística proporcionado por VLC Turismo.

En la actualidad, Valencia se posiciona como puerto base para cruceros operados por MSC Cruceros y Costa Cruceros, además de recibir escalas de otras 34 compañías del sector. El Plan Estratégico de la Autoridad Portuaria de Valencia tiene como objetivo proyectado alcanzar para el año 2020 la cifra de 600.000 pasajeros, 250 escalas y la visita de 40 navieras distintas. Este plan delineado pretende seguir fomentando el crecimiento sostenido del turismo de cruceros en la ciudad y consolidar aún más su posición en el sector.

7.1.4 Integración puerto ciudad

En los 80, la Autoridad Portuaria de Valencia emprendió una política de armonización del entorno portuario más cercano a la ciudad, iniciando la restauración de los antiguos Tinglados y otros edificios históricos en la Dársena Interior y estableciendo diversos convenios con las diferentes Administraciones, entre los que destaca el acuerdo Balcón al Mar en 1986. Este acuerdo posibilitó, en 2013, la cesión de la Dársena Interior del puerto a la ciudad.

Las obras ejecutadas con motivo de la 32 America's Cup constituyeron un hito significativo al propiciar la creación de nuevos espacios portuarios destinados al uso ciudadano y deportivo. Este proyecto dio lugar a la creación de la Marina Real Juan Carlos I, gestionada por el Consorcio Valencia 2007, donde se llevan a cabo actividades relacionadas con la náutica, restauración, áreas de juegos infantiles, eventos deportivos, culturales, entre otros.

En la actualidad, en el área sur, colindante con el barrio de Nazaret, se está revisando el proyecto original del convenio firmado en 1986. Tanto el Ayuntamiento como la Autoridad Portuaria de Valencia trabajan en la definición de los contenidos y diseño para redactar un Plan Especial que abarca un área de más de 180.000 m². Este plan tiene como finalidad establecer usos que sirvan de transición entre el barrio y la actividad portuaria.

Es relevante mencionar que en 2015 se creó la Comisión Delegada del Consejo para el Impulso de la Integración Territorial, cuyo objetivo principal es resolver asuntos relacionados con la fachada marítima. Integrado en dicha comisión, Valencia cuenta con un comité asesor presidido por el alcalde de la ciudad, para asesorar y abordar las cuestiones concernientes a la integración territorial en la zona marítima.

7.1.5 Patrimonio arquitectónico

Estos son los edificios de relevancia arquitectónica del puerto de Valencia:

- El Edificio del Reloj, diseñado en 1914 por Federico Gómez de Membrillera, ingeniero subdirector del Puerto, para estación marítima.
- Los tinglados, que destacan por su decoración modernista. Diseñados por Federico Gómez de Membrillera, fueron seis, pero tan sólo quedan en pie los tinglados 2, 4 y 5.
- El edificio de la Aduana, del arquitecto valenciano Enrique Viedma, terminado en 1930.
- El Varadero Público, construido en 1917 sobre el muelle de la aduana.
- Los muelles Comerciales, proyectados hacia 1911.



Edificio del reloj



Tinglado nº 4



Edificio de la Aduana



Varadero Público

Ilustración 17 Patrimonio arquitectónico del puerto de Valencia

7.2 Desafíos de seguridad del puerto

La Autoridad Portuaria de Valencia (APV) asegura la seguridad de los puertos de Valencia, Sagunto y Gandía junto con otras administraciones relacionadas con la policía, protección civil, prevención de incendios, salvamento y lucha contra la contaminación.

El control centralizado de las operaciones, servicios y mantenimiento ayuda a reducir los riesgos significativamente. El Centro de Control de Emergencias (CCE) opera las 24 horas del día para coordinar y tomar decisiones relacionadas con la seguridad y emergencias en los puertos.

Los desafíos en materia de seguridad del puerto abarcan diversas áreas como la seguridad física y de infraestructura, la seguridad cibernética, la seguridad marítima, el cumplimiento normativo y seguridad operacional, y la gestión de crisis y preparación para emergencias.

El objeto de la seguridad física y de infraestructura es proteger las instalaciones portuarias contra amenazas como intrusiones no autorizadas, sabotajes, siendo una prioridad vigilar para evitar los robos o daños de la infraestructura. Esto implica mantener un control estricto de acceso, vigilancia mediante sistemas de cámaras y tecnologías de detección, así como la implementación de protocolos de seguridad robustos.

Los puertos son cada vez más susceptibles a ataques cibernéticos que podrían afectar la infraestructura y las operaciones. La protección de los sistemas informáticos y la información, así como la prevención de accesos no autorizados o ataques de malware, son fundamentales.

La seguridad marítima se centra tanto en controlar y gestionar los riesgos relacionados con el tráfico marítimo, incluyendo la prevención de colisiones, como en la salvaguarda contra actividades ilegales como el contrabando, la piratería y el control de tráfico de embarcaciones.

Garantizar el cumplimiento de las regulaciones nacionales e internacionales de seguridad marítima y portuaria, así como asegurar la implementación de protocolos operacionales seguros, constituyen un reto constante.

Contar con protocolos con procedimientos efectivos para responder ante emergencias como accidentes, derrames de carga peligrosa, desastres naturales o incidentes de seguridad es esencial para minimizar impactos adversos. La APV dispone de Planes de Autoprotección (PAU) para cada puerto que buscan minimizar daños, salvaguardar vidas y coordinar la respuesta a emergencias, accidentes o incidentes en el área portuaria.

7.3 Planificación de procedimiento de vigilancia del puerto con RPAS

En este proyecto se estudia la viabilidad de realizar el servicio de vigilancia del puerto de Valencia mediante RPAS, enfocándose en dos casos de uso; uno, será el mejorar significativamente la seguridad física y de la infraestructura y el otro, la mejora de la seguridad marítima.

En ambos casos, a grandes rasgos, el procedimiento de implantación del servicio de vigilancia será el mismo. Primero se generará una red privada 5G permita la transmisión de videos en tiempo real, con una gran calidad, y su almacenamiento. Después se ajustará la configuración del RPAS y su cámara para poder transmitir el video en tiempo real a través de la red 5G privada generada. Seguidamente se realizará el vuelo del RPAS en el puerto. El vuelo se realizará por la ruta de interés, previamente acordada, con la autoridad portuaria. Esta ruta de interés será diferente en función del objetivo del vuelo. No obstante, hay que considerar que las cámaras que embarcan los RPAS tienen altas prestaciones y permiten el reconocimiento e identificación de vehículos y personas a más de un kilómetro de distancia. Durante el vuelo, las imágenes del RPAS se podrán observar en tiempo real en un ordenador que simulará el centro de control del puerto. Finalmente, se generará una plataforma privada que permitirá la visualización y descarga de estos vídeos.

7.3.1 Red privada 5G

La red privada, basada en software, controlará el *ram shareing* o la compartición de red hasta las antenas 5G, que serán las encargadas de servir a los dispositivos 5G. En este caso, los dispositivos 5G que se conectarán a la red serán los RPAS.

La preferencia por el uso de la red privada en lugar de la pública se fundamenta en su capacidad para conectar una amplia variedad de dispositivos, además de ofrecer niveles superiores de seguridad, eficiencia, control, reducción de costos y mejor calidad de servicio.

El punto de partida de creación de la red privada 5G se centra en el despliegue de esta desde el edificio de la Autoridad Portuaria de Valencia. La primera fase implica la instalación de estaciones base que serán ubicadas estratégicamente para garantizar una cobertura efectiva en el área de trabajo. Una vez desplegadas las estaciones base y configurados los RPAS, se procede a establecer una conexión inalámbrica segura entre ellos.



Ilustración 18 Ubicación de antenas 5G

Los componentes generales que encontrarán esta red 5G serán los siguientes:

- Función de Control de Acceso (AMF): Encargada de gestionar la autenticación, la autorización y el control de movilidad para los dispositivos, en este caso, los drones.
- Función de Gestión de Sesiones (SMF): Administra las sesiones de comunicación de los dispositivos, asigna IP y gestiona el tráfico de datos.
- Función de Anclaje de Datos (UPF): Proporciona la función de enrutamiento de paquetes y gestiona el transporte de datos entre los drones y otros dispositivos o servidores externos.
- Función de Gestión de Identidad de Usuario (UDM): Encargada de gestionar la información de identidad de los usuarios, en este caso, los drones y sus conexiones.
- Función de Reducción de Tráfico (PCF): Administra las políticas de calidad de servicio (QoS) y la priorización del tráfico, asegurando la eficiencia en la utilización de recursos.
- Función de Autenticación (AUSF): Encargada de autenticar a los usuarios y dispositivos que se conectan a la red 5G.

La arquitectura de red 5G propuesta sigue los lineamientos fundamentales establecidos por el Proyecto 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Esta arquitectura se sustenta en un enfoque altamente adaptable y programable denominado Network Slicing, el cual habilita la generación de entornos de red virtuales, autónomos y adaptados a necesidades particulares, como, por ejemplo, la configuración de una red privada destinada a la operación de drones.

Estos componentes se adquieren a través de proveedores especializados en telecomunicaciones, equipos de red y fabricantes de sistemas de comunicación que proporcionan soluciones integradas de red 5G. Ejemplos de estos proveedores incluyen empresas líderes como Ericsson, Nokia, Huawei, Samsung y Cisco.

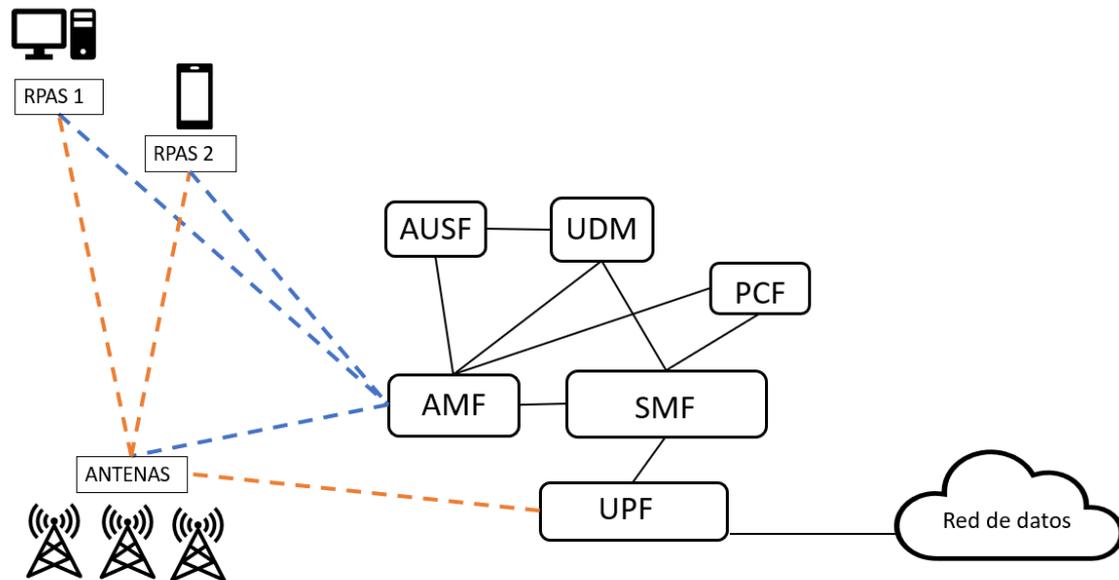


Ilustración 19 Arquitectura red privada 5G

7.3.2 Vuelo del RPAS

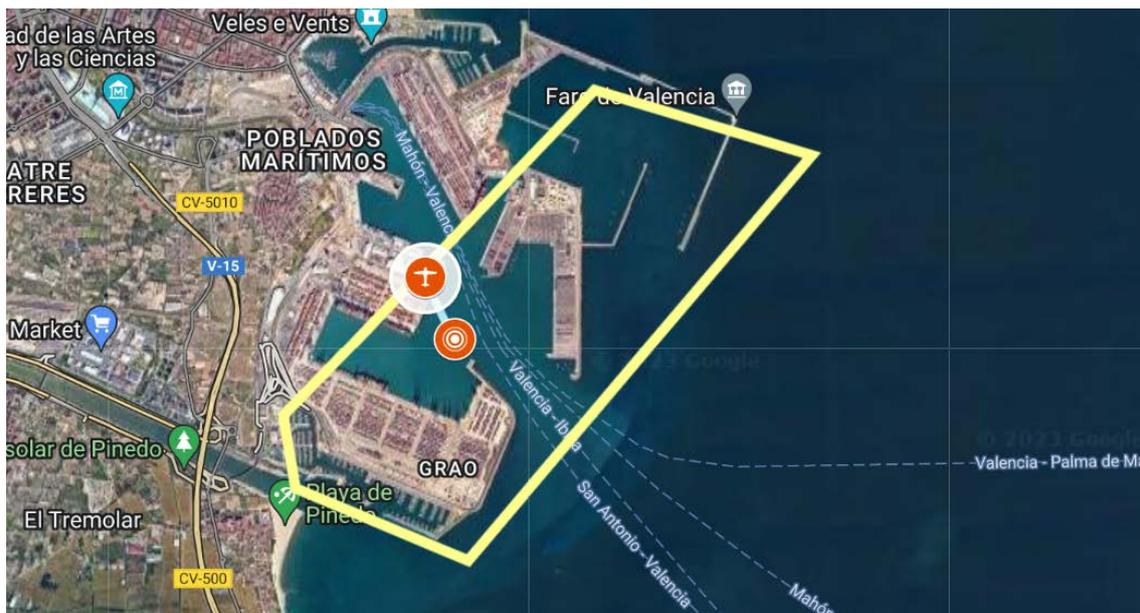


Ilustración 20 Ruta y zona de despegues y aterrizajes

La zona de despegue y aterrizaje se ubicará en el club de salvamento acuático deportivo Salvamar Pollux. El despegue se dirigirá, contra la dirección del viento, hacia el mar hasta llegar al punto designado para iniciar un ascenso haciendo círculos (loitering) hasta alcanzar la altitud establecida para la ruta predefinida. Una vez alcanzada esta altitud, el vuelo seguirá la trayectoria delimitada por el polígono amarillo, desde el que se podrá controlar el perímetro del puerto y la entrada de las embarcaciones, evitando sobrevolar poblaciones y carreteras. Cabe destacar que tanto las áreas definidas como la ruta propuesta deben recibir la aprobación previa de la APV.

