



Trabajo Fin de Grado

Estudio de empleo de RPAS en los procedimientos
de reconocimiento de obstáculos enemigos

Autor

CAC ING Francisco Javier Rodríguez-Monteverde Jiménez

Director/es

Director académico: Cor ING Rafael Jiménez Sánchez

Director militar: Cap ING David Rouco Merino

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2021



Agradecimientos

En agradecimiento en primer lugar al coronel Rafael Jiménez Sánchez por su inestimable ayuda y paciencia en la realización de este trabajo

A mi padre, el teniente coronel Francisco Javier Rodríguez-Monteverde Cantarell.

A todos los miembros del Batallón de Zapadores XI, especialmente a los tenientes Fernández-Llebrez, Tierno Moreno y González-Montagut.

Al teniente de Cea y al sargento Peral, del Regimiento de Ingenieros nº1.

A D. Diego Bueno y D. Guillermo Acero.

Y a mi familia, por su apoyo constante todos estos años.





RESUMEN

Una de las misiones más críticas, por su complejidad y discreción necesaria, que realizan las secciones de zapadores son los reconocimientos de obstáculos.

El objetivo de dichos reconocimientos es determinar el tipo de obstáculo, las dimensiones de este y las armas que lo batén, principalmente.

Los procedimientos actuales de reconocimiento de obstáculos suponen un elevado grado de exposición de la unidad que reconoce, de manera que se hace necesario incorporar nuevos sistemas que puedan realizar esta misión de una manera más segura y eficiente, para lo cual, los RPAS pueden ser en una solución viable.

Tras comparar estudios realizados en el ámbito del desminado humanitario, realizar una serie de entrevistas semiestructuradas y una encuesta a personal militar y civil en la mayor parte de los casos con experiencia en este ámbito, se han realizado una serie de recomendaciones con respecto al tipo de plataforma y los sensores y software que debe incorporar. Uno de los objetivos es ayudar a definir pruebas específicas que determinen sus capacidades de una forma más concreta y empírica.

Los resultados obtenidos reflejan las buenas capacidades que se prevé que ofrezcan los drones Micro y Mini de ala rotatoria que incorporen sensores multiespectrales unidos a softwares de fotogrametría, a los que se podrían incorporar programas de inteligencia artificial para facilitar el trabajo de los operadores del sistema.

Este estudio se realiza en un momento en el que, salvo en un caso concreto, las unidades de zapadores no cuentan con este tipo de sistemas en su orgánica, de manera que no se pueden obtener conclusiones basadas en la experiencia; no obstante, las conclusiones obtenidas en el marco de este estudio pueden servir como recomendaciones para experimentos concretos que se realicen en un futuro.

PALABRAS CLAVE

RPAS, UAV, obstáculo, multiespectral, reconocimiento, campo de minas, búsqueda militar, desminado



ABSTRACT

One of the most critical tasks which combat engineers' platoons are likely to perform are obstacle reconnaissance operations. Its complexity and the discretion needed to reduce the exposition of the platoon during the reconnaissance are key factors to determine the risks.

Obstacle reconnaissance operations are carried out in order to determine its type, i.e. what kind of materials are used; its dimensions and shape; status, and range of the weapons covering the obstacle.

Current procedures leave the engineers units highly exposed during these operations, so a new system need to be considered to reduce the risk. Among the possible solutions to solve this problem, the use of drones seems to be quite a viable option.

In this project, some procedures and means employed in humanitarian demining programs have been compared, together with semi-structured interviews, and a survey. This survey has been completed by both military personnel and civilians, mostly with previous experience in this field. From the data obtained, some recommendations have been developed on the class and type of platform to employ, as well as the sensors and software it should incorporate. A follow-on initiative could be to carry out field tests to assess if the platform is suitable in these operations.

The results obtained in this project reveal that employing both *Micro* and *Mini* rotatory wing drones fitted with a multispectral sensor and the appropriate photogrammetry software can become a viable alternative. Additionally, an AI software would be an excellent asset to assist in the conduction of these operations.

This study is addressed to the use of RPAS by engineers' unit from a theoretical approach, due to the lack of opportunity to experiment and obtain empirical data. However, the conclusions made in this project, are expected to become the recommendations to follow to proceed with the development of a system for obstacle reconnaissance operations in the future.

KEYWORDS

RPAS, UAV, obstacle, multispectral, reconnaissance, minefield. Demining, Military Search







ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
INDICE DE FIGURAS.....	VII
INDICE DE TABLAS	VIII
ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	3
2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE.....	3
2.2. METODOLOGÍA	3
3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO (ESTADO DEL ARTE)	5
3.1 GENERALIDADES RPAS	5
3.2 RECONOCIMIENTO DE OBSTÁCULOS ENEMIGOS	8
4. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS	13
4.1. CARGAS DE PAGO	13
4.1.1. Sensores multiespectrales	15
4.1.2. Sensores GPR	20
4.1.3. LIDAR	23
4.2. PLATAFORMAS AÉREAS	25
4.2.1. Requisitos de los RPAS a emplear.....	26
4.2.2. Micro RPAS.....	30
4.2.3. Mini RPAS.....	33
4.2.4. Conclusiones plataformas aéreas	35
4.3. SOFTWARE A EMPLEAR POR LAS PLATAFORMAS	36
5. CONCLUSIONES	39
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41



Anexo I. Propuestas de carga de pago a emplear	I
Anexo II: Especificaciones técnicas Parrot Sequoia	I
Anexo III: Especificaciones técnicas MicaSense RedEdge MX.....	I
Anexo IV: Tabla resumen comparativa de la capacidad de detección de los sensores.....	I
ANEXO V: Encuesta “Estudio RPAS para reconocimiento de obstáculos”.....	I
ANEXO VI: Resultados de la encuesta.....	I
ANEXO VII: Guion empleado entrevistas a expertos.....	I



INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de los tipos de obstrucciones (Fuente: Elaboración propia)	9
Figura 2: Comparativa de cámara HD con sensor multiespectral para localizar una caja de munición oculta bajo la vegetación (Fuente: Archivo Cor Jiménez).....	16
Figura 3: Detalle del sensor Parrot Sequoia (Parrot, 2016).....	17
Figura 4: Imagen de las minas geolocalizadas por el sensor utilizado en el experimento (Baur, et al., 2020)	18
Figura 5: Distinción de las minas en función del tipo de sensor llevado a cabo en el estudio (Baur, et al., 2020).....	19
Figura 6: Detalle del sensor Micasense RedEdge MX (González-Montagut Siljeström, 2021)	20
Figura 7:Asc Tec Firefly. UAV equipado con GPR que emplea la metodología SDR (Pérez Cerquera, et al., 2017).....	21
Figura 8: Disposición de los objetos y resultado del escaneo (Pérez Cerquera, et al., 2017)	21
Figura 9: Prototipo implementado en el estudio. (Tierno Moreno, 2020)	22
Figura 10: Detalle de DJI Zenmuse L1 (DJI, 2021)	23
Figura 11: Detalle del sensor YellowScan Mapper (YellowScan, 2021)	24
Figura 12: Detalle de FLIR Black Hornet 3 (FLIR, 2020)	31
Figura 13: Detalle Sky-Watch HUGGIN X1 v2 (Sky Watch, 2015)	32
Figura 14: Detalle GMV PASSER (Revista RPAS/DRONES, 2019).....	33
Figura 15: Vistas de las diferentes configuraciones del sistema Vector/Scorpion. Fuente: (Quantum Systems, 2021).	34
Figura 16: Vista del Alpha 800. Fuente (Alpha Unmanned Systems, 2021)	34



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación RPAS en base a MTOW (Estado Mayor de la Defensa, 2015) ...	7
Tabla 2: Resultados encuesta sobre las características de los aparatos	29
Tabla 3: Tabla resumen comparativa datos básicos Micro (Fuente: elaboración propia)	33
Tabla 4: Tabla comparativa sistemas Mini estudiados (Fuente: Elaboración propia) ..	35



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AI: Inteligencia Artificial, del inglés, *Artificial Intelligence*.