Además, al realizar vuelos de RPAS nocturnos, se encuentran en categoría específica y de acuerdo con la web Enaire drones, para llevar a cabo el vuelo, se requiere un análisis aeronáutico de seguridad, coordinación con ENAIRE para la segregación del espacio aéreo (ZOTER), y autorización operacional de la AESA. En consecuencia, se ha realizado un estudio aeronáutico de seguridad para permitir la operación simultánea de ambos RPAS, tanto durante el día como la noche. El estudio aeronáutico de seguridad lo realizarán las empresas fabricantes de los RPAS, en este caso ETRAIR dispone de declaración operacional de los escenarios estándar STS-ES-01 y STS-ES-02. No obstante, se incluye una propuesta de estudio aeronáutico de seguridad, siguiendo la metodología SORA (Specific Operations Risk Assessment), para la zona en concreto del puerto de Valencia.

7.3.3 Plataforma de explotación de videos

Se ha desarrollado la plataforma, vigvalenciaport, que proporciona acceso a videos generados por los dispositivos configurados previamente. El ingreso a esta plataforma requiere un nombre de usuario y contraseña. Los videos se organizan en carpetas según los dispositivos correspondientes, en este caso según el RPA que lo haya generado. Este entorno se encuentra alojado en un servidor perteneciente a la Autoridad Portuaria de Valencia.

Dentro de esta plataforma, los usuarios pueden visualizar o descargar los videos, dependiendo de los niveles de acceso que les hayan sido asignados. Los usuarios con privilegios de administrador pueden ver la plataforma completa. El resto de los usuarios tienen menos privilegios. Los usuarios tipo 1 pueden acceder a los videos en directo, los almacenados y pueden descargar los videos. Finalmente, los usuarios tipo 2 pueden acceder a todos los videos, pero no pueden descargarlos. Cualquier usuario podrá generar comentarios.

7.4 Diseño del RPAS

El diseño de los RPAS utilizados para realizar la vigilancia del puerto será un diseño modular para que sea más sencillo el mantenimiento y una futura integración en el sistema de seguridad del puerto.

Considerando que se plantea una vigilancia continua de la zona, en el estudio del estado del arte realizado se ha dado prioridad a RPAS de máxima autonomía. Además, se han buscado sistemas con huella de carbono nula para seguir las políticas actuales, y huella acústica mínima para que la vigilancia sea más efectiva, especialmente por la noche.

Lamentablemente, no se ha identificado un sistema que combine una amplia autonomía con una considerable capacidad de carga para embarcar tanto una linterna (90 gr) como altavoces (700 gr), elementos esenciales para su utilización en caso de detectarse una amenaza. Por todo lo anterior, se concluye que emplearán dos tipos de RPAS. Los RPAS M5D Airfox, de ala fija, serán utilizados para realizar una vigilancia continua y discreta, mientras que los Akila e-Quad, que son más pequeños, versátiles y pueden embarcar linterna y altavoces, se emplearán para responder ante una amenaza detectada.

Los RPAS M5D Airfox tendrán con dos configuraciones: una diurna con una autonomía de 10 horas y una nocturna con hasta 2 horas de autonomía. La versión nocturna estará equipada con menos placas solares pero una batería de mayor capacidad.

Las características del RPAS M5D Airfox incluyen vigilancia, seguimiento y detección de objetivos con alimentación solar para vuelos de hasta 10 horas. Además, cuenta con emisión cero y huella de carbono nula en todas sus operaciones. También presenta tecnología dual con paneles solares y baterías, adecuada para apoyar operaciones de vigilancia, salvamento y combate a actividades ilegales en el mar (piratería, contrabando, inmigración ilegal, pesca ilegal, etc.). Proporciona la capacidad de tomar decisiones estratégicas en tiempo real al permitir la planificación anticipada de rutas y la optimización del tiempo de vigilancia, junto con una huella logística extremadamente reducida.

La carga útil embarcada en ambas configuraciones será la que lleva el RPAS por defecto ya que permiten la detección, reconocimiento e identificación de personas y vehículos, tanto fijos como móviles, a la altura de la misión. Las características de la carga útil son las siguientes::

- Número módulo cámara KLT-E6K-IMX214 V2.0
- Sensor de imagen IMX214
- EFL 2,27mm
- F.NO 2,4
- Píxel 4224x3136
- Ángulo de visión 152º
- Tipo de lente 1/3.06 pulgadas
- Dimensiones de lente 13.00 x 13.00 x 22.82
- Tamaño del módulo 60 x 22 mm
- Tipo de módulo Enfoque fijo
- Interfaz MIPI
- Módulo de lente IMT IMT-2B12H002-N



Ilustración 21 Sistema M5D Airfox

Los RPAS Akila e-Quad irán equipados con cámara visual de alta definición, cámara térmica, foco y altavoz para realizar una actuación frente a una amenaza detectada.

El RPAS Akila e-Quad está compuesto por diversos sub-sistemas:

- RPA: Cuadricóptero e-Quad
- GCS

El cuadricóptero e-Quad, construido con fibra de carbono, composites y aluminio, es capaz de operar en un amplio rango de temperaturas, desde -20°C hasta +50°C. Su Autopiloto incorpora una IMU, electrónica redundante y ADS-B para una navegación precisa, con comunicaciones adaptables en frecuencias como 2,4 GHz. La Estación de Control de Tierra, portátil y cifrada, ofrece una pantalla de 7 pulgadas, alta luminosidad, 10 horas de autonomía, y comunicaciones integradas, con un diseño intuitivo.

Totalmente eléctrico y con baterías de litio, el sistema permite despegues y aterrizajes verticales (VTOL) con más de 60 minutos de vuelo continuo. Su versatilidad se refleja en cargas útiles intercambiables que incluyen EO, IR, LRF, seguimiento de objetivos y capacidades de IA para reconocimiento de personas y vehículos. Opcionalmente, ofrece gestión de flotas, siendo un orgulloso producto fabricado en España, representando la excelencia en drones de vanguardia.

Imágenes de alta resolución



Ilustración 22 RPAS Akila e-Quad

7.5 Implementación del sistema de vigilancia

De acuerdo con la normativa actual, se establecerá una segregación permanente del espacio aéreo para permitir el vuelo ininterrumpido del RPAS en el puerto de Valencia. Cuando entre en vigor la normativa U-Space, es de imaginar que el puerto de Valencia tendrá su propio espacio U-Space. El M5D Airfox llevará a cabo una vigilancia continua en el puerto mediante vuelos continuos. La inteligencia artificial implementada en la GCS posibilita la detección automática de anomalías en tiempo real y, en caso de interés, facilita el seguimiento automático de estos

objetivos. Durante los vuelos diurnos, se utilizarán M5D Airfox con sensores EO como carga útil, mientras que por la noche se emplearán M5D Airfox con sensores IR.

En situaciones que se requiera una actuación rápida, se podrá desplegar el Akila e-Quad y dirigirlo hacia la zona de interés. Desde el puesto de control, será posible utilizar en tiempo real el foco y altavoz integrados. Ambos sistemas permiten el seguimiento automático de los objetivos designados, lo que significa que en caso de detectarse un robo y los delincuentes huyan, podrían ser rastreados con los RPAS. Sin embargo, es esencial considerar las zonas de vuelo autorizadas. Los operadores de los RPAS serán los vigilantes de seguridad actuales, que habrán sido previamente formados para dar órdenes al RPAS. Además, los operadores deberán contar con una autorización emitida por la AESA.

Las imágenes capturadas por los RPAS se transmitirán en tiempo real, a través de la red 5G privada, al centro de control de seguridad del puerto. Estas imágenes serán almacenadas en la plataforma creada y estarán disponibles para su descarga si así se requiere.

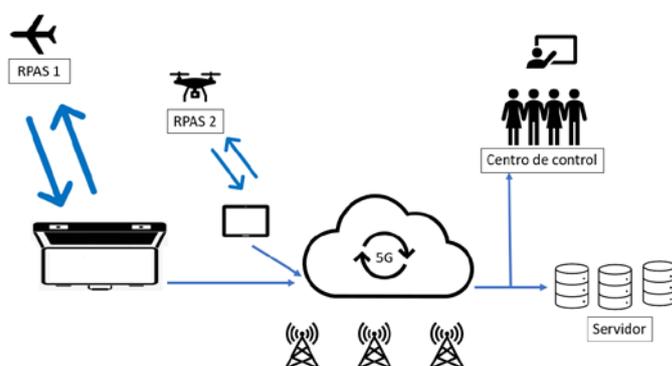


Ilustración 23 Esquema sistema de vigilancia

7.6 Resultados y análisis de la eficacia del sistema

En este apartado se detallan los resultados esperados y el análisis de la eficacia del sistema de vigilancia desarrollado para el puerto de Valencia con RPAS equipados con IA, red 5G privada y plataforma de vídeos privada.

7.6.1 Ventajas de la vigilancia con RPAS

La vigilancia con RPAS presenta una serie de ventajas sustanciales en comparación con el enfoque tradicional basado en cámaras fijas dentro de un entorno portuario. Estos sistemas ofrecen una gama única de capacidades que transforman la forma en que se lleva a cabo la vigilancia y la seguridad en áreas estratégicas como los puertos marítimos.

En primer lugar, los RPAS proporcionan una movilidad y cobertura excepcionales. Su capacidad para desplazarse y cubrir áreas extensas de manera dinámica y flexible es incomparable con las cámaras fijas convencionales. Estos sistemas pueden acceder a ubicaciones precisas y ángulos de visión específicos que, de otra manera, serían difíciles o imposibles de alcanzar con sistemas de vigilancia estáticos. Esta capacidad permite una cobertura integral y detallada del área bajo vigilancia, lo que es esencial para la protección y seguridad de un puerto.

La flexibilidad en la visualización es otro aspecto clave. Los RPAS tienen la capacidad de ajustar su posición, altitud y ángulo de visión en tiempo real, lo que brinda a los operadores la posibilidad de obtener perspectivas diversas y adaptarse a situaciones cambiantes. Esta versatilidad resulta fundamental para obtener información detallada y específica según las necesidades particulares de vigilancia en un momento dado.

La respuesta rápida es un atributo crucial de los RPAS. En situaciones de emergencia o para investigar áreas específicas de interés, la movilización rápida de estos sistemas permite una acción ágil, contribuyendo a la detección temprana y a la mitigación efectiva de problemas de seguridad.

La vigilancia dinámica ofrecida por los RPAS se destaca por su capacidad para realizar seguimientos activos y detectar movimientos sospechosos o ilegales en tiempo real. Esta habilidad mejora significativamente la capacidad de detección y seguimiento en comparación con los sistemas estáticos.

Además, la capacidad de transmitir en tiempo real imágenes y datos desde los RPAS hasta las estaciones de control proporciona a los operadores una visión continua y actualizada de la situación, lo que permite la toma de decisiones inmediatas y precisas.

En términos de costos y mantenimiento, aunque la inversión inicial en RPAS puede ser considerable, su uso a largo plazo puede resultar más rentable en comparación con la instalación y el mantenimiento de múltiples cámaras fijas. Además, su capacidad para cubrir áreas extensas puede reducir la necesidad de mantener numerosos puntos de vigilancia.

En conclusión, la vigilancia con RPAS ofrece una flexibilidad, movilidad y capacidad de respuesta que superan ampliamente las limitaciones de la vigilancia tradicional con cámaras fijas. Esta tecnología proporciona una cobertura más dinámica y detallada, mejorando significativamente la seguridad y protección en puertos y áreas similares.

7.6.2 Ventajas de la red privada 5G

La utilización de una red privada 5G, o de la cobertura 5G de Starlink, para la transmisión de videos ofrece un conjunto de beneficios notables en comparación con otras tecnologías de red disponibles.

Primero, la alta velocidad y el ancho de banda superior característicos de la tecnología 5G permiten transferencias de datos rápidas y eficientes. Esto facilita la transmisión de videos de alta calidad sin demoras significativas.

Además, la reducción sustancial de la latencia, que representa el intervalo entre la emisión y recepción de datos en la red, es fundamental para aplicaciones en tiempo real, como la transmisión en vivo de videos. La baja latencia minimiza el retraso entre la captura y la visualización del contenido, mejorando la experiencia del usuario.

Otro aspecto esencial es la capacidad superior de conexión de la red 5G, que puede manejar múltiples dispositivos conectados simultáneamente. Esto es crucial en contextos donde se requiere la transmisión de videos desde diversas fuentes, como en la vigilancia de un puerto, garantizando una cobertura completa y detallada.

La fiabilidad y estabilidad de la conexión son garantizadas por la tecnología 5G, incluso en entornos congestionados, manteniendo una transmisión confiable de videos.

Además, las redes privadas 5G ofrecen una seguridad mejorada mediante la implementación de protocolos avanzados de protección de datos, como el cifrado, asegurando la integridad y confidencialidad de la información transmitida.

La flexibilidad y el control que brinda una red privada permiten una gestión personalizada y adaptable según las necesidades específicas de transmisión de videos en tiempo real, otorgando a los usuarios un mayor dominio sobre la red.