ANFO: Nitrato de Amonio y Combustible, del inglés, Amonium Nitrate/Fuel Oil

BLOS: Más Allá de la Línea de Visión, del inglés, *Beyond Line Of Sight*.

BMS: Sistema de Gestión de la Batalla, del inglés, *Battle Management System*.

BZ: Batallón de Zapadores

C/C: Contra-carro.

CID: Centro Internacional de Desminado

CMAS: Campo de minas.

DGAM: Dirección General de Armamento y Material.

EME: Estado Mayor del Ejército

EOD: Desactivación de Explosivos y Municiones, del inglés, *Explosive Ordnance Disposal*.

ERW: Explosivo Remanente de Guerra, del inglés, *Explosive Remnant of War*.

ET: Ejército de Tierra.

ETID: Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa.

EUTM: Misión de Entrenamiento de la UE, del inglés, *European Union Training Mission*.

GCS: Estación de Control Terrestre, del inglés, *Ground Control Station*.

GE: General de Ejército.

GNSS: Sistema de Navegación Global por Satélite, del inglés, *Global Navigation Satellite System*.

GPR: Georadar, del inglés Ground Penetrating Radar

HD: Alta Definición, del inglés, *High Definition*.

IGM: Primera Guerra Mundial.

IMU: Unidad de Medida Inercial, del inglés, Inertial Measurement Unit.

JEME: Jefe de Estado Mayor del Ejército. Es la máxima autoridad dentro del ET.

JING (el/ la): Jefe de Ingenieros/ Jefatura de Ingenieros.

LIDAR: Detección y Establecimiento de Rangos por Láser, del inglés, *Light Detection and Ranging*.

LOS: Línea de Visión, del inglés, *Line of Sight*.

MDT: Modelo Digital del Terreno

MINISDEF: Ministerio de Defensa.

MS : Military Search – Búsqueda Militar

MTOW: Peso Máximo al Despegue, del inglés, *Maximum Take-Off Weight*.

NiR: Infrarrojo Cercano, del inglés, *Near InfraRed*.



NOP: Norma Operativa.

RGB: Rojo Verde Azul, del inglés, Red Green Blue.

RMA: Royal Military Academy de Bélgica

RPAS: Sistema Aéreo Pilotado Remotamente.

RPV: Vehículo Pilotado Remotamente, del inglés, *Remotely Piloted Vehicle*.

SLAM: Localización y Mapeado Simultáneos, del inglés, *Simultaneous Localization And Mapping*

SOP: Norma Operativa, del inglés *Standard Operating Procedure*.

SSD: Detector de un Disparo, del inglés, *Single Shot Detector*

TCol: Teniente Coronel.

TFG: Trabajo de Fin de Grado

TRA: Transmisiones.

UAV: Vehículo Aéreo No Tripulado, del inglés, *Unmanned Air Vehicle*

UE: Unión Europea.

UGV: Vehículo Terrestre No Tripulado, del inglés, *Unmanned Ground Vehicle*.

UME: Unidad Militar de Emergencias

UXO: Munición no Explosiva, del inglés, *Unexploded Ordnance*.



1. INTRODUCCIÓN

La constante evolución tecnológica tiene un efecto muy evidente en el ámbito de la Defensa, desde la automatización de determinados procesos lentos o costosos a la adaptación completa de las tácticas a la tecnología disponible, y con ello, una constante revisión de la doctrina en todos los niveles.

El empleo de drones en general es uno de los ejemplos más evidentes de este impacto, tanto por parte de los ejércitos regulares de los diferentes países como por parte de grupos armados no gubernamentales, como se ha podido ver con el gran efecto propagandístico aportado por el uso de cámaras adosadas a drones para grabar atentados terroristas del ISIS contra efectivos de países occidentales.

El Ejército de Tierra (ET), tal como se refleja en el concepto de “Brigada 2035”¹, tiene como objetivo troncal el desarrollo tecnológico de las unidades, de manera que estas estén en las mejores condiciones para cumplir las misiones que se les asignen en un entorno en constante cambio. Uno de los cometidos, normalizados en la OTAN es el de Búsqueda Militar (MS Military Search). Este cometido requiere de medios y procedimientos específicos que se consideran en este trabajo.

Entre las tecnologías incluidas en el concepto Ejército de 2035, está la consolidación del empleo de Sistemas Aéreos Pilotados Remotamente (RPAS). En el proceso de adquisición, llevado a cabo por la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) y que tiene como objetivo dotar de una flota consolidada de RPAS (Sistema Aéreo Pilotado Remotamente) modernos a las Fuerzas Armadas, cabe mencionar los estudios y pruebas llevados a cabo en el Proyecto RAPAZ de la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación de la DGAM y orientados fundamentalmente a la industria nacional.

Aunque la adquisición de estos sistemas es potencialmente positiva, se debe concretar cómo va a realizarse la integración de los sistemas en los procedimientos empleados hasta la fecha en las unidades del ET, y el empleo de medios añadidos, como pueden ser los sensores o el uso de software específico.

Este trabajo, por tanto, pretende dar respuesta a esta necesidad de estudio de las características de sensores y/o software para analizar la viabilidad del uso de estos sistemas para el reconocimiento de obstáculos en concreto, y, en su caso, establecer una propuesta que sirva de guía para pruebas específicas que se determinen con el objetivo de consolidar un sistema completo diseñado para el reconocimiento de obstáculos enemigos.

El desarrollo del trabajo, a grandes rasgos, se va a dividir en el estudio de las características de los RPAS; es decir, tanto al dron, como a los sensores que se le puedan incorporar y el software de inteligencia artificial (AI) que pudiera ser de utilidad a la hora de llevar a cabo los reconocimientos de los obstáculos; y, en su caso, esbozar cómo podrían desarrollarse los procedimientos de reconocimiento de obstáculos empleando los RPAS.

Cabe añadir, por otro lado, que, dado que desde la DGAM se ha realizado ya un

¹ La “Brigada 2035” pretende transformar el concepto de Brigada en un «sistema de combate integral» derivado de la “Visión 2035” desarrollada por el Jefe de Estado Mayor del Ejército (JEME) GE Francisco Javier Varela Salas que hace referencia a los retos futuros a los que se prevé que el ET tenga que hacer frente para el año 2035. (Ministerio de Defensa, 2019)



estudio de mercado de los RPAS de uso militar que mejor podrían dar respuesta a las necesidades del ET a corto y medio plazo, y alguno de los sistemas estudiados en este trabajo es posible que se encuentre en un futuro próximo en dotación en las unidades. No obstante, en caso de que aun así existieran incompatibilidades entre los drones y los requisitos técnicos exigibles a los sistemas, se podría realizar un estudio sobre drones de uso civil que pudieran suplir las carencias de los de uso militar.



2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

En este capítulo, se van a exponer los objetivos principales que persigue este trabajo, los problemas que aspira a solucionar y la metodología empleada para ello.

2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo general de este trabajo es estudiar el uso de RPAS para los trabajos específicos de reconocimiento de obstáculos por parte de unidades de zapadores, de manera que se pueda apreciar si los sistemas que el ET tiene previsto adquirir en el marco del Proyecto Rapaz cumplen con las características y requisitos que se espera de ellos para llevar a cabo este tipo concreto de misiones.

El alcance del trabajo; es decir, las tareas a realizar en el marco de este son:

- Evaluar las características de los drones para dotar a las compañías de zapadores.
- Estudiar el tipo de sensor más apto para la realización de las tareas de reconocimiento de obstáculos.
- Comprobar si el dron es capaz de portar el o los tipos de sensor más aptos para estas tareas.
- Estudiar la incorporación de AI (Inteligencia Artificial) para estas labores de reconocimiento.
- Comparar las capacidades en potencia de los RPAS en este tipo de trabajos con los procedimientos empleados hasta ahora.
- Establecer unas líneas generales del empleo de RPAS para las misiones de reconocimientos de obstáculos.
- Estudiar si es posible el uso de este tipo de sistemas en ambiente no convencional.

Se ha descartado hacer un estudio sobre el empleo AI en el sistema por falta de recursos, tanto de tiempo y recursos necesarios.

De igual manera, no se contempla realizar pruebas del sistema completo, ya que, a fecha de la realización de este trabajo, aun no se ha adquirido para uso en las unidades del ET.

2.2. METODOLOGÍA

El enfoque de este trabajo es principalmente teórico, dado que estos sistemas aún no se han adquirido para las compañías de zapadores.

En la confección de este trabajo, se han empleado métodos mixtos para la adquisición de los objetivos mencionados previamente.

En términos cuantitativos, se ha realizado una encuesta para determinar el tipo de plataforma aérea más apropiada para este tipo de misiones. Dicha encuesta ha recibido un



total de 91 respuestas, en su mayoría por miembros de las Fuerzas Armadas y con personal con experiencia en este ámbito.

En términos cualitativos, se ha realizado una serie de entrevistas semiestructuradas que se detallan en el desarrollo de este documento, que han tenido por objetivo servir de guía para la realización de las conclusiones y recomendaciones finales de este trabajo. Estas entrevistas han ido dirigidas a personal del Batallón de Zapadores XI, Regimiento de Ingenieros nº1, División de Operaciones del Estado Mayor del Ejército, Jefatura de Ingeniería del Mando de Apoyo Logístico del Ejército, y antiguos miembros del Centro Internacional de Desminado.

Para llevar a cabo este estudio, se han atendido a las posibilidades técnicas que ofrecen algunos de los RPAS de uso militar que la DGAM puede considerar para comprar en el marco del Proyecto Rapaz, realizando una ponderación cualitativa de las características de cada uno de ellos en función de cómo se prevé que sea su rendimiento en misiones de reconocimientos de obstáculos. Para ello se ha contado con documentación facilitada por las fuentes reflejadas en el párrafo anterior.



3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO (ESTADO DEL ARTE)

Para realizar un correcto análisis *a posteriori*, cabe contextualizar y definir aquellos conceptos clave para la correcta comprensión del estudio. El análisis realizado en este trabajo, como se menciona en la introducción, se estructura en las partes del RPAS (plataforma o dron, sensor y AI) y los procedimientos de reconocimiento de obstáculos. En este punto, por lo tanto, se realizará la exposición de estos conceptos de una manera más detallada.

3.1 GENERALIDADES SOBRE RPAS

Dentro de este apartado, resulta de gran interés realizar las definiciones de aquellos elementos y conceptos referentes a la aviación no tripulada que se irán desarrollando en el cuerpo del trabajo.

De la misma manera, conviene también resaltar el incremento progresivo de la importancia que esta tecnología ha ido desarrollando a lo largo de los años. Prueba de ello es que ya en el año 1849, durante el bombardeo de Venecia por parte del ejército austriaco, se emplearon hasta doscientos globos con detonadores accionados mediante un circuito eléctrico. Ya en el siglo XX, Nikola Tesla diseña un modelo de globo aerostático controlado sin cables que pretendía dar lugar a una auténtica flota de vehículos no tripulados con la que obtener una amplia ventaja en el campo de batalla. (Prisacariu, 2017).

De una evolución lenta durante principios de siglo XX, tras la Primera Guerra Mundial (IGM), se producen los mayores avances tecnológicos vistos hasta entonces, creándose por parte de la Armada estadounidense la Navy's Special Air Unit One (SAU-1), que consigue adaptar bombarderos navales como el PB4Y-1 (versión naval del B-24 Liberator) en aeronaves sin piloto (Jacobsen, 2002). Durante la II GM, la fuerza aérea americana también experimentó, con poco éxito, el empleo de aviones convencionales pilotados de forma remota. Los alemanes por su parte también hicieron un uso limitado de sistemas guiados por control remoto.

El mayor avance se produce a partir de los años 70, en la Guerra del Yom Kippur (1973)², y en la Guerra del Golfo (1990-1991)³. Actualmente el empleo militar de sistemas RPAS está muy extendido en todos los países, y en organizaciones terroristas.

En España, el interés de crear una flota de RPAS se consolida con la publicación en el año 2015 del Plan Director de RPAS, que pretendía establecer las líneas generales de las necesidades de estos sistemas en las Fuerzas Armadas, teniendo en cuenta la previsión de su evolución tecnológica tanto a corto como a medio y largo plazo (Ministerio de Defensa, 2016).

De hecho, por parte del propio MINISDEF, se revisa ese mismo año la Estrategia de

² Las tropas israelíes emplearon Vehículos Pilotados Remotamente (RPV) para reconocimiento y como señuelos.

³ Se utilizaron UAV por parte de las unidades de la coalición en misiones de apoyo de fuego, vigilancia, adquisición de objetivos, reconocimiento de rutas o evaluación de daños. Destacan los sistemas PIONEER y HUNTER, empleados principalmente en misiones de Inteligencia de Imágenes (IMINT). (Fuente: Conferencia Futuro de los RPAS en el ET. Impartida por la oficina de RPAS del EME en diversos cursos de perfeccionamiento).



Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID)⁴ en la que se establecen una serie de metas tecnológicas que incluyen algunas muy relacionadas con las necesidades de RPAS, como son plataformas aéreas de nueva generación o investigación y desarrollo de RPAS militares, entre otras (Ministerio de Defensa, 2016).