Por todo lo anterior, el empleo de una red privada 5G para la transmisión de videos proporciona una combinación única de alta velocidad, baja latencia, capacidad ampliada, fiabilidad, seguridad reforzada y flexibilidad. Estas características la convierten en una opción altamente atractiva y eficiente para aplicaciones que requieren transmisión de videos en tiempo real, como la vigilancia en un puerto. En conclusión, la red privada 5G ofrece la transmisión de videos en tiempo real con alta calidad y confiabilidad.

7.6.3 Ventajas de plataforma de videos privada

La utilización de una plataforma privada destinada a la visualización y descarga de videos proporciona múltiples beneficios, especialmente en ámbitos donde la seguridad, el manejo eficiente de datos y el acceso controlado son primordiales, como en el contexto de vigilancia dentro de un puerto. Estas ventajas incluyen la seguridad y control de acceso, la gestión centralizada, el acceso remoto y disponibilidad, la facilidad de colaboración, capacidades de análisis y generación de informes, y escalabilidad y personalización.

La seguridad y el control de acceso constituyen una piedra angular en una plataforma privada, permitiendo la aplicación de niveles de seguridad personalizados mediante la autenticación de usuarios, el cifrado de datos y protocolos avanzados. Este enfoque garantiza que únicamente el personal autorizado acceda a los videos, salvaguardando la información confidencial y reduciendo el riesgo de intrusiones no autorizadas.

La gestión centralizada que ofrece la plataforma facilita el almacenamiento, la administración y el acceso a los videos desde un único punto. Esto simplifica la organización de grandes volúmenes de datos y agiliza la búsqueda de contenido específico cuando se requiera.

La posibilidad de acceso remoto y disponibilidad desde cualquier ubicación con conexión a internet es una característica esencial. Esto resulta especialmente valioso para revisar o descargar videos de manera remota, proporcionando flexibilidad en la administración de la información.

La facilidad para colaborar se evidencia en la capacidad de compartir selectivamente videos con otros usuarios autorizados, lo que facilita la cooperación entre distintos departamentos o equipos implicados en la seguridad del puerto.

Las capacidades de análisis y generación de informes permiten realizar un análisis detallado de la actividad registrada en los videos. Esto posibilita la identificación de patrones, la detección de tendencias y la toma de decisiones estratégicas basadas en datos concretos.

La escalabilidad y personalización son aspectos cruciales, ya que la plataforma puede ajustarse según las necesidades cambiantes de almacenamiento y procesamiento de videos, además de integrarse con otras herramientas o sistemas existentes en el puerto para mejorar la eficiencia operativa.

Concluyendo, una plataforma privada para visualización y descarga de videos garantiza mayor seguridad, control de acceso, gestión eficiente, flexibilidad y capacidades analíticas. Esto resulta en una gestión más efectiva de la información visual obtenida por los sistemas de vigilancia, como los utilizados en un puerto.

7.6.4 Análisis de la Eficacia

El sistema de vigilancia con drones y IA presenta numerosos beneficios y mejora significativamente la capacidad de seguridad del puerto. Entre los aspectos más destacados se incluyen una cobertura integral, bajo tiempo de respuesta, eficiencia operativa y precisión en la detección.

Los RPAS proporcionarán una cobertura integral, dinámica y ampliada, permitiendo una supervisión completa de áreas específicas y una rápida movilidad para seguir objetivos en movimiento.

Además, el empleo de IA para la detección automática y seguimiento de blancos mejora significativamente la capacidad de respuesta del sistema. La tecnología permite identificar y marcar automáticamente anomalías, así como seguir de manera autónoma los objetivos de interés. La IA ha mejorado la precisión en la identificación de anomalías y objetivos de interés, minimizando falsos positivos y aumentando la eficacia general del sistema. Por todo ello, se agilizan las operaciones de vigilancia, reduciendo considerablemente el tiempo de respuesta ante posibles amenazas, mejorando la capacidad de intervención y facilitando la toma de decisiones estratégicas en tiempo real.

La transmisión en tiempo real a través de la red privada 5G garantizará una conectividad estable y una visualización instantánea de los eventos en el centro de control.

El acceso a la plataforma privada para la visualización y descarga de videos han optimizado la gestión eficiente de datos y la toma de decisiones. Los videos en tiempo real y almacenados están disponibles para revisión y análisis, permitiendo a los operadores visualizar eventos pasados, realizar seguimientos históricos y generar informes detallados sobre la actividad en el puerto.

Chapter 8. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

8.1 Implantación del sistema

La vigilancia portuaria mediante RPAS inicia con la adquisición de los sistemas, el curso de formación para operación y mantenimiento de los RPAS, así como la implementación de un simulador.

La adquisición de los RPAS comprende tanto el componente aéreo como el terrestre. El componente aéreo se compone de la plataforma aérea, la carga útil (cámaras y radiobaliza de localización) y los accesorios (baterías y estuches de transporte). Por otro lado, el componente terrestre incluye la estación de control y las antenas, siendo la estación de control del RPAS Akila integrada con las antenas.

El simulador es un software que puede instalarse en cualquier ordenador con Windows y permite a los operadores entrenar para supervisar el puerto y gestionar las posibles emergencias que pueda enfrentar el sistema.

El curso de operación y mantenimiento consta de una parte teórica y otra práctica. La parte teórica se realiza de manera remota a lo largo de cinco días hábiles y concluye con una evaluación. La sección práctica implica operar los RPAS para familiarizarse con su manejo, abarcando un período de cinco días hábiles. Tras la finalización de este curso, el personal estará habilitado para operar los RPAS y llevar a cabo el mantenimiento básico del sistema. Además, será necesario estar habilitado por AESA para operar estos RPAS en categoría específica.

Descripción	Cantidad	Importe	Total
Consultoría y demostración del RPAS previas	1	7.500,00 €	7.500,00 €
Adquisición 2 sistemas M5D Airfox			
Segmento aéreo diurno	1	49.582,56 €	49.582,56 €
2 aviones M5D Airfox			
Carga útil: cámara 2 sensores EO y ADS-B			
Accesorios: Baterías y caja de transporte			
Segmento aéreo nocturno	1	51.606,33 €	51.606,33 €
2 aviones M5D Airfox			
Carga útil: 2 sensores EO/IR y ADS-B			
Accesorios: Baterías y caja de transporte			
Segmento terrestre	2	65.050,00 €	130.100,00 €
GCS: estación de control completa			
GDT: antenas			
Demostración del funcionamiento del RPAS	1	2.000,00 €	2.000,00 €
Documentación y manuales	1	10.000,00 €	10.000,00 €
Simulador	1	15.000,00 €	15.000,00 €
Formación de operación y mantenimiento	1	25.000,00 €	25.000,00 €
TOTAL			290.788,89 €

Tabla 8-1 Importe adquisición de dos sistemas M5D Airfox

Los costes de adquisición del M5D Airfox se han determinado considerando la adquisición de los tres sistemas por parte de la Armada Española por un total de un millón de euros.

Descripción	Cantidad	Importe	Total
Consultoría y demostración del RPAS previas	1	4.000,00 €	4.000,00 €
Adquisición 1 sistema Akila e-Quad <ul style="list-style-type: none"> • Segmento aéreo diurno <ul style="list-style-type: none"> ○ 2 cuadricópteros Akila e-Quad ○ Carga útil: EO + IR + LRF ○ Accesorios: Baterías y caja de transporte • Segmento aéreo nocturno <ul style="list-style-type: none"> ○ 2 cuadricópteros Akila e-Quad ○ Carga útil: EO + IR + LRF ○ Accesorios: Baterías y caja de transporte • Demostración del funcionamiento del RPAS • Documentación y manuales 	1	9.800,00 €	9.800,00 €
Formación de operación y mantenimiento	1	10.000,00 €	10.000,00 €
TOTAL			23.800,00 €

Tabla 8-2 Importe de adquisición de 1 sistema Akila e-Quad

Los costes de adquisición del sistema Akila e-Quad se han evaluado mediante la comparación con los costos de adquisición de otros RPAS de características similares, como el DJI Matrice 300 RTK, entre otros.

En conclusión, con un presupuesto inicial de 314.588,89 €, más IVA, es posible implantar el sistema de vigilancia propuesto mediante RPAS.

8.2 Mantenimiento de los RPAS

La ejecución de tareas de mantenimiento en los sistemas es imperativa para asegurar el funcionamiento seguro y confiable del RPAS, prevenir incidentes inesperados o fallos durante las operaciones, extender la vida útil del equipo y mejorar su rendimiento. En el contexto específico de los RPAS, el protocolo de mantenimiento es definido por el fabricante del sistema. Por todo ello, en los siguientes subapartados ha sido necesario consultar los manuales de mantenimiento de los sistemas M5D Airfox de la empresa Marine Instruments, y Akila e-Quad de la empresa ETRAIR.

8.2.1 Mantenimiento del M5D Airfox

El diseño del sistema M5D-AIRFOX ha sido concebido con el objetivo principal de alcanzar un alto nivel operativo y reducir al mínimo la dependencia del fabricante hasta el mantenimiento intermedio. Este enfoque se sustenta en la implementación de un manejo intuitivo que abarca tanto la operación como el mantenimiento del sistema.

Siguiendo esta filosofía, se identifican tres niveles distintos de mantenimiento:

- Mantenimiento en Línea (primer escalón - línea de vuelo).
- Mantenimiento intermedio (segundo/tercer escalón - en hangar).
- Mantenimiento en el fabricante.

8.2.1.1 Mantenimiento el línea

Las actividades correspondientes al mantenimiento en Línea (primer escalón - línea de vuelo) engloban:

- Servicios básicos y mantenimiento preventivo.
- Reparaciones básicas realizadas en la línea de vuelo.
- Sustitución de conjuntos LRUs (Unidades Reemplazables de Línea).

Este mantenimiento en línea será ejecutado por los pilotos operadores del sistema que ya habrán recibido el curso de formación para el mantenimiento. Se recomienda que cuenten con formación técnica equivalente a FPPII en electrónica u otra capacitación similar.

El equipamiento para el mantenimiento en línea está integrado en la caja del kit de campo, provisto por defecto con el sistema. Esto incluye una serie de componentes listos para ser utilizados como reemplazos directos, agilizando el proceso. Se deja a discreción de la Unidad si estos conjuntos equipados permanecerán en el almacén para disponibilidad inmediata o viajarán con el sistema a la primera línea para optimizar los tiempos de respuesta. Es importante considerar que el sistema incluye dos aeronaves completas para cada misión.

En relación con el segmento aéreo, se estipula que anualmente y para un máximo de 2.000 horas de operación, se requerirá la reposición de 2 juegos de servos, totalizando 8 servos, así como un conjunto motor-hélice.

Por otro lado, se establece que no será necesaria ninguna labor de mantenimiento para el sistema de despegue ni para el sistema de recogida.

El costo total estimado para estas actividades asciende a 7.500 euros, IVA exento.

8.2.1.2 Mantenimiento el intermedio

Las actividades correspondientes al mantenimiento intermedio (segundo/tercer escalón - en hangar) comprenden:

- Mantenimiento preventivo.
- Reparaciones que requieren herramientas especializadas o desmontajes complejos en el hangar.
- Sustitución de conjuntos superiores.
- Modificaciones mayores simples y menores conforme al PERAM 21J del sistema.
- Calibraciones y ajustes de conjuntos específicos incluidos en el mantenimiento intermedio.

Este tipo de mantenimiento será llevado a cabo por un equipo compuesto por dos personas especializadas en talleres, encargadas de realizar inspecciones, reemplazos y calibraciones de acuerdo con las tareas definidas en este nivel de mantenimiento. Se requiere que el personal tenga una formación equivalente a FPPII en electrónica u otra capacitación afín. Es altamente recomendable contar con capacitación en mecánica de aeronaves, especialmente en aviónica, para la gestión de la configuración y registros técnicos. En cualquier caso, el personal habrá recibido el curso de formación para este tipo de mantenimiento impartido por Marine Instruments con la adquisición del sistema.

El equipamiento necesario para llevar a cabo el mantenimiento intermedio está detallado en el Manual de Mantenimiento.

La frecuencia de revisión para el Mantenimiento Intermedio está programada cada 4.000 horas de operación.

8.2.1.3 Mantenimiento en fabricante

Las tareas contempladas en el mantenimiento a cargo del fabricante abarcan:

- Revisiones integrales de equipos y componentes.
- Inspecciones exhaustivas de equipos.
- Reparaciones de alta complejidad en LRUs (Unidades Reemplazables de Línea) y SRUs (Unidades Reemplazables de Soporte).
- Modificaciones significativas conforme a la EASA parte 21.

Este tipo de mantenimiento es llevado a cabo exclusivamente por el fabricante y se realiza un "Overhaul" cada 5.000 horas de vuelo.

De manera conservadora, se han establecido tiempos de vida para ciertos componentes críticos en la operación, los cuales requieren un nivel de fiabilidad óptimo:

- Gomas elásticas: se recomienda reemplazar cada 12 meses de uso continuo.
- Red: se sugiere reemplazar cada 12 meses de uso continuo.
- Servos elevadores y alerones: se plantea el reemplazo cada 12 meses de uso continuo.
- Motor: se sugiere el reemplazo cada 5000 horas de vuelo.
- Hélice: se propone el reemplazo cada 5000 horas de vuelo.

Se proponen kits de mantenimiento, valorado en 11.860€, exentos de IVA, que incluyen:

- Segmento aéreo para cada UAV: compuesto por, 10 gomas elásticas, 20 servos, 1 motor, 1 red y 1 hélice.
- Segmento terrestre.

Es importante considerar que la vida útil del Airfox (parte correspondiente al segmento aéreo) está vinculada al desgaste durante el aterrizaje, particularmente por impacto contra la red. Se estima que la vida útil prevista por la empresa es de 1000 vuelos, lo que, mediante vuelos prolongados (por ejemplo, con una media de 5 horas por vuelo), se traduce en 5.000 horas de vida útil del avión.

8.2.1.4 Coste de mantenimiento del M5D Airfox

El costo de mantenimiento se incrementa en proporción directa al aumento en las horas de uso del sistema. En el caso de este estudio específico, se requiere llevar a cabo una operación continua durante las 24 horas, los 7 días de la semana, los 365 días del año. Con el fin de cumplir con esta exigencia, se ha planificado el siguiente programa diario: para el avión diurno, se realizarán tres vuelos de cinco horas de duración durante el verano y dos vuelos de cinco horas de duración en invierno; por otro lado, para el avión nocturno, se han programado tres vuelos de dos horas de duración durante el verano y cuatro vuelos de dos horas de duración en

No obstante, a parte del mantenimiento, hay que tener en cuenta una formación anual continua para los operadores que asciende a 10.000 € por sistema. Por lo que el coste mensual medio de mantenimiento y operación es de 5.333,17 €, que se desglosan de la siguiente manera:

Periodo	Importe
1º Año	49.766,00 €
2º Año	73.486,00 €
3º Año	61.626,00 €
4º Año	73.486,00 €
5º Año	61.626,00 €

Tabla 8-5 Coste anual de formación y mantenimiento

8.3 Beneficios operativos

La implementación de la vigilancia portuaria mediante RPAS conlleva una serie de beneficios que incluyen la reducción de costos operativos, la mejora en la eficiencia de la vigilancia, la prevención de incidentes, y la mejora de la regulación del tráfico marítimo en la zona portuario, lo que resulta en mejoras sustanciales en la seguridad. Estos beneficios se traducen en ahorros notables en términos de reducción de personal de seguridad y en la disminución de pérdidas derivadas de incidentes, lo que contribuye a una optimización global de las operaciones portuarias, entre otros aspectos de relevancia.

Por otra parte, este sistema de vigilancia contribuirá significativamente a la supervisión de las infraestructuras portuarias, la gestión de las operaciones y el control medioambiental. Mediante un mayor monitoreo de las operaciones, se espera una reducción en la ocurrencia de incidentes y una capacidad mejorada para responder con celeridad ante emergencias o posibles derrames. Además, al fortalecer el control medioambiental, se generará una cartografía portuaria más precisa y detallada, permitiendo un mayor control sobre la erosión costera. Este sistema también proporcionará datos meteorológicos actualizados, incluyendo información sobre viento, temperatura, humedad, entre otros aspectos relevantes.

8.3.1 Ahorro de personal

El Puerto de Valencia, que cuenta con una plantilla de más de 15.000 empleados, aproximadamente destina alrededor del 30% de su personal al mantenimiento de la seguridad. La implementación del sistema de vigilancia con RPAS podría reducir esta plantilla de vigilancia. Una reducción del 0,5% representaría un ahorro de 20 empleados.

Considerando los incrementos proyectados en las tarifas de vigilancia según la Circular externa N° 20221300000675, donde se estipula un salario medio anual de 23.355 €, esta reducción implicaría un ahorro total estimado de 506.733 € al año.

Año	Salario medio por trabajador
2023	15.422 €
2024	18.380 €
2025	25.679 €
2026	30.634 €
2027	36.569 €

Tabla 8-6 Salario medio por vigilante

En conclusión, el ahorro derivado de los salarios de 20 trabajadores podría ser destinado a la implementación del sistema de vigilancia sin generar un costo adicional.

8.3.2 Aumento del tráfico marítimo

Conforme a los datos presentados en el boletín estadístico correspondiente al mes de noviembre del puerto de Valencia, se presenta a continuación el resumen de las magnitudes básicas de tráfico de dicho puerto:

	2022	2023	Δ23/22 nov acum	Δ23/22 oct acum	Tendencia Anual
PUERTO DE VALENCIA					
Tráfico total (t)	64.887.264	62.304.125	-3,98%	-6,06%	-5,36%
Granel Líquido	1.347.499	1.363.533	1,19%	2,05%	-3,89%
Granel Sólido	1.428.349	1.615.218	13,08%	9,70%	9,62%
Mercancía No Containerizada	10.090.122	10.398.373	3,05%	1,93%	2,63%
Mercancía Containerizada	51.678.571	48.558.321	-6,04%	-8,30%	-7,43%
Pesca	241	284	18,09%	19,72%	18,04%
Avituallamiento	342.482	368.396	7,57%	5,40%	7,36%
Buque (ud)	5.709	5.709	0,00%	1,68%	-0,29%
G.T.	242.614.646	248.204.916	2,30%	4,55%	2,20%
Contenedores (TEU)	4.649.542	4.331.499	-6,84%	-8,82%	-8,00%
Pasajeros (ud)	1.314.673	1.479.574	12,54%	14,71%	12,56%
Línea Regular	699.103	721.756	3,24%	2,29%	3,82%
Cruceros	615.570	757.818	23,11%	29,49%	23,02%
Automóviles (ud)	445.031	441.894	-0,70%	-1,94%	2,46%
Tráfico RoRo (toneladas)	10.655.107	10.855.567	1,88%	0,79%	1,45%
UTIs	400.455	400.017	-0,11%	-1,42%	-0,75%
Tráfico Ferroviario (toneladas)	2.044.248	2.063.463	0,94%	2,41%	0,91%
TEU	216.965	219.238	1,05%	2,40%	1,15%
Vehículos	15.228	52.029	241,67%	263,53%	254,64%

Ilustración 24 Resumen de magnitudes básicas de tráfico

De acuerdo con el informe de la situación de económica internacional, realizado por el catedrático Vicente J. Pallardó López de la Universidad de Valencia en octubre 2023, se ha confirmado su predicción de un posible empeoramiento de la situación después del verano.

Las sucesivas alzas en las tasas de interés implementadas por los Bancos Centrales occidentales desde la primavera o el verano de 2022, y la perspectiva de conciliar el control de una inflación descontrolada con el mantenimiento de un cierto crecimiento económico (un "aterrizaje suave"), han sido elementos definitorios en el panorama económico actual.

No obstante, parece que los eventos geopolíticos van a ser menos turbulentos y las políticas económicas se mantendrán en el curso correcto. Por lo que, existe la esperanza de que esta tendencia cambie en un futuro.

A continuación, se muestran las previsiones de tráfico de Valencia Port:

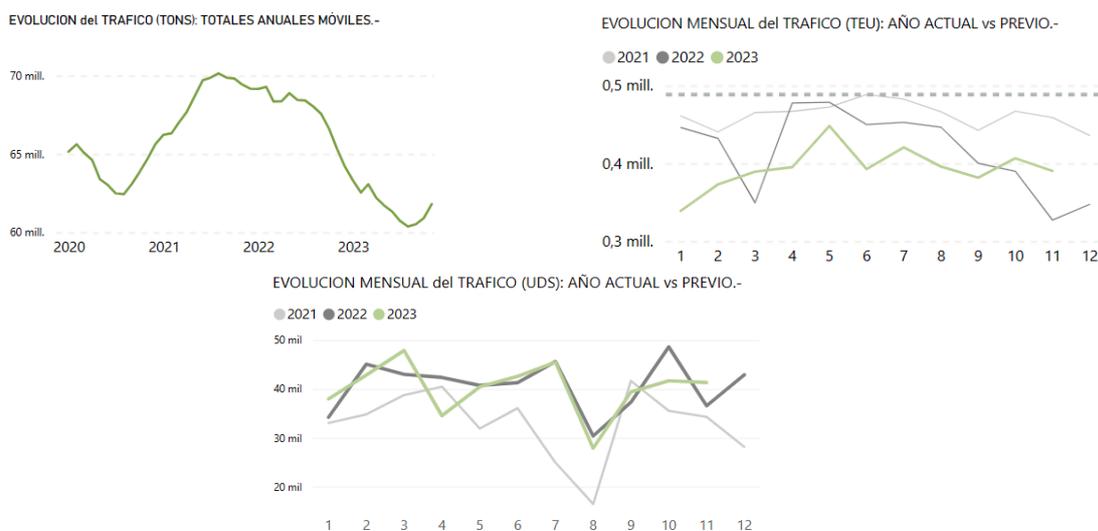


Ilustración 25 Evolución del tráfico anual (por Valencia Port)

En estas gráficas se aprecia una recuperación gradual del tráfico total, aunque se evidencia la ligera disminución en el tráfico de contenedores, pasajeros, buques y automóviles sufrida en el año 2023.

No obstante, la implantación de vigilancia con RPAS junto con la esperanza de mejores situaciones geopolíticas y político económicas, será posible mejorar la gestión de operaciones aumentando el número de operaciones. El crecimiento del volumen de operaciones generará oportunidades para incrementar los beneficios netos. Sin embargo, la magnitud del impacto en los beneficios dependerá de varios factores, como los costos asociados con el aumento de operaciones, la gestión de recursos y otros factores económicos y comerciales. Suponiendo que el aumento del tráfico genere un incremento del 1,7% en las operaciones podría traducirse en un beneficio neto individual de 31,93 millones de euros. De esta manera, se esperaría que la facturación experimentara un incremento del 2,07 % con respecto al ejercicio anterior, alcanzando los 145,36 millones de euros.

8.3.3 Inspeccionar infraestructuras

Al mantener RPAS en vuelo constante sobre la zona portuaria, aunque esta no sea su principal finalidad, se posibilita la inspección de estructuras de difícil acceso simultáneamente a las labores de vigilancia.

Para calcular los beneficios asociados a las inspecciones portuarias mediante RPAS, se han considerado diversos aspectos: la reducción del tiempo de inspección, la disminución de costos operativos, el mejoramiento en la seguridad, la obtención de datos más precisos y de mayor calidad, así como la reducción de interrupciones.

El empleo de RPAS resultará en una evidente reducción del tiempo de inspección en comparación con los métodos tradicionales.

La disminución de los costes operativos abarca aspectos como la adquisición, mantenimiento, consumo energético durante el vuelo y la capacitación del personal.

La mejora en la seguridad se verá reflejada en la evitación de inspecciones en áreas de difícil acceso o que representen riesgo para el personal humano.

Los datos obtenidos mediante RPAS serán más precisos y de mayor calidad que los obtenidos por métodos tradicionales. Este aspecto puede facilitar una toma de decisiones más informada y eficaz, lo que posiblemente genere ahorros adicionales o resultados superiores.

Las inspecciones con RPAS reducen las interrupciones del servicio, lo que minimiza la pérdida de productividad y conlleva un beneficio financiero indirecto.

8.3.4 Disminución de incidentes

Al disponer de un RPAS en vuelo continuo, aumentarán los niveles de seguridad y se reducirán los incidentes. Para calcular el ahorro por incidentes que no se producen se han considerado los costes directos de los incidentes, los costes indirectos y la estimación de reducción de incidentes.

Los costos monetarios directos asociados a los incidentes incluyen los costes de reparación de daños, costes médicos si hay lesiones, pérdida de ingresos debido a la interrupción de operaciones, multas o sanciones, entre otros.

Los costes indirectos consideran los costes que podrían surgir como resultado de los incidentes, como la pérdida de reputación, posibles costos legales, impacto en la productividad, tiempo perdido, entre otros factores no directamente cuantificables pero relevantes.

La estimación de reducción de incidentes debería utilizar datos históricos, siempre que estén disponibles, para estimar la frecuencia y la gravedad de los incidentes que podrían prevenirse mediante la vigilancia con RPAS. Evalúa el impacto potencial del RPAS en la reducción de estos incidentes, basándote en su capacidad para detectar problemas de manera temprana, evitar situaciones de riesgo o facilitar respuestas rápidas a emergencias.

8.3.5 Monitoreo ambiental

Aunque no sea el objeto del vuelo del RPAS, al tener el sistema continuamente en vuelo se podrá realizar el control medioambiental. Se debe considerar que con este control se reducirán los tiempos de respuestas ante emergencias o derrames, se generarán mapas más detallados del puerto, se controlará la erosión costera y se dispondrá de datos meteorológicos actualizados.

A la hora de estimar la respuesta rápida a emergencias o derrames, se deberán evaluar los costes asociados con los tiempos de respuesta sin el uso de RPAS y que estos serán menores con los RPAS, dado que los tiempos de respuesta se reducen. Este ahorro incluirá el coste de daños ambientales, costes de limpieza, multas, y cualquier impacto en la reputación.

Se considera que la precisión y el nivel de detalle de los mapas generados por RPAS son mayores en comparación con los métodos tradicionales. Por ello, estos mapas mejorarán la planificación, la gestión del territorio, la seguridad y cualquier impacto positivo en la eficiencia operativa del puerto.

El control de la erosión costera estimará los costes asociados con la erosión costera si no se controla eficazmente. El monitoreo constante mediante RPAS puede ayudar a prevenir o mitigar este problema y esto se traducirá en ahorros a largo plazo en costes de mantenimiento o reparación.

Finalmente, se debe evaluar cómo la disponibilidad de datos precisos y actualizados sobre el clima y las condiciones ambientales gracias al uso de RPAS pueden mejorar la toma de decisiones operativas, la seguridad de las operaciones portuarias y posiblemente reducir costes relacionados con retrasos, accidentes climáticos, etc.

No obstante, este aspecto no se considera en la evaluación económica dado que no se han encontrado datos suficientes en los que basarse.

8.3.6 Comparación entre escenarios

En este apartado se resume la comparación los costes totales esperados en un escenario donde no se utiliza el RPAS con el escenario donde se emplea el RPAS. La diferencia entre estos escenarios puede se considera como el beneficio neto por el empleo del RPAS.