Es primordial para la comprensión del posterior análisis, establecer una serie de definiciones previas:

- UAV: Vehículo Aéreo no Tripulado, del inglés, Unmanned Aerial Vehicle. Incluye tanto los RPV como los DRONES. Este concepto (unmanned) puede hacer referencia a que no se emplea tripulación o bien que no requiere un control permanente del operador en su funcionamiento.
- DRON: Literalmente significa abejorro. Hace referencia a un sistema más autónomo. Generalmente son menos vulnerables dado su menor tamaño y tipo de vuelo. Aquí podríamos incluir el concepto de “Loitering Munitions” municiones con capacidad autónoma para reconocer el blanco.
- RPV: Vehículo Pilotado de Remotamente, del inglés, Remotely Piloted Vehicle. Son plataformas convencionales, controladas por un operador, que, por lo general, son más lentas y vulnerables.

Estas son las definiciones tradicionales de los aparatos; sin embargo, dada la creciente complejidad del uso de estos, se emplea la palabra RPAS (Sistema Aéreo Pilotado Remotamente).

El Reglamento de Circulación Aérea Operativa (RCAO)⁵, establece lo siguiente:

Vehículo aéreo no tripulado (UAV).

Vehículo aéreo propulsado que no lleva personal como operador a bordo. Los vehículos aéreos no tripulados incluyen solo aquellos vehículos controlables en los tres ejes.

Además, un UAV:

- Es capaz de mantenerse en vuelo por medios aerodinámicos.
- Es pilotado de forma remota o incluye un programa de vuelo automático.
- Es reutilizable.
- No está clasificado como un blanco aéreo, un arma guiada o un dispositivo similar de un solo uso diseñado para el lanzamiento de armas.

A efectos de RCAO se considera que son sinónimos de UAV, las palabras «drone» y «vehículo aéreo pilotado remotamente»

⁴ Orientación en materia tecnológica por parte del MINISDEF que pretende establecer una estrategia a tecnológico considerando todos los posibles actores.

⁵ RD 601/2016 de 2 de diciembre (Ministerio de la Presidencia y para las Administraciones Territoriales, 2016).



De la misma forma, este documento también introduce en la legislación española el concepto de Sistema Aéreo No Tripulado (UAS):

Sistema aéreo no tripulado (UAS).

Aeronave y sus elementos asociados, la cual es operada sin piloto a bordo. Comprende los elementos individuales del UAS, que incluyen el vehículo aéreo no tripulado (UAV), la estación de control y cualquier otro elemento necesario para permitir el vuelo, tales como el enlace de comunicaciones o el sistema de lanzamiento y recuperación.

De esta manera, la legislación consolida el concepto de “sistema”: ya no hace referencia a un elemento aéreo aislado, sino un conjunto de más partes que trabajan en conjunto, lo que aporta cierta complejidad técnica. El término RPAS es el que habitualmente se emplea en el ámbito militar para hacer referencia a un sistema operado de forma remota.

Un RPAS se compone de tres partes principales:

- Segmento aéreo: compuesto por tanto la aeronave como la carga útil que porta el mismo.
- Segmento de superficie: compuesto por el Elemento de Control Terrestre (GCS) y otros elementos de apoyo.
- Enlace de datos entre ambos segmentos.

No existe un único criterio para clasificar los RPAS, sino que, dependiendo de las diferentes características operativas requeridas en función de la misión, se les clasifica de una forma u otra. Para facilitar su adquisición, en el ámbito militar se les agrupa generalmente según el Peso Máximo al Despegue (MTOW) dentro de las clases I, II y III según el cuadro siguiente (Tabla 1; Error! No se encuentra el origen de la referencia.):

Tabla 1: Clasificación RPAS en base a MTOW (Estado Mayor de la Defensa, 2015)

Clase	Categoría	Empleo habitual	Altura de operación normal	Radio de operación normal	Nivel de mando al que apoya principalmente	Ejemplos
CLASE I (< 150 Kg)	Micro* (< 66 J)	Subunidad táctica (lanzamiento manual), operadores individuales.	Hasta 200 ft AGL	Hasta 5 Km (LOS)	Pelotón, Sección	Wasp
	Mini (<15 Kg)	Subunidad táctica (lanzamiento manual), operadores individuales.	Hasta 3.000 ft AGL	Hasta 25 Km (LOS)	Compañía, Pelotón	RQ-11 Raven
	Small (15 - 150 Kg)	Unidad Táctica (utiliza sistema de lanzamiento)	Hasta 5.000 ft AGL	50 Km (LOS)	Batallón, Regimiento	Sident** Scan Eagle
CLASE II (150 Kg- 600 Kg)	Táctico	Formación Táctica	Hasta 10.000 ft AGL	200 Km (LOS)	Brigada	Searcher MKII Atlante** Pelícano**
CLASE III (>600 Kg)	MALE	Estratégico / Operacional	Hasta 45.000 ft MSL	Sin límite (BLOS)	Mando Conjunto	MQ- 1 Predator A, Heron TP, Milano**
	HALE	Estratégico	Hasta 65.000 ft	Sin límite (BLOS)	Mando de Teatro	Global Hawk
	Ataque / Combate	Estratégico / Operacional	Hasta 65.000 ft	Sin límite (BLOS)	Mando de Teatro	MQ-9 Predator B "Reaper"

* Las RPA que desarrollen una energía cinética menor de 66 Julios normalmente no causarán daños significativos en personas o cosas, no siendo necesario clasificarlos o regularlos a efectos de aeronavegabilidad, entrenamiento, etc., a menos que tengan capacidad para operar cargas útiles peligrosas (explosivos, toxinas, agentes químicos/biológicos, etc.).

** Sistemas nacionales en desarrollo.



Con respecto a los sistemas de clase I, difieren mucho las características de los sistemas de las tres subcategorías, también en términos de normativa de empleo y titulaciones.

Según la tabla mostrada, los de tipo *Micro* responden a aquellos sistemas que, dada su energía cinética máxima no causan daños significativos a personas en caso de accidente; no obstante, no es una definición del todo precisa, de manera que habitualmente se refiere a aquellos con una MTOW menor de 2 kg.

Como puede apreciarse, los de clase I y II están diseñados para operar en Línea de Visión Directa, (LOS)⁶. Conviene diferenciarlo de los conceptos de VLOS⁷ y EVLOS⁸, las cuales hacen referencia al enlace visual directo o de un observador del UAV respectivamente, que por normativa afectan principalmente a los RPAS de tipo *Micro*.

Por el contrario, los de clase III, son capaces de operar más allá del enlace directo con la GCS, por lo que necesitan enlace vía satélite con el UAV. A este radio de acción se le conoce como BLOS⁹.

Actualmente, según asegura en una entrevista realizada al TCol TRA Francisco Javier Rodríguez-Monteverde Cantarell, destinado en el Área de RPAS de la División de Operaciones (DIVOPE) del EME:

Dentro del ET hay un total de veintiún (21) sistemas *Micro* y *Nano*, tanto de sistemas multirrotor como monorrotor, veinticuatro (24) sistemas *Mini* del modelo RAVEN, que prestan apoyo a nivel batallón o grupo e inferior; y tres (3) sistemas *Small*, mientras que cuenta con tan solo dos (2) sistemas *Tácticos* o de clase II. Esta es una cantidad muy reducida, esperamos poder elevar esta cantidad hasta el nivel de ambición actual del ET en materia de RPAS.