	Beneficio neto				Total
	Ahorro salarios	Aumento tráfico	Inspección infraestructuras	Reducir incidentes	
1º Año	308.433,33 €	533.800,00 €	5.248,77 €	240,04 €	539.288,81 €
2º Año	367.590,85 €	565.828,00 €	6.298,53 €	288,05 €	572.414,57 €
3º Año	513.579,84 €	594.119,40 €	7.558,23 €	345,66 €	602.023,29 €
4º Año	612.686,87 €	617.884,18 €	9.069,88 €	414,79 €	627.368,84 €
5º Año	731.376,56 €	636.420,70 €	10.883,85 €	497,74 €	647.802,30 €

Tabla 8-7 Beneficios obtenidos

Al evaluar los posibles impactos negativos que podrían surgir de despidos en la empresa, en sus empleados, y en su capacidad operativa y reputación en el mercado, se ha concluido que no se realizarán despidos.

De acuerdo con las estimaciones anteriores, sin contabilizar despidos de personal, el beneficio neto mensual es de 49.814,96 €.

8.4 Retorno de la inversión (ROI)

La fórmula básica para calcular el ROI es:

$$ROI = \frac{\text{Beneficio neto} - \text{Costo de inversión}}{\text{Costo de inversión}} \times 100$$

El beneficio neto se calcula restando los costos operativos totales (incluyendo mantenimiento) de los ahorros generados por el uso de los RPAS.

Al considerar que los beneficios generados por el ahorro de 20 salarios, no asciende ni al 1,5% de los beneficios netos y evaluando los posibles impactos negativos que podrían surgir de despidos en la empresa, en sus empleados, y en su capacidad operativa y reputación en el mercado, se llega a la conclusión de que no será necesario realizar despidos.

	Costos de inversión	Beneficio neto				ROI
		Aumento tráfico	Inspección infraestructuras	Reducir incidentes	Total	
1º Año	364.354,89 €	533.800,00 €	5.248,77 €	240,04 €	539.288,81 €	48%
2º Año	423.074,89 €	565.828,00 €	6.298,53 €	288,05 €	572.414,57 €	35%
3º Año	411.214,89 €	594.119,40 €	7.558,23 €	345,66 €	602.023,29 €	46%
4º Año	423.074,89 €	617.884,18 €	9.069,88 €	414,79 €	627.368,84 €	48%
5º Año	411.214,89 €	636.420,70 €	10.883,85 €	497,74 €	647.802,30 €	58%
TOTAL	2.032.934,44 €	2.948.052,28 €	39.059,25 €	1.786,27 €	2.988.897,80 €	47%

Tabla 8-8 Análisis del retorno de inversión

Como se puede observar el retorno de inversión está entre un 30 % y un 60%, con una media del 47%. No obstante, estos valores son estimados y casi con total seguridad la ejecución de este proyecto incurrirá en gastos que no se consideran en este análisis por ser únicamente teórico, alargando el retorno de inversión y reduciendo el beneficio neto del proyecto.

8.5 Evaluación de costos a largo plazo

Si bien el uso de los RPAS con IA ofrece beneficios en términos de eficiencia y mejora de la seguridad, es esencial considerar los costos a largo plazo como parte integral de la planificación estratégica y presupuestaria del puerto.

Considerando estos costos, se proyecta un gasto anual máximo total de 73.486,00 € euros para la operación sostenida de la vigilancia con RPAS en el puerto. Se realizará una revisión continua de estos costos a lo largo del tiempo, considerando la evolución tecnológica, cambios en los requisitos regulatorios y otros factores relevantes que puedan influir en los costos a largo plazo.

Aunque es plausible que en un plazo de 5 años surjan RPAS avanzados con la capacidad de realizar estas tareas a un costo menor, se estima una depreciación anual del 20% en el coste de adquisición de los RPAS. Por consiguiente, en el transcurso de 5 años, será necesario evaluar si resulta más conveniente continuar con el sistema existente o migrar hacia uno nuevo y más actualizado.

Chapter 9. CONCLUSIONES

9.1 Resumen de hallazgos

La implementación de la Red privada 5G posibilitará la transmisión de videos en tiempo real con una alta calidad.

El vuelo de los RPAS se llevará a cabo a una altitud de 100 metros para evitar interferir con el tráfico aéreo existente.

Se ha creado de una plataforma privada dedicada a la explotación de videos obtenidos por los RPAS.

Es necesaria una regulación precisa para equilibrar la innovación tecnológica con las consideraciones éticas y de privacidad

Se utilizarán RPAS eléctricos por ser cero emisiones.

Los RPAS de ala fija se encargarán del control continuo, mientras que los de ala rotatoria serán empleados para actuaciones rápidas.

A pesar de que el mantenimiento del RPAS de ala fija resulta más costoso, se lleva a cabo con menor frecuencia en comparación con el de ala rotatoria.

El Retorno de la Inversión (ROI) por el aumento del tráfico es significativamente alto. Por ende, aunque la implementación de RPAS podría permitir reducir la cantidad de personal, no se considera necesario realizar despidos.

Se estima que en un lapso de 5 años será esencial evaluar si resulta más ventajoso mantener el sistema existente o migrar hacia una versión más actualizada y eficiente.

9.2 Implicaciones prácticas

Se requerirá la actualización de la formación del personal para habilitarlos en la operación y mantenimiento primario de los RPAS.

La aprobación del estudio de viabilidad de la operación por parte de la AESA, así como la disposición de la segregación del espacio aéreo correspondiente, serán requisitos necesarios para llevar a cabo los vuelos de los RPAS.

Los fabricantes de los RPAS deberán ser españoles. Se ha evidenciado que algunos fabricantes emplean datalinks provenientes de otros países, lo que implica que los datos pueden transitar por sus servidores mientras se trasladan entre el centro de control terrestre (GCS, por sus siglas en inglés) y la plataforma aérea. Este es el caso de la empresa china DJI.

9.3 Recomendaciones para la implementación

Se sugiere establecer contacto con las empresas Marine Instruments y ETRAIR a fin de actualizar los costos relacionados con la adquisición, mantenimiento y capacitación.

Se recomienda que la formación práctica, los vuelos, se lleven a cabo en el área del puerto de Valencia para identificar y evaluar posibles interferencias eléctricas que puedan afectar el sistema debido a saturación radioeléctrica en su banda de frecuencias de trabajo.

Se aconseja realizar una comparativa de precios con otros fabricantes de RPAS españoles con el objetivo de salvaguardar la confidencialidad de los datos y obtener la solución más económica.

9.4 Limitaciones del estudio

Las limitaciones identificadas en el estudio son las siguientes:

- No se incluyen los días de lluvia en los cuales los RPAS del estudio no pueden volar.
- No se considera que, en condiciones de nubosidad, la autonomía del M5D Airfox podría no alcanzar las 5 horas de vuelo.
- Los costos de adquisición del M5D Airfox se fundamentan en la adquisición de tres sistemas efectuada por la Armada Española en el presente año.
- Los costos de adquisición del Akila e-Quad se basan en el DJI Matrice 300 RTK.
- El cálculo del beneficio de la implementación del sistema se ha realizado considerando el incremento de ingresos del año 2023.
- No se han tenido en cuenta los costos asociados a la implementación de la red 5G.

9.5 Áreas para futuras investigaciones

Las áreas que requieren una mayor investigación para mejorar la eficiencia, la seguridad y la efectividad de esta vigilancia son:

- Mejoras en la tecnología de los RPAS:
 - Investigación de mejoras en la autonomía de vuelo de los drones para prolongar sus capacidades operativas.
 - Desarrollo de sistemas anti-interferencias para mitigar posibles problemas de saturación de señal y mejorar la fiabilidad de la transmisión de datos.
- Integración de sistemas y datos:
 - Estudio sobre la integración efectiva de los datos recopilados por los drones con sistemas de gestión portuaria para optimizar la toma de decisiones.
 - Investigación sobre la integración de drones con otros sistemas de vigilancia (como cámaras fijas o sensores terrestres) para una cobertura completa y complementaria.
- Seguridad y privacidad:
 - Investigación sobre el cumplimiento normativo y regulaciones de seguridad aérea aplicables a la operación de drones en áreas portuarias.
 - Estudio de las implicaciones éticas y legales sobre la privacidad relacionada con la recopilación y almacenamiento de datos por drones en zonas portuarias.
- Optimización de operaciones:
 - Investigación sobre la optimización de rutas y patrones de vuelo para una vigilancia más eficiente y completa del puerto.
 - Estudio sobre la utilización de inteligencia artificial (IA) para el análisis y procesamiento de datos recopilados, mejorando la identificación de patrones o anomalías.

9.6 Recomendaciones

Se recomienda continuar con la optimización del sistema, considerando la actualización tecnológica, el entrenamiento continuo de la IA para mejorar la precisión y la expansión de la plataforma para ofrecer herramientas de análisis más avanzadas.

La integración de sistemas adicionales para mejorar la interoperabilidad y la colaboración entre diferentes sistemas de seguridad del puerto pueden ser una oportunidad para fortalecer aún más la capacidad de vigilancia.

APÉNDICES

- Siglas y acrónimos
- Plano del puerto de Valencia
- Hipótesis precio adquisición M5D AIRFOX
- Estudio de viabilidad y seguridad para la segregación de espacio aéreo para la operación de RPAS en el puerto de Valencia
- Referencias

SIGLAS Y ACRONIMOS

3GPP	Proyecto de asociación de tercera generación, 3rd Generation Partnership Project
5G	Quinta generación de tecnologías de telefonía móvil
AEPD	Agencia Española de Protección de Datos
AESA	Agencia Estatal de Seguridad Aérea
AMF	Función de Control de Acceso, <i>Access and Mobility Management Function</i>
APV	Autoridad Portuaria de Valencia
AUSF	Función de Autenticación, <i>Authentication Server Function</i>
AWS	Servicios web de Amazon, <i>Amazon Web Services</i>
BLOS	Más allá de la línea de visión, <i>beyond Line of sight</i>
CAA	Administración Federal de Aviación, <i>Civil Aviation Authority</i>
CCE	Centro de Control de Emergencias
CIDETMA	Comisión Interministerial de Defensa, Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
CNN	Redes Neuronales Convolucionales
CSI	Iniciativa de seguridad de contenedores, <i>Container Security Initiative</i>
DeepSORT	Aprendizaje profundo para realizar un seguimiento, <i>Deep Learning to Track</i>
DJI	Dà-Jiāng Innovations
DLSS	Súper muestreo de aprendizaje profundo, <i>Deep Learning Super Sampling</i>
EASA	Agencia Europea de Seguridad Aérea
ENAIRE	Entidad pública empresarial Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea
EO	Electro-óptico
FAA	Administración Federal de Aviación, <i>Federal Aviation Authority</i>
FCS	Sistema de control de vuelo, <i>Flight Control System</i>
GANs	Redes Generativas Antagonistas
GDT	Terminal de datos de tierra, <i>Ground Data Terminal</i>
GCS	Sistema de control de tierra, <i>Ground Control System</i>
GNSS	Sistema global de navegación por satélite
GPUs	Unidades de Procesamiento Gráfico
GPS	Sistema de posicionamiento global
IA	Inteligencia Artificial
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IMU	Unidad de medida inercial, <i>Inertial measurement unit</i>
INTA	<i>Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial</i>
IR	Infrarrojo
ITG	Instituto Tecnológico de Galicia
LIDAR	Detección de luz y alcance, <i>Light detection and ranging</i>
LOPDGDD	Ley Orgánica de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales
LOS	Línea de vista, <i>Line of sight</i>
NDVI	Índice de diferencia de vegetación normalizada, <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
MTOW	Masa Máxima al Despegue
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte
PAU	Planes de Autoprotección
PCF	Función de Reducción de Tráfico, <i>Policy Control Function</i>
ppp	Píxeles por pulgada



R-CNN	<i>Region Convolutional Neural Network</i>
RGPD	Reglamento General de Protección de Datos
RNN	Redes Neuronales Recurrentes
RPA	Aeronave Pilotada Remotamente, <i>Remotely Piloted Aircraft</i>
RPAS	Sistema de Aeronave Pilotada Remotamente, <i>Remotely Piloted Aircraft System</i>
RPV	Vehículo pilotado remotamente, <i>Remotely Piloted Vehicle</i>
SAR	Radar de apertura sintética, <i>Synthetic Aperture Radar</i>
SATCOM	Comunicaciones por satélite
SERA	Reglas europeas estandarizadas del aire, <i>Standardised European Rules of the Air</i>
SMF	Función de Gestión de Sesiones, <i>Session Management Function</i>
SOP	Procedimientos operativos estándar, <i>Standard Operation Procedures</i>
SORA	Evaluación de riesgos de operaciones específicas, <i>Specific Operations Risk Assessment</i>
SORT	Seguimiento sencillo en línea y en tiempo real, <i>Simple Online and Realtime Tracking</i>
SSD	Detector MultiBox de disparo único, <i>Single Shot MultiBox Detector</i>
TEUs	Unidad equivalente a veinte pies, <i>Twenty-Foot Equivalent Unit</i>
TPUs	Unidades de Procesamiento Tensorial
UAS	Sistema aéreo no tripulado, <i>Unmanned Aerial System</i>
UAV	Vehículo aéreo no tripulado, <i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
UDM	Función de Gestión de Identidad de Usuario, <i>Unified Data Management</i>
UE	Unión Europea
UPF	Función de Anclaje de Datos, <i>User Plane Function</i>
VTOL	Despegue y aterrizaje vertical, <i>Vertical Take-Off and Landing</i>
YOLO	<i>You Only Look Once</i>
ZOTER	Zona temporalmente restringida