3.2 RECONOCIMIENTO DE OBSTÁCULOS ENEMIGOS

Las unidades de Ingenieros son unidades de apoyo al combate, por lo que todos los cometidos que les son asignados generalmente son en beneficio de una unidad de maniobra. Sus cometidos van orientados a “incrementar o complementar la capacidad de combate de las unidades, favorecen la maniobra propia y dificultan la del enemigo mediante acciones conducentes a modificar las condiciones del terreno realizando cometidos de apoyo a la movilidad, contramovilidad y protección.” (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2020).

⁶ Line Of Sight.

⁷ Visual Line Of Sight.

⁸ Extended Visual Line Of Sight.

⁹ Beyond Line Of Sight.



Dentro de las misiones que le son asignadas por su naturaleza, las unidades de Ingenieros llevan a cabo los reconocimientos técnicos de aquellos elementos que van a afectar el desempeño posterior de sus trabajos; por ejemplo, el reconocimiento de un campo de minas para que el mando de la unidad de maniobra pueda estudiar la viabilidad de cruzarlo con unos medios u otros; o el reconocimiento de una zanja/brecha para el tendido de un puente.

No obstante, antes de exponer detenidamente los antecedentes y el marco teórico, conviene definir algunos conceptos básicos.

Una obstrucción, según el manual de Planeamiento de las Obstrucciones¹⁰, es “un elemento natural o artificial que crea un impedimento físico o implica un riesgo al movimiento de vehículos y/o personal.” (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019). Según la doctrina tradicional, existen dos tipos de obstrucciones: los obstáculos y las destrucciones.

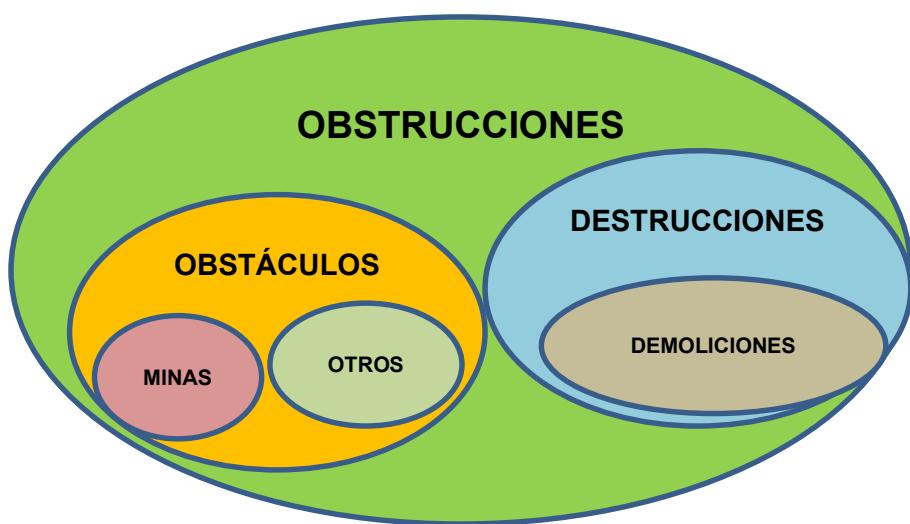


Figura 1: Esquema de los tipos de obstrucciones (Fuente: Elaboración propia)

Un obstáculo, según el mismo manual:

Es un accidente natural, elemento artificial o una combinación de ambos que condiciona el movimiento. Algunos obstáculos, como las montañas, ríos, terraplenes de ferrocarril, carreteras y zonas urbanizadas existen antes del comienzo de las operaciones militares. Otros son creados por las fuerzas combatientes para apoyar sus operaciones. (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019).

Mientras que las destrucciones son “el efecto producido en una construcción, obra de fábrica, vía de comunicación o cualquier tipo de infraestructura como consecuencia del ataque a sus elementos estructurales de modo que quede totalmente fuera de servicio”. (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019).

¹⁰ PD 4-024



El término más correcto por lo general es el de obstrucción, ya que los ingenieros realizan ambos tipos de obstrucción; sin embargo, en este trabajo, se van a analizar los procedimientos de reconocimiento de campos de minas, fosos contra-carro (C/C) y alambradas, principalmente, que son obstáculos, no destrucciones.

Por otro lado, el reconocimiento de los obstáculos es un cometido propio de las unidades de Ingenieros, no exactamente enmarcado dentro de los reconocimientos de ingenieros¹¹, pero con las suficientes características comunes a estos como para realizar una analogía consistente doctrinalmente hablando. Según el manual de Reconocimiento de Ingenieros¹², este es “una misión emprendida por una unidad de ingenieros para obtener, mediante la observación visual u otros medios de observación, información en un área concreta sobre actividades y medios de ingenieros de un adversario actual o potencial” (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2020).

El procedimiento que marca el manual antes mencionado se compone de los siguientes puntos:

- 1.^a Orden de reconocimiento del jefe de ingenieros.
- 2.^a Orden de reconocimiento del jefe de la unidad de ingenieros¹³.
- 3.^a Preparación del equipo de reconocimiento.
- 4.^a Reunión de coordinación.
- 5.^a Ejecución del reconocimiento.
- 6.^a Informe de reconocimiento. (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2020)

El punto sobre el que versará el análisis es el quinto; es decir, sobre la ejecución propiamente dicha, aunque evidentemente habrá que realizar las consideraciones oportunas en lo referente al planeamiento de este.

La ejecución de estos reconocimientos, en términos generales, varía en función de la unidad, de manera que viene definida en Normas Operativas (NOP o SOP) propias de cada unidad. En doctrina común a todas las unidades solamente se hace referencia al reconocimiento de campos

¹¹ El reconocimiento de los obstáculos es en ocasiones una tarea previa a la realización de una apertura de brechas, de manera que en muchas veces se trata más como un cometido previo a la apertura que como un reconocimiento de ingenieros propiamente dicho. El matiz es puramente doctrinal.

¹² MP-403

¹³ El Jefe de Ingenieros (JING) es la figura encargada de realizar el asesoramiento en materia de Ingenieros al jefe de la unidad de maniobra. Participa en el proceso de planeamiento desde el principio, de forma que la maniobra, los fuegos y el planeamiento de las obstrucciones estén perfectamente integrados.

Por el contrario, el jefe de la unidad de Ingenieros es el mando de la unidad asignada para hacer un determinado trabajo. Este va, generalmente como parte de una organización operativa tipo Agrupación, Grupo o Subgrupo Táctico, según se disponga.



de minas¹⁴ en el Manual de Instrucción de Sección de Zapadores Mecanizada¹⁵. Según este manual, el reconocimiento de un campo de minas (CMAS) se realiza un sondeo similar al de una apertura de brecha encubierta, de una distancia “igual a la que el enemigo acostumbra a dar fondo a los CMAS del tipo reconocido incrementada en treinta metros por razones de seguridad” (Estado Mayor del Ejército, 1994).

¹⁴ No al reconocimiento de obstáculos en general, sino específicamente al campo de minas.

¹⁵ MI4-401





4. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo del trabajo se van a analizar de una forma más profunda los UAV considerados, los diferentes sensores que podrían emplearse para realizar las misiones de reconocimiento de obstáculos y la inteligencia artificial que se les podría incorporar. Como resultado de todo ello, se pretende esbozar una propuesta de empleo del material para dar solución al problema.

4.1. CARGAS DE PAGO

Uno de los principales criterios a la hora de estudiar la viabilidad del uso de un determinado UAV, además de la autonomía y distancia máxima a la que se puede operar, es la carga de pago que puede admitir, de manera que conviene analizar antes las características de los sensores que se van a estudiar para después descartar aquellos sistemas incompatibles con los sensores propuestos.

Primeramente, se va a hacer referencia a los campos y tapones de minas, que es el caso de mayor complejidad, seguido del análisis para fosos C/C y alambradas.

Con respecto a los campos de minas, según un estudio realizado en la Universidad Nacional de Colombia en el año 2013 por los doctores (Ph.D.) Lorena Cardona, Jovani Jiménez y Nelson Vanegas, agrupan las técnicas empleadas para la detección de campos de minas y de IEDs en detectores de explosivos, principalmente los métodos basados en la detección de estas sustancias empleando animales y en análisis químicos de entre los que destacan la espectrometría de masas¹⁶ o la espectroscopía infrarroja¹⁷; detectores de metales; georradares tipo GPR (Ground Penetrating Radar); sensores infrarrojos y multiespectrales, y otros muchos. (Cardona, et al., 2013). Es decir, el problema puede resolverse por la detección de la sustancia explosiva, o por el sistema/medio físico empleado como contenedor, o como sistema de iniciación.

En el citado documento se pretende dar respuesta al problema del desminado en el Departamento de Antioquia, en Colombia, es decir, dar una respuesta concreta a la situación específica de esa región, con las particularidades que presenta en cuanto a tipo de artefactos y procedimientos de desminado. Es conveniente realizar este apunte debido a que la naturaleza del presente trabajo hace que las conclusiones de aquel no sean del todo extrapolables al caso que se analiza en este.

¹⁶ La espectrometría de masas es una técnica que reconoce un compuesto conocido y lo cuantifica, así como sus productos de degradación. Según afirma en una entrevista Stanislaw Popiel, profesor asociado de química en la Universidad Tecnológica Militar de Varsovia, "la espectrometría de masas nos brinda una herramienta poderosa para la identificación y cuantificación de explosivos, vital en forensenálisis" (Steward, 2019).

¹⁷ Mediante esta técnica, se evalúa la interacción del compuesto con la radiación infrarroja, permitiéndose identificar la sustancia en cuestión.



Como se señala en el párrafo anterior, tanto los artefactos como los procedimientos de desminado hacen necesario puntualizar dos matices:

El primero, en cuanto a los artefactos, los explosivos encontrados en la citada región colombiana son, técnicamente más parecidos a IEDs que a minas propiamente dichas: “Debido a los controles gubernamentales, las minas de los grupos ilegales raramente contienen explosivo militar, en su lugar, suelen contener ANFO¹⁸” (Cardona, et al., 2013). El nitrato de amonio es un fertilizante muy empleado por grupos terroristas por su fácil adquisición (evidentemente es mucho más sencillo de adquirir que el trinitrotolueno, que además de en el ámbito militar, se emplea en el mundo civil para determinadas actividades, como, por ejemplo, demoliciones). Además, al contrario que en los obstáculos de las guerrillas, las minas de los campos de minas que instala un ejército regular emplean menor cantidad de explosivo y no se instalan como trampas explosivas en ningún caso.

El segundo, con respecto al procedimiento. En una situación de conflicto generalizado, el reconocimiento de un obstáculo como un campo de minas, se realiza con el objetivo de sobrepasar el citado obstáculo rodeándolo, o con algún tipo de apertura de brechas, pero no para localizar individualmente las minas y sacarlas del terreno. Esta consideración es importante, ya que las técnicas empleadas en misiones de desminado humanitario, como la realizada en Colombia que cita el documento anterior, pueden ser de utilidad en cuanto a tecnología y medios empleados, pero no necesariamente en cuestión de procedimientos.

Siguiendo el criterio de consulta a expertos, fruto de una serie de entrevistas (resultados en el Anexo I) al coronel (Cor) ING Rafael Jiménez Sánchez¹⁹, al teniente (Tte) ING Álvaro Fernández-Llebrez Panizzoli²⁰, al Tte Juan Tierno Moreno²¹, a la Tte Cristina González-Montagut Siljeström²², al sargento (Sgto) Mario José Peral Duque y a D. Diego Bueno Pérez, de todas las técnicas de detección de campos de minas presentadas en aquel documento, a priori las que podían resultar de mayor interés son: el empleo de sensores multiespectrales, debido a los sistemas empleados en el marco del proyecto TIRAMISU de la Unión Europea (UE); sistemas GPR, empleados en Colombia; radares LIDAR.

Los medios de detección de metales como el MKD²³ y detectores de explosivos, como el SpectroDrone israelí no van a considerarse para el análisis. Esto es debido, en el caso de los primeros, a que, a pesar de ser probados en labores de desminado humanitario, las minas C/C

¹⁸ Nitrato de Amonio y Combustible. El 95% de los ataques IED sufridos en Afganistán tenía estos componentes. Fue calificado como el “ingrediente favorito de los terroristas” (El País, 2011).

¹⁹ El Cor Jiménez Sánchez, durante su carrera profesional ha trabajado en el proyecto TIRAMISU en Bosnia y ha sido jefe del Centro Internacional de Desminado (CID). En ambos destinos, la mayor parte del esfuerzo técnico iba dirigido al empleo de UAS y Vehículos Terrestres No Tripulados (UGV) para detección de minas, IED y Municiones no Explosinadas (UXO).

²⁰ El Tte Fernández-Llebrez, jefe interino de la Compañía de Plana Mayor y Servicios del Batallón de Zapadores (BZ) XI, ha estado recientemente desplegado como jefe de la Fuerza de Protección en la misión EUTM Mali, donde ha trabajado de forma constante con los operadores de las unidades de UAV españolas y luxemburguesas.

²¹ El Tte Tierno es el jefe de la sección de reconocimiento y desactivación de explosivos del BZ XI. Está diplomado en Desactivación de Explosivos y Municiones (EOD).

²² La Tte González-Montagut está destinada en la compañía de apoyo del BZ XI. Realizó una propuesta de empleo de UAV para reconocimientos de ingenieros en el año 2020 como parte de su Trabajo de Fin de Grado (TFG).

²³ Mine Kafon Drone. Es un UAS fabricado por dos afganos (Massoud y Mahmud Hassani) como parte de un proyecto de desminado de la UE (Comisión Europea, 2020).



empleadas en la actualidad son en su mayor parte, de plástico, de manera que son prácticamente indetectables por este tipo de detectores.