PLANO DEL PUERTO DE VALENCIA

Plano del Puerto de Valencia Port of Valencia map | Plànol del Port de València



- Dique del Este / East Breakwater / Dic de l'Est
- Faro / Lighthouse / Far
- Terminal de Productos Químicos y Petrolíferos / Chemical and Oil Terminal / Terminal de Productes Químics i Petrolífers
- Muelle Transversal Dique del Este / Transversal East Breakwater Quay / Moll Transversal Dic de l'Est
- Muelle del Dique Este / East Breakwater Quay / Moll Dic de l'Est
- Dársena Este / East Dock / Dársena Est
- Terminal de Automóviles y Carga Rodada 1 / Ro-ro and Vehicle Terminal 1 / Terminal d'Automòbils i Càrrega Rodada 1
- Terminal de Automóviles y Carga Rodada 2 / Ro-ro and Vehicle Terminal 2 / Terminal d'Automòbils i Càrrega Rodada 2
- Muelle Norte (Xitá) / North Quay (Xitá) / Moll Nord
- Dársena Xitá / Xitá Dock / Dársena Xitá
- Muelle del Desguace / Scrappyard Quay / Moll del Desballestament
- Servicios Portuarios (prácticos, remolcadores y amarraderos) / Port services (pilots, tug boats and mooring) / Serveis Portuaris (pràctics, remolcadors i amarraders)
- Muelle de Llovera / Llovera Quay / Moll de Llovera
- Muelle de Levante / Levante Quay / Moll de Llevant
- Terminal de Contenedores 3 / Container Terminal 3 / Terminal de Contenedors 3
- Puente Móvil / Movable bridge / Pont Mòbil
- Edificio Vales e Vents / Vales e Vents building / Edifici Vales e Vents
- Acceso Marina Real Juan Carlos I / Access to Juan Carlos I Royal Marina / Accés Marina Real Juan Carlos I
- Puerta de la Aduana / Customs gate / Porta de la Duana
- Administración de Aduana / Customs Administration / Administració de Duana
- Sanidad Exterior / Foreign Health Department / Sanitat Exterior
- Consorcio Valencia 2007 / Valencia 2007 Consortium / Consorci Valencia 2007
- Muelle de la Aduana / Customs Quay / Moll de la Duana
- Dársena Interior / Inner Dock / Dársena Interior
- Muelle del Grao / Grao Quay / Moll del Grao
- Edificio del Reloj / Clocktower building / Edifici del Relotge
- Avda. de Puerto / Avda del Puerto / Avda del Port
- Avda. Baleares / Avda. Balears / Avda. Balears
- Muelle de la Estación / Former Terminal Quay / Moll de l'Estació
- Muelle de Nazaret / Nazaret Quay / Moll de Natzaret
- Lonja (emplazamiento provisional) / Fish Market (provisional location) / Llotja (emplaçament provisional)
- Muelle de Transversales / Transversal Quay / Moll de Transversals
- Muelle de Poniente / Poniente Quay / Moll de Ponent
- Estación Marítima / Terminal de Pasajeros y cruceros turísticos / Ferry Terminal / Passenger and Cruise Terminal / Estació Marítima / Terminal de Passatgers i crucers turístics
- Policía Portuaria / Port Police / Policia Portuària
- Fundación Valenciaport / VPI / Valenciaport Foundation / VPI / Fundació Valenciaport / VPI
- Autoridad Portuaria de Valencia / Port Authority of Valencia / Autoritat Portuària de València
- Puerta de Nazaret / Nazaret gate / Porta de Natzaret
- Comandancia Naval / Naval Command / Comandància Naval
- Servicio de Sanidad Vegetal / Infoport Valencia / Plant Health Service / Infoport Valencia / Servei de Sanitat Vegetal / Infoport València
- SOIVRE / Foreign Trade Inspection Centre / SOIVRE
- Dársena Levante / Levante Dock / Dársena Llevant
- Muelle Espigón Turia Norte / North Turia Jetty Quay / Moll Espigó Turia Nord
- Espigón Turia Testero / End Turia Jetty / Espigó Turia Testera
- Dársena Turia / Turia Dock / Dársena Turia
- Muelle Espigón Turia Sur / South Turia Jetty Quay / Moll Espigó Turia Sud
- Muelle del Turia / Turia Quay / Moll del Turia
- Mercadería General y Granel / General and bulk cargo / Mercadería General i Granel
- Terminal de Pasajeros / Passenger Terminal / Terminal de Passatgers
- Muelle Sur / South Quay / Moll Sud
- Terminal de Granelos Sólidos / Solid Bulk Terminal / Terminal de Granelos Sòlids
- Resguardo Fiscal / Spanish Customs Control Authority / Resguard Fiscal
- Dársena de Servicios Náuticos / Technical and Nautical Services Dock / Dársena de Serveis Náutics
- Terminal de Contenedores 2 (MSC) / Container Terminal 2 (MSC) / Terminal de Contenedors 2 (MSC)
- PIF (Puesto de Inspección Fronterizo) / PIF (Border Inspection Post) / PIF (Lloc d'inspecció Fronterer)
- Capitanía Marítima / Harbourmaster's Office / Capitanía Marítima
- Frigorífico / Cold storage warehouse / Frigorífic
- CPE Valencia / CPE Valencia / CPE Valencia
- Almacenes Logísticos / Logistics warehouses / Magatzems Logístics
- Zona de Actividades Logísticas / Logistics Activities Area (ZAL) / Zona d'Activitats Logístiques
- Acceso Sur / South access / Accés Sud
- Acceso ZAL / ZAL access / Accés ZAL
- Nuevo cauce del Río Turia / New Turia riverbed / Nou lit del Riu Turia
- Real Club Náutico de Valencia / Royal Valencia Yacht Club / Real Club Nàutic de València
- Muelle de Costa / Costa Quay / Moll de Costa
- Muelle Transversal de Costa / Transversal Costa Quay / Moll Transversal de Costa
- Muelle Principe Felipe / Principe Felipe Quay / Moll Princep Felipe
- Terminal de Contenedores 1 (pública) / Public Container Terminal 1 / Terminal de Contenedors (pública)
- Edificio de la Guardia Civil del Mar / Maritime Civil Guard Building / Edifici de la Guàrdia Civil del Mar
- Dársena Sur / South Dock / Dársena Sud
- Muelle del Este / East Quay / Moll de l'Est
- Canal de Entrada / Entrance channel / Canal d'Entrada
- Dique Ampliación Norte / North Extension Breakwater / Dic Ampliació Nord
Inaugurado el 23 de abril de 2012 / Inaugurat el 23 d'abril de 2012
- Nueva Terminal de Contenedores / New Container Terminal / Nova Terminal de Contenedors
- Depot de contenedores 1 / Container depot 1 / Depot de contenedors 1
- Depot de contenedores 2 / Container depot 2 / Depot de contenedors 2
- Conexión a Red Ferrocarril Nacional / Connection to national rail network / Connexió a Xarxa Ferrocarril Nacional

HIPOTESIS PRECIO ADQUISICIÓN M5D AIRFOX

Dato: La armada Española ha adquirido 3 sistemas M5D airfox por 1 millón de euros

HIPOTESIS

Descripción	Cantidad	Importe	Total
Consultoría y demostración del RPAS previas	1	7.500,00 €	7.500,00 €
Segmento aereo diurno	9	50.594,44 €	455.350,00 €
3 aviones M5D airfox			
Carga útil: cámara 2 sensores EO			
Accesorios: Baterías y caja de transporte			
Segmento terretre	3	65.050,00 €	195.150,00 €
GCS: estación de control completa			
GDT: antenas			
Demostración del funcionamiento del RPAS	1	2.000,00 €	2.000,00 €
Documentación y manuales	1	10.000,00 €	10.000,00 €
Simulador	1	15.000,00 €	15.000,00 €
Kit de repuestos para 5 años (cada 2.000 horas de vuelo)	15	7.500,00 €	112.500,00 €
Soporte remoto y actualizaciones SW (5 años)	15	3.500,00 €	52.500,00 €
Formación de operación y mantenimiento en Nigrán	6	25.000,00 €	150.000,00 €
Total			1.000.000,00 €



**ESTUDIO DE VIABILIDAD Y SEGURIDAD PARA LA SEGREGACIÓN DE
ESPACIO AÉREO PARA LA OPERACIÓN DE RPAS EN EL PUERTO DE
VALENCIA**



**ESTUDIO DE VIABILIDAD Y
SEGURIDAD PARA LA SEGREGACIÓN
DE ESPACIO AÉREO PARA LA
OPERACIÓN DE RPAS EN EL PUERTO
DE VALENCIA**

ÍNDICE

1. DESCRIPCIÓN SIMPLIFICADA DE LA ACTIVIDAD A DESARROLLAR.....	4
2. TIPO(S) DE AERONAVE(S) Y PRESTACIONES MÁS RELEVANTES	4
3. UBICACIÓN ZONA DE DESPEGUE Y ATERRIZAJE (SI APLICABLE, ORIENTACIÓN DE LA PISTA) 7	
4. ESTUDIO DEL ESPACIO AÉREO A SEGREGAR EN TRÁNSITO DESDE ZONA DE DESPEGUE/ATERRIZAJE HASTA LA ZONA DE TRABAJO, SI PROCEDE	7
5. ESTUDIO DEL ESPACIO AÉREO A SEGREGAR EN LA ZONA DE TRABAJO	7
5.1. ZOUAS y ZOTER.....	7
5.2. ESPACIO AÉREO AFECTADO	9
5.3. AGLOMERACIONES URBANAS A SOBREVOLAR Y EN LAS PROXIMIDADES DE LA ZONA SOLICITADA.....	10
5.4. CARRETERAS, EMBALSES Y/O PUNTOS DE INTERÉS CERCANOS (V. G. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	10
6. TABLA RESUMEN ZOUAS – ZOTER	11
7. IMPACTO SOBRE TRÁFICOS CIVILES Y MILITARES	11
7.1. ACTIVIDAD DE TRÁFICOS MILITARES EN LA ZONA.....	11
7.2. ACTIVIDAD DE TRÁFICOS CIVILES	11
7.3. ACTIVIDAD AERONÁUTICA DEPORTIVA (PARAPENTE, VUELO SIN MOTOR, ETC.).....	11
8. PROCEDIMIENTOS DE EMERGENCIA	11
9. PUNTO DE CONTACTO	12
10. MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA OPERACIONES NOCTURNAS, SI ES APLICABLE	12
10.1. Iluminación del RPAS.....	12
10.2. Iluminación De La Zona De Toma Y Despegue.....	13
10.3. Formación e instrucción previa de los operadores en operaciones nocturnas.....	13
10.4. Procedimientos de coordinación con los centros de control.....	13
10.5. Revisión de los procedimientos de emergencia	13
11. MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA SIMULTANEAR TIRO Y OPERACIÓN DE UAS, SI ES APLICABLE	13
12. OTROS FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS EN LA OPERACIÓN Y SUS MEDIDAS DE MITIGACIONASOCIADAS.....	14



PÁGINA INTENCIONADAMENTE
EN BLANCO



1. DESCRIPCIÓN SIMPLIFICADA DE LA ACTIVIDAD A DESARROLLAR

Vuelos de RPAS para vigilancia del puerto de Valencia

2. TIPO(S) DE AERONAVE(S) Y PRESTACIONES MÁS RELEVANTES

Clasificación, categoría y características del RPAS

El RPAS M5D-AIRFOX, por sus características de peso, está clasificado como clase I, categoría MINI (< 15 kg.) cuyo alcance teórico es de 35 km (18,9 nm) y que es utilizado, principalmente, para la obtención de información en tiempo real a través de su carga de pago (cámaras) de día.

El RPAS AKILA e-QUAD, por sus características de peso, está clasificado como clase I, categoría MINI (< 15 kg.) cuyo alcance teórico es de 10 km (5,40 nm), equipado con IA de reconocimiento de personas y vehículos y que es utilizado, principalmente, para realizar el seguimiento de objetivos en tiempo real de su carga útil (cámaras EO+IR+LRF).

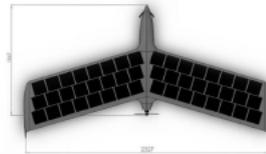


Ilustración 1 Dimensiones del avión M5D-AIRFOX

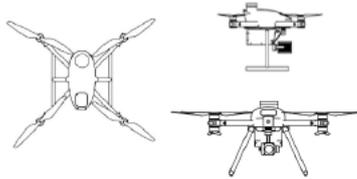


Ilustración 2 Plataforma aérea Akila e-Quad

Descripción	M5D Airfox	Akila e-Quad
MTOW	4 kg	5 kg
Medidas	106,7 x 232,7 cm	75 x 75 x 37 cm
Capacidad de carga	1 kg	1 kg
Autonomía	10 horas	60 minutos
Velocidad de crucero	28 nudos.	15 nudos
Velocidad máxima	45 nudos	31 nudos
Limitaciones de viento	Limitaciones para despegue: <ul style="list-style-type: none"> • Máximo viento: 20 kn. • Componente viento en cola: 0 kn. • Componente de viento cruzado: 5 kn. Limitaciones para la recuperación: <ul style="list-style-type: none"> • Máximo viento: 20 kn. • Componente de viento cruzado: 5 kn. 	Resistencia al viento: 27 nudos
Techo máximo	11483 pies (3.500 m)	13123 pies (4.000 m)
Alcance	Alcance máximo: 18,9 nm (35 km). Alcance teórico de operación: 10 nm (18,5 km).	5,4 nm (10 km).

Tabla 1 Principales características de los RPAS

El RPAS M5D Airfox está compuesto de los siguientes sub-sistemas:

- Avión de ala fija M5D-AIRFOX.
- Estación de control con software MAP.
- Lanzadera.
- Sistema de recogida.
- Estación base.

El avión de ala fija M5D-AIRFOX está compuesto, principalmente, de fibra de aramida y es el encargado de transportar la carga de pago. El M5D-AIRFOX es propulsado por un motor eléctrico alimentado por una batería y paneles solares, por lo que goza de gran autonomía en buenas condiciones de insolación.

La estación de control es el conjunto de equipos con los que se controla tanto a la aeronave como a su carga de pago por parte del piloto y del operador de la carga de pago. La parte principal de este subsistema está integrada en una maleta transportable y de fácil despliegue.

La lanzadera cuenta con un sistema de propulsión elástica encargado de proporcionar a la aeronave la velocidad suficiente en su fase de despegue.

El sistema de recogida está compuesto principalmente por una red junto a una estructura que la soporta y mantiene la tensión. La aeronave cuenta con dos enganches en el morro y un gancho en cada extremo del ala para engancharse a la red.



Ilustración 3 Despliegue del avión M5D-AIRFOX sobre tierra

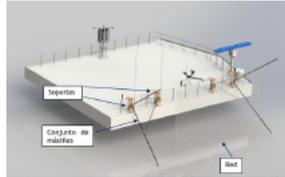


Ilustración 4 Despliegue del avión M5D-AIRFOX en un barco

El software MAP es el interfaz informático que gestiona los planes de vuelo, lanzamiento, operación, monitorización y recuperación de la aeronave, así como de la visualización del vídeo transmitido por la carga de pago. Además, se encarga de informar al operador de los posibles avisos y/o alertas que el sistema encuentra respecto a la misión:

- Cartas y mapas de la zona de operación.
- Autonomía disponible.
- Condiciones meteorológicas (viento).
- Parámetros de lanzamiento y recuperación.
- Zonas restringidas para el vuelo.

El RPAS Akila e-Quad está compuesto por diversos sub-sistemas:

- RPA: Cuadricóptero e-Quad
- GCS

El cuadricóptero e-Quad, construido con fibra de carbono, composites y aluminio, es capaz de operar en un amplio rango de temperaturas, desde -20°C hasta +50°C. Su Autopiloto incorpora una IMU, electrónica redundante y ADS-B para una navegación precisa, con comunicaciones adaptables en frecuencias como 2,4 GHz. La Estación de Control de Tierra, portátil y cifrada, ofrece una pantalla de 7 pulgadas, alta luminosidad, 10 horas de autonomía, y comunicaciones integradas, con un diseño intuitivo.

Totalmente eléctrico y con baterías de litio, el sistema permite despegues y aterrizajes verticales (VTOL) con más de 60 minutos de vuelo continuo. Su versatilidad se refleja en cargas útiles intercambiables que incluyen EO, IR, LRF, seguimiento de objetivos y capacidades de IA para reconocimiento de personas y vehículos. Opcionalmente, ofrece gestión de flotas, siendo un orgulloso producto fabricado en España, representando la excelencia en drones de vanguardia.

3. UBICACIÓN ZONA DE DESPEGUE Y ATERRIZAJE (SI APLICABLE, ORIENTACIÓN DE LA PISTA)

La zona de despegue y aterrizaje será la misma para ambos sistemas. Se encontrará situada en el club de salvamento acuático "Salvamar Pollux", dentro de la zona de operaciones



Ilustración 5 Ubicación de la zona de despegues y aterrizajes

4. ESTUDIO DEL ESPACIO AÉREO A SEGREGAR EN TRÁNSITO DESDE ZONA DE DESPEGUE/ATERRIZAJE HASTA LA ZONA DE TRABAJO, SI PROCEDE

No procede.

5. ESTUDIO DEL ESPACIO AÉREO A SEGREGAR EN LA ZONA DE TRABAJO

5.1. ZOUAS y ZOTER

ZOUAS: volúmenes definidos por los límites laterales y verticales indicados en el apartado 6 Tabla 6-1 Resumen ZOUAS – ZOTER.

ZOTER: volúmenes definidos por los límites laterales y verticales indicados en el apartado 6 Tabla 6-1 Resumen ZOUAS – ZOTER.



Ilustración 6 Mapa general de las ZOTER

• ZOUAS y ZOTER 1

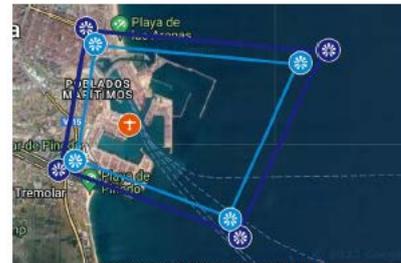


Ilustración 7 ZOUAS y ZOTER 1

• ZOUAS y ZOTER 2



Ilustración 8 ZOUAS y ZOTER 2



5.2.4. AERÓDROMOS/AEROPUERTOS/BASES COLINDANTES, AERÓDROMOS DEPORTIVOS, HELIPUERTOS, OTRAS ACTIVIDADES AÉREAS EN LA ZONA (PARAPENTE, ETC.)

- ZOTER 1

- Aeródromo de Valencia (LEVC).

Afecta al aeródromo de Valencia en los términos descritos en los puntos anteriores. Éste se cerrará durante las operaciones de despegue y recuperación de la aeronave, mientras se realice la operación en la zona de trabajo 1.

- ZOTER 2

- Aeródromo de Valencia (LEVC) en los términos descritos en los puntos anteriores.

5.2.5. ZONAS MEDIOAMBIENTALES

- ZOTER 1 y 2

No afectadas

5.2.6. COMPATIBILIDAD CON EL ESPACIO AÉREO EXISTENTE

Para la operación del UAS se publicarán por NOTAM espacios aéreos temporalmente segregados (TSA) coincidentes con las ZOTER definidas en este documento.

5.3. AGLOMERACIONES URBANAS A SOBREVOLAR Y EN LAS PROXIMIDADES DE LA ZONA SOLICITADA

Existen varias aglomeraciones urbanas afectadas. Se evita la posibilidad de sobrevuelo de núcleos de población, no acercándose a éstos a una distancia inferior de 1,3 Km. Dada la altura a la que opera el RPA, y considerando las trayectorias planificadas previamente, se considera que la distancia de seguridad existente es aceptable.

- ZOTER 1

Puerto de Valencia: densidad de población 2,514 hab./km²

5.4. CARRETERAS, EMBALSES Y/O PUNTOS DE INTERÉS CERCANOS (V. G. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS)

Aunque la ZOTER 1 intercepta varias calles de la ciudad de Valencia, el vuelo del RPA se realizará sobre las aguas del puerto hasta llegar a la ZOTER 2, sin sobrevolar las calles de la ciudad. Además, la ZOTER 1 está próxima las siguientes carreteras:

- CV-500.
- CV-5010.
- V-15.

La ZOTER 2 no intercepta ni carreteras, ni embalses ni puntos de interés cercanos.

6. TABLA RESUMEN ZOUAS – ZOTER

Solicitud espacio aéreo segregado	ZOUAS (Coordenadas geográficas)	ZOUAS (límites verticales)	ZOTER (Coordenadas geográficas)	ZOTER (límites verticales)										
Zona de trabajo 1	<table border="1"> <tr><th>COORDENADAS</th></tr> <tr><td>Z1: 39° 46' 56" N, 000° 33' 11" E</td></tr> <tr><td>Z2: 39° 46' 01" N, 000° 23' 42" E</td></tr> <tr><td>Z3: 39° 41' 48" N, 000° 28' 06" E</td></tr> <tr><td>Z4: 39° 43' 16" N, 000° 33' 87" E</td></tr> </table>	COORDENADAS	Z1: 39° 46' 56" N, 000° 33' 11" E	Z2: 39° 46' 01" N, 000° 23' 42" E	Z3: 39° 41' 48" N, 000° 28' 06" E	Z4: 39° 43' 16" N, 000° 33' 87" E	Límite inferior: GND Límite superior: 350 ft MSL	<table border="1"> <tr><th>COORDENADAS</th></tr> <tr><td>Z1: 39°47' 00" N, 000° 33' 46" E</td></tr> <tr><td>Z2: 39°46' 38" N, 000° 24' 44" E</td></tr> <tr><td>Z3: 39°40' 94" N, 000° 27' 69" E</td></tr> <tr><td>Z4: 39° 42' 89" N, 000° 34' 48" E</td></tr> </table>	COORDENADAS	Z1: 39°47' 00" N, 000° 33' 46" E	Z2: 39°46' 38" N, 000° 24' 44" E	Z3: 39°40' 94" N, 000° 27' 69" E	Z4: 39° 42' 89" N, 000° 34' 48" E	Límite inferior: GND Límite superior: 450 ft MSL
COORDENADAS														
Z1: 39° 46' 56" N, 000° 33' 11" E														
Z2: 39° 46' 01" N, 000° 23' 42" E														
Z3: 39° 41' 48" N, 000° 28' 06" E														
Z4: 39° 43' 16" N, 000° 33' 87" E														
COORDENADAS														
Z1: 39°47' 00" N, 000° 33' 46" E														
Z2: 39°46' 38" N, 000° 24' 44" E														
Z3: 39°40' 94" N, 000° 27' 69" E														
Z4: 39° 42' 89" N, 000° 34' 48" E														
Zona de trabajo 2	<table border="1"> <tr><th>COORDENADAS</th></tr> <tr><td>Z1: 39° 46' 05" N, 000° 24' 23" E</td></tr> <tr><td>Z2: 39° 46' 16" N, 000° 22' 58" E</td></tr> <tr><td>Z3: 39° 43' 63" N, 000° 22' 55" E</td></tr> <tr><td>Z4: 39° 43' 63" N, 000° 23' 71" E</td></tr> </table>	COORDENADAS	Z1: 39° 46' 05" N, 000° 24' 23" E	Z2: 39° 46' 16" N, 000° 22' 58" E	Z3: 39° 43' 63" N, 000° 22' 55" E	Z4: 39° 43' 63" N, 000° 23' 71" E	Límite inferior: GND Límite superior: 350 ft MSL	<table border="1"> <tr><th>COORDENADAS</th></tr> <tr><td>Z1: 39° 46' 38" N, 000° 24' 44" E</td></tr> <tr><td>Z2: 39° 46' 44" N, 000° 22' 61" E</td></tr> <tr><td>Z3: 39° 43' 23" N, 000° 22' 43" E</td></tr> <tr><td>Z4: 39°43' 31" N, 000° 26' 36" E</td></tr> </table>	COORDENADAS	Z1: 39° 46' 38" N, 000° 24' 44" E	Z2: 39° 46' 44" N, 000° 22' 61" E	Z3: 39° 43' 23" N, 000° 22' 43" E	Z4: 39°43' 31" N, 000° 26' 36" E	Límite inferior: GND Límite superior: 450 ft MSL
COORDENADAS														
Z1: 39° 46' 05" N, 000° 24' 23" E														
Z2: 39° 46' 16" N, 000° 22' 58" E														
Z3: 39° 43' 63" N, 000° 22' 55" E														
Z4: 39° 43' 63" N, 000° 23' 71" E														
COORDENADAS														
Z1: 39° 46' 38" N, 000° 24' 44" E														
Z2: 39° 46' 44" N, 000° 22' 61" E														
Z3: 39° 43' 23" N, 000° 22' 43" E														
Z4: 39°43' 31" N, 000° 26' 36" E														

Tabla 6-1. Resumen ZOUAS-ZOTER

7. IMPACTO SOBRE TRÁFICOS CIVILES Y MILITARES.

7.1. ACTIVIDAD DE TRÁFICOS MILITARES EN LA ZONA

7.1.1. IMPACTO DE LA SEGREGACIÓN DE ESPACIO AÉREO

No afectada.

7.2. ACTIVIDAD DE TRÁFICOS CIVILES

7.2.1. IMPACTO DE LA SEGREGACIÓN DE ESPACIO AÉREO

• ZOTER 1

Podrían verse afectados tráficos con origen y/o destino LEVC.

• ZOTER 2

Podrían verse afectados tráficos con origen y/o destino LEVC.

7.3. ACTIVIDAD AERONÁUTICA DEPORTIVA (PARAPENTE, VUELO SIN MOTOR, ETC.)

7.3.1. IMPACTO DE LA SEGREGACIÓN DE ESPACIO AÉREO

No afectada.

8. PROCEDIMIENTOS DE EMERGENCIA

En todos los casos de emergencia se notificará este hecho a la TWR de Valencia para que libere el espacio aéreo de los posibles tráficos.

En caso de existir pérdida de enlace de la aeronave con el sistema durante cinco minutos (5'), la aeronave se dirigirá hasta el punto de emergencia que se encuentre más cercano de los que se detallan a continuación.

Puntos de emergencia ZOTER 1	
39° 44' 12,9" N	000° 31' 76,1" E
39° 43' 39,2" N	000° 30' 27,7" E
39° 44' 41,8" N	000° 29' 15,2" E

Tabla 2 Puntos de emergencia



Ilustración 10 Puntos de emergencia

9. PUNTO DE CONTACTO

- POC M^a Magdalena Ivars Soriano
Pg. de l'Albereda, 7, El Pla del Real, 46010 València
Teléfono: +34 96 104 38 83
E-mail: mmagdalenaivars@gmail.com

10. MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA OPERACIONES NOCTURNAS, SI ES APLICABLE

No se realizarán operaciones nocturnas.

Para la mitigación de riesgos en operaciones nocturnas se realizarán las siguientes acciones:

10.1. Iluminación del RPAS

Durante las operaciones de instrucción nocturna, se utilizarán las balizas del espectro visible (rojo y verde), con el fin de evitar una posible colisión con otra aeronave que entrase inadvertidamente en el espacio aéreo segregado.

El RPAS está dotado de luces de navegación, que permanecerán encendidas durante toda la misión de vuelo:

- Luces de prioridad en ambas alas.
- Luz estroboscópica de alta intensidad, que facilita su localización visual.