En el caso de los detectores de explosivos, no se van a tener en cuenta debido a que han resultado irrelevantes para la mayor parte de los expertos consultados, además de que, por su propia naturaleza, están diseñados para comprobar si un punto en concreto del terreno o un objeto específico, contienen explosivo. Esto resulta de gran utilidad en acciones contra el terrorismo (comprobar si una maleta abandonada contiene explosivos); sin embargo, no es relevante al tener que analizar una zona de grandes dimensiones que supone un obstáculo más complejo.

4.1.1. *Sensores multiespectrales*

Según afirma D. Diego Bueno²⁴ en la entrevista realizada, “para la detección de minas u obstáculos sobre el terreno (no enterradas) lo más adecuado es usar un sensor con cámara multiespectral o hiperespectral”.

El funcionamiento de este tipo de sensores se basa en la diferente temperatura a la que se encuentran un cuerpo y su entorno, fruto de que la velocidad a la que el ambiente y el cuerpo en cuestión (en este caso una mina) intercambian calor es diferente de la velocidad a la que lo hace la tierra o vegetación.

Esta es una de las técnicas que presenta un mayor grado de estudio hasta la fecha, debido a que se ha empleado ya previamente en los proyectos TIRAMISU e ICARUS de la UE. Estos proyectos surgen tras una serie de inundaciones sufridas en Bosnia-Herzegovina en el año 2014, que conllevaron el desplazamiento de gran cantidad de Explosivos Remanentes de Guerra (ERW). Se llegaron a documentar desplazamientos de hasta 23 km (Meier, 2016).

En este proyecto, llevado a cabo por la Royal Military Academy (RMA) belga, contaba con, entre otros UAS, con el MD4-1000. Este sistema contaba con dos sensores: una cámara de alta definición (HD) y un sensor de infrarrojo cercano (NiR). (Meier, 2016). Este sensor de infrarrojo no tiene las mismas prestaciones que un sensor multiespectral, ya que, según afirma D. Diego Bueno en la entrevista realizada:

Un sensor multiespectral capta un mayor ancho de banda que un sensor infrarrojo básico, por lo que permite clasificar un mayor número de elementos diferentes en base a la longitud de onda que reflejan, asignándole distintos colores.

Sin embargo, aunque presenta tales diferencias en las prestaciones, teniendo en cuenta el buen resultado obtenido con esta técnica, al emplear un sensor multiespectral, se podrían obtener resultados potencialmente muy beneficiosos, como confirmará en la entrevista más adelante:

La cámara multiespectral proporciona más información porque clasifica los diferentes elementos en base a su diferente longitud de onda reflejada, por lo que a la

²⁴ D. Diego Bueno Pérez es un ingeniero que actualmente desempeña labores de investigación específica en este campo con la Jefatura de Ingeniería del Mando Logístico del Ejército de Tierra.



hora de distinguir entre elementos de diferente composición y material en un terreno se comportará mucho mejor.

Más adelante, en una serie de estudios realizado por el CID en 2014 en el Campo Ángel y Perkele, dirigidos por el Cor Jiménez, se emplearon sensores multiespectrales adosados a un UAV para localizar cajas de munición, minas y otros objetos escondidos bajo la vegetación y semienterrados. El resultado de aquellos estudios, según el Cor Jiménez:

Durante mi periodo de cuatro años a mando del CID llevamos a cabo pruebas con drones con las siguientes conclusiones prácticas:

- Se pueden detectar objetos (municiones minas, etc) aunque estos estén ocultos por vegetación empleando cámaras multiespectrales.
- Se pueden detectar minas enterradas cuando el reconocimiento se hace en las horas en las que hay mayor gradiente térmico, especialmente al amanecer.
- Con las cámaras HD en el espectro de luz visible se pueden detectar cables de tracción y otros indicadores de zonas minadas desde alturas entre 15 y 20 metros accediendo a información que no se obtiene desde el suelo.

Las imágenes cedidas para el presente estudio por el Cor Jiménez son de los estudios del CID mencionados en los párrafos anteriores. En ellas se puede observar la comparativa entre la imagen de la cámara HD con la obtenida por el sensor multiespectral (Figura 2).



Figura 2: Comparativa de cámara HD con sensor multiespectral para localizar una caja de munición oculta bajo la vegetación (Fuente: Archivo Cor Jiménez)

En estas imágenes se puede apreciar la gran diferencia existente entre las posibilidades que ofrece el empleo de este tipo de sensores.

Las principales ventajas de estos equipos son que se emplean en gran cantidad de ámbitos, como por ejemplo para la detección de plagas en cultivos, y están ampliamente desarrollados, consiguiendo aparatos de muy reducido tamaño y peso incorporables a una amplísima variedad



de UAV. Además, dado que es una tecnología que se ha utilizado en campos de minas convencionales y probado al de día y de noche, hace que sus resultados sean fácilmente extrapolables al entorno táctico, que es el que resulta de interés para el presente estudio.

Siguiendo las orientaciones tanto de D. Diego Bueno como de la Tte González-Montagut, existen numerosos sensores multiespectrales de aplicación civil que podrían resultar de interés para el reconocimiento de obstáculos enemigos.

Los sensores recomendados para el estudio por parte de los expertos fueron el Parrot Sequoia y el MicaSense RedEdge MX. Según cita en su investigación la Tte González-Montagut, el precio aproximado de los sistemas que se detallarán más adelante, rondan los 3.800€, 5.000€ y 11.000€ respectivamente (González-Montagut Siljeström, 2021).

El sensor Parrot Sequoia (Figura 3), es un sensor empleado en el campo de la agricultura. Según asegura la propia empresa en su canal de YouTube, este sensor puede ser incorporado en cualquier UAV (Parrot, 2016). Esto es así debido a sus reducidas dimensiones (59x41x28 mm) y a su peso de 80g. Este sensor cuenta con una cámara RGB²⁵, un sensor multiespectral y uno de luz solar, el cual trabaja con cuatro bandas espectrales: verde, rojo, borde del rojo e infrarrojo cercano. Las especificaciones técnicas han sido obtenidas del sitio web de senseFly, una empresa de UAV y cámaras para los mismos y pueden encontrarse en el Anexo II: Especificaciones técnicas Parrot Sequoia.



Figura 3: Detalle del sensor Parrot Sequoia (Parrot, 2016)

El sensor Parrot Sequoia se empleó en un estudio realizado por Jasper Baur, Gabriel Steinberg, Alex Nikulin, Kenneth Chiu y Timothy S. de Smet publicado en el año 2020 para localizar minas contra-personal (C/P) del tipo PFM-1, empleadas por el ejército soviético en Afganistán. (Baur, et al., 2020). Las minas mencionadas anteriormente y las municiones de racimo son objetivos complicados, debido a su reducido tamaño, y el riesgo al neutralizarlas o desactivarlas, lo cual supone una gran complicación en las labores de desminado humanitario.

²⁵ Red Green Blue, que hace referencia a los colores primarios. Quiere decir que detecta únicamente ondas del espectro visible.