10.2. Iluminación De La Zona De Toma Y Despegue

Durante la operación nocturna se iluminará la zona de aterrizaje y despegue con un dispositivo de balizas de pista móviles.

10.3. Formación e instrucción previa de los operadores en operaciones nocturnas

Los operadores de los RPAS están formados e instruidos en operaciones con vuelos nocturnos. Se encuentran, por lo tanto, familiarizados con la operación de ambos sistemas RPA en operaciones nocturnas, y practican los procedimientos establecidos en el manual de vuelo de los RPAS en las respectivas sesiones de instrucción y adiestramiento programadas.

10.4. Procedimientos de coordinación con los centros de control

No suponen ningún cambio con respecto a los procedimientos de coordinación ya establecidos para las operaciones diurnas.

10.5. Revisión de los procedimientos de emergencia

Se emplearán los mismos procedimientos de actuación ante emergencias que para los vuelos diurnos, notificando la incidencia a Valencia TWR y TACC Valencia, para que libere el espacio aéreo de los posibles tráficos, en caso necesario.

11. MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA SIMULTANEAR TIRO Y OPERACIÓN DE UAS, SI ES APLICABLE

No se realizarán actividades de tiro.

Los RPAS M5D Airfox y Akila e-Quad trabajan en diferentes frecuencias, no interfiriendo el uno sobre el control del otro. Las operaciones simultáneas de UAS se coordinarán tácticamente. En todo momento ambos RPA estarán separados una distancia de al menos 10 metros.

12. OTROS FACTORES DE RIESGO IDENTIFICADOS EN LA OPERACIÓN Y SUS MEDIDAS DE MITIGACIONASOCIADAS

Se va a asignar un determinado riesgo de seguridad operacional a los diferentes peligros identificados, según la probabilidad y la severidad previstas de sus consecuencias o resultados. Para ello se utilizará la siguiente matriz de riesgos de seguridad operacional:

		Gravedad ¹				
		Catastrófico A	Peligroso B	Importante C	Leve D	Insignificante E
Probabilidad ²	Frecuente 5	5A	5B	5C	5D	5E
	Ocasional 4	4A	4B	4C	4D	4E
	Remoto 3	3A	3B	3C	3D	3E
	Improbable 2	2A	2B	2C	2D	2E
	Sumamente Improbable 1	1A	1B	1C	1D	1E

Tabla 12-1: Matriz de riesgos de seguridad operacional

Los riesgos de seguridad operacional son evaluados en tres categorías: "aceptable" (3E, 2D, 2E, 1B, 1C, 1D, 1E), "tolerable" (5D, 5E, 4C, 4D, 4E, 3B, 3C, 3D, 2A, 2B, 2C, 1A) o "intolerable" (5A, 5B, 5C, 4A, 4B, 3A).

Los riesgos evaluados dentro de la categoría "intolerable" no se aceptan. Requieren medidas de mitigación para reducirlos hasta que el riesgo tras mitigación entre dentro de las categorías "tolerable" o "aceptable". Dichas medidas de mitigación se indican en la tabla siguiente y se aplicarán siempre. Si alguna de ellas no se pudiera aplicar, no se llevarán a cabo las operaciones.

1. Significado de las categorías de gravedad:
 - Catastrófico: fallecimiento de una o varias personas
 - Peligroso: lesiones graves a una o varias personas. Destrucción de la aeronave o el equipo.
 - Importante: lesiones leves a una o varias personas. Daños graves a la aeronave o al equipo.
 - Leve: sin daños a personas. Daños leves a la aeronave o al equipo.
 - Insignificante: sin daños a personas. Sin daños a la aeronave o al equipo. Molestias de poca consideración.
2. Significado de las categorías de probabilidad:
 - Frecuente: podría ocurrir muchas veces.
 - Ocasional: podría ocurrir a veces.
 - Remoto: poco probable que ocurra, pero posible.
 - Improbable: muy poco probable que ocurra.
 - Sumamente Improbable: casi inconcebible que ocurra.

Los riesgos evaluados dentro de la categoría "tolerable" se aceptan con la condición de que se haga un seguimiento de estos valorando antes de cada operación si se considera oportuno o no asumírlos y si se ha producido algún cambio en ellos. Si se tomara la decisión de no asumir alguno de ellos o se detectaran cambios, no se llevará a cabo la operación. Si en la tabla siguiente se especifican medidas de mitigación para reducir los riesgos de esta categoría, éstas se aplicarán siempre. Si alguna de ellas no se pudiera aplicar, no se llevarán a cabo las operaciones.

Los riesgos evaluados dentro de la categoría "aceptable" se aceptan tal cual. Si en la tabla siguiente se especifican medidas de mitigación para reducir los riesgos de esta categoría, éstas se aplicarán siempre. Si alguna de ellas no se pudiera aplicar, no se llevarán a cabo las operaciones.

Peligro	Riesgo	Medidas de mitigación	Riesgo tras mitigación
Colisión con personas.	3A	<ul style="list-style-type: none"> - No se volará en la vertical de personal ajeno a las operaciones o sus proximidades. - Se mantendrán despejadas de personal las zonas de despegue y aterrizaje, restringiendo el acceso a las mismas. - No se volará sobre áreas pobladas. - Los vuelos sobre edificaciones o instalaciones, públicas o privadas, contarán con el permiso del propietario. 	2A
Colisión con otras aeronaves.	3A	<ul style="list-style-type: none"> - Se informará en tiempo real a ECAO Barcelona y Valencia TMA/TWR del inicio y fin de las operaciones, así como de las posibles incidencias que pudieran afectar a otras aeronaves. El piloto permanecerá en todo momento localizable para esta dependencia por vía telefónica y/o radio. - Dentro del espacio aéreo temporalmente segregado no volará más de una aeronave simultáneamente. - Dentro del espacio aéreo temporalmente segregado no se realizará el vuelo del UAS de manera simultánea a otras actividades aéreas. - Si se detectara cualquier aeronave ajena a las operaciones dentro del espacio aéreo temporalmente segregado, se procederá inmediatamente a aterrizar el UAS de la manera más segura posible y se notificará el hecho a ECAO Barcelona y Valencia TMA/TWR. 	2A
Colisión con aves.	3B	<ul style="list-style-type: none"> - Si se detectara algún grupo de aves en las proximidades del UAS, o en trayectoria hacia éste o su entorno, se procederá inmediatamente a aterrizar el UAS de la manera más segura posible. 	2B

Peligro	Riesgo	Medidas de mitigación	Riesgo tras mitigación
Salida accidental del espacio aéreo temporalmente segregado.	3B	- Se informará inmediatamente a ECAO Barcelona y Valencia TMA/TWR.	2B
Apagado o mal funcionamiento de equipos por falta de batería.	3C	- Se comprobará que se dispone de carga eléctrica suficiente antes de cada operación.	2C
Apagado o mal funcionamiento de equipos debido a meteorología adversa.	3B	- Se comprobarán las condiciones meteorológicas y su previsión actualizada antes de cada operación. - Se procederá inmediatamente a aterrizar el UAS de la manera más segura posible.	2C
Dificultad en control de la aeronave por viento.	3B	- Se comprobarán las condiciones meteorológicas y su previsión actualizada antes de cada operación. - Se procederá inmediatamente a aterrizar el UAS de la manera más segura posible.	2C
Pérdida de enlace con la aeronave.	3D		
Pérdida de tracción debido a hélice suelta.	3B	- Se verificará la sujeción de la hélice antes de cada operación.	2B
Fallo mecánico en la aeronave.	3B	- Se inspeccionarán los puntos mecánicos críticos antes de cada operación.	2B

Tabla 12-2: Identificación de peligros, riesgos de seguridad operacional, medidas de mitigación y nuevos riesgos tras la aplicación de las medidas de mitigación.

La UCO operadora aplicará todas las medidas de mitigación especificadas en la tabla anterior.

La UCO operadora mantendrá actualizada de forma veraz la información contenida en este documento. Si tras su aprobación se detectara algún error o se produjeran cambios en alguno de los datos incluidos en el mismo, se identificará algún nuevo peligro o se considerara necesario reevaluar algún riesgo de los ya analizados, las operaciones se detendrán de inmediato y no serán reanudadas hasta la aprobación de un nuevo estudio de viabilidad y seguridad para operaciones en espacio aéreo segregado corregido y/o actualizado.

REFERENCIAS

- Anderson, Chris. "The History of Drones (Drone History Timeline)." DIY Drones.
- Boyle, Alan. "Drone History: The Evolution of the Unmanned Aerial Vehicle." NBC News.
- Lee, Henry S., and Nicholas Grossman. "A Historical Perspective on Unmanned Aircraft System (UAS) Technology." The Aerospace Corporation.
- Hall, Peter. "From Kites to Drones: A Historical Overview of Unmanned Aerial Vehicles." Aerospace Science and Technology, vol. 32, no. 2, 2014, pp. 309-315.
- "Unmanned Aircraft Systems (UAS) History." Federal Aviation Administration (FAA).
- RCAO BOD 238 09/12/2016
- Manual de introducción, historia y clasificación de los UAS. Curso de obtención del título de operador de Sistemas Aéreos No Tripulados categoría Micro. Escuela UAS. Ejército del Aire y el Espacio.
- Manual de introducción, historia y clasificación de los UAS. Curso de obtención del título de operador de Sistemas Aéreos No Tripulados categoría Micro. Escuela UAS. Ejército del Aire y el Espacio.
- Reglamento (UE) 2019/947: Normativa de la Unión Europea que establece reglas y procedimientos para operaciones de RPAS en el espacio aéreo europeo.
- Documentación Oficial de EASA: Directrices, guías y documentación técnica proporcionada por la Agencia Europea de Seguridad Aérea.
- "Types of UAVs." Airborne Drones.
- "Classification of UAVs (Drones)." International Journal of Engineering Trends and Technology.
- "Different Types of Drones in the Market." DroneZon.
- Smith, Adam. "Drones Enhancing Maritime Security." Homeland Security Today.
- Johnson, Frank. "Drones in Ports: Enhancing Security and Efficiency." Port Technology.
- Marjoribanks, Tim. "Using Drones for Port Security." BIMCO Bulletin.
- [Los drones de vigilancia ya sobrevuelan el puerto de Tarragona | El Canal Marítimo y Logístico \(diarioelcanal.com\)](#)
- [Khronos | Advanced Tethered DroneBox for ISR & mobile missions \(elistair.com\)](#)
- [Portada - Fundación Valenciaport](#)
- [La Fundación Valenciaport testea la vigilancia con drones \(diariodelpuerto.com\)](#)
- Características Técnicas de los UAS. Curso de obtención del título de operador de Sistemas Aéreos No Tripulados tipo I categoría Micro. Escuela Militar de UAS. Ejército del Aire y el Espacio.
- [Infographic-AircraftPropulsion-ESP.pdf \(aertecsolutions.com\)](#)
- [¿Qué autonomía puede tener el drone Mapper? — HelixNorth](#)
- Manual de imagen y vídeo. Curso de obtención del título de operador de Sistemas Aéreos No Tripulados tipo I categoría Micro. Escuela Militar de UAS. Ejército del Aire y el Espacio.
- Imagen y vídeo. Curso de obtención del título de operador de Sistemas Aéreos No Tripulados tipo I categoría Mini. Escuela Militar de UAS. Ejército del Aire y el Espacio.

- Principios de vuelo. Curso de obtención del título de operador de Sistemas Aéreos No Tripulados tipo I categoría Mini. Escuela Militar de UAS. Ejército del Aire y el Espacio.
- Manual de usuario. Matrice 300 RTK.
- Manual de mantenimiento. M5D Airfox. Marine Instruments
- [BOE-A-2001-19995 Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento general de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.](#)
- [Universitat de València \(uv.es\)](#)
- [SuperVigilancia confirma doble incremento de tarifas del servicio de vigilancia privada para 2023 - Con Toda Propiedad](#)
- [La Tienda DJI: Compra algunos de los mejores drones y estabilizadores del mundo \(España\)](#)
- [Electronic equipment for marine conditions - Marine Instruments](#)
- [Etrair - Soluciones avanzadas en Sistemas No Tripulados y C-UAS \(etraair.com\)](#)
- [AESA-Agencia Estatal de Seguridad Aérea - Ministerio de Fomento \(seguridadaerea.gob.es\)](#)
- [EASA | European Union Aviation Safety Agency \(europa.eu\)](#)
- [Valenciaport](#)
- [Wikipedia, la enciclopedia libre](#)
- [Autoridad Portuaria de Valencia \(valenciaportse.gob.es\)](#)
- [Creación de una red privada 5G - Secmotic](#)
- [Infodron](#)
- [Instalaciones – ITIS UMA](#)
- [Universidad Europea - Universidad Privada Online y Presencial](#)
- [Arquitectura 4G a 5G – Soy ingeniero en Telecom \(tech.blog\)](#)
- [Red básica 5G | IPLOOK](#)
- [ENAIRE Drones](#)
- [Insignia \(enaire.es\)](#)
- [My Maps \(google.com\)](#)
- [\(6\) YouTube](#)
- [La marea negra del 'Prestige', una catástrofe medioambiental que podría volver a repetirse \(infolibre.es\)](#)
- [Controlado el vertido de un buque en el Puerto, que ha obligado a activar barreras anticontaminación - Valencia Plaza](#)
- [Puerto de Valencia | Un accidente con un contenedor provoca un vertido en el Puerto de Valencia | Las Provincias](#)
- [FLY.AI: Plataforma para inspección de infraestructuras mediante Inteligencia Artificial - Obras públicas \(interempresas.net\)](#)
- [AES lidera uso de drones e inteligencia artificial para inspección de infraestructura energética \(eldinero.com.do\)](#)