En el estudio, se emplearon un sensor FLIR Vue Pro-R y un Parrot Sequoia. Se combinó su uso con redes neuronales convolucionales²⁶ para el análisis de las imágenes obtenidas, unido a una aplicación de planificación de misiones para la plataforma aérea llamada Pix4D, que permite además la geolocalización de las minas, como muestra la Figura 4.

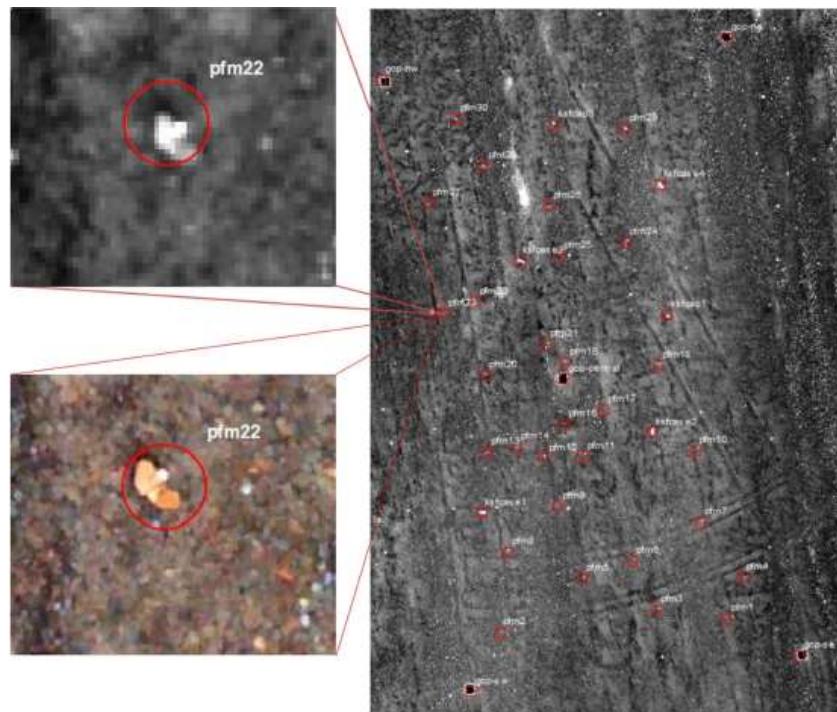


Figura 4: Imagen de las minas geolocalizadas por el sensor utilizado en el experimento (Baur, et al., 2020)

El estudio pretendía determinar cómo se comportaba cada tipo de sensor en diferentes terrenos: hierba, vegetación baja y nieve. Ante los diferentes terrenos y usando cada una de las bandas, se obtuvieron interesantes resultados, con un gran nivel de identificación en hierba y vegetación baja con las bandas RGB, verde y roja principalmente, aunque con peor resultado con nieve. (Figura 5)

²⁶ Este tipo de *machine learning* se basa en una arquitectura similar a las establecidas por las neuronas. Consiste en una serie de nodos que contienen capas de entrada, salida y diferentes filtros. Son particularmente útiles en procesado de imágenes. (IBM Cloud Education, 2020)

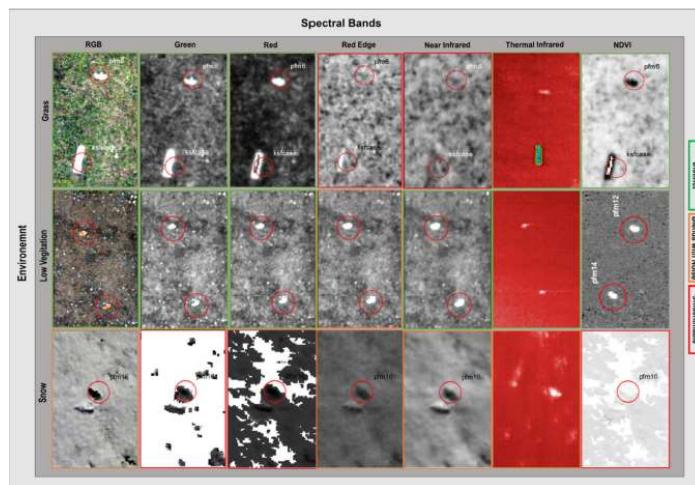


Figura 5: Distinción de las minas en función del tipo de sensor llevado a cabo en el estudio (Baur, et al., 2020).

El estudio se realizó sobre un campo de minas de 10x20 m, con un tiempo de vuelo del UAV de 3 min 30 s. La red neuronal convolucional utilizada identificaba las minas en 1,87 s para un terreno de 200 m²(10x20 m), de manera que, empleando una extrapolación similar a la realizada en el estudio, en identificar todas las minas de este tipo en un terreno de 125x100 m (12.500 m²), tardaría 1 min 57 s²⁷ con un 71,5 % de posibilidades de localizarlas (Baur, et al., 2020).

No obstante, todo ello en las mismas condiciones que el experimento; es decir, habría que probarlo en situaciones de tiempo atmosférico desfavorable y en ambiente nocturno, además de adaptar los medios utilizados al ámbito táctico.

Cabe destacar por último también, que para el estudio se empleó un UAV de uso comercial, el DJI Matrice 600 Pro, de tipo Mini, de masa máxima al despegue de 15 kg. No obstante, a priori, no sería necesario contar con un UAV de tanta capacidad de carga para el tipo de misión que interesa en este trabajo, por lo que, en principio, se podrían realizar pruebas con sistemas tipo Micro para uso militar.

El otro sensor tratado, el MicaSense RedEdge MX (Figura 6), por otro lado, es un sensor ligeramente más grande, de 230g de peso, con unas dimensiones de 87x59x45,4 mm. Este sensor ofrece cinco bandas en lugar de cuatro, de manera que integra las del Parrot Sequoia y una banda más para longitudes de onda cercanas al azul. (González-Montagut Siljeström, 2021) (Detalles técnicos en el Anexo III: Especificaciones técnicas MicaSense RedEdge MX) (senseFly, s.f.).

²⁷ $(1,87\text{s}/200\text{m}) \times 12.500 \text{ m}^2 = 117 \text{ s} = 1 \text{ min } 57 \text{ s.}$



Figura 6: Detalle del sensor Micasense RedEdge MX (González-Montagut Siljeström, 2021)

Según el estudio de la Tte Montagut, este sensor presenta una ventaja sobre el Parrot Sequoia debido a que al realizar reconocimientos de ingenieros de una estructura o de un suelo, un factor de gran importancia a considerar es la humedad del suelo y la posible existencia de corrientes de agua subterráneas; sin embargo, en el caso que nos ocupa, que el sensor sea capaz de detectar o no cursos de agua o presencia de humedad en la tierra, no supone un criterio de tanta importancia en principio. Habría que estudiar realizando pruebas específicas si aporta una ventaja cualitativa importante al reconocer vados²⁸ minados. Podría resultar de interés por lo tanto de aplicación en la Compañía de Operaciones Anfibias del Regimiento de Pontoneros y Especialidades de Ingenieros (RPEI) nº 12. Si se estimase oportuna su inclusión en un programa de experimentación, podría determinarse su interés o no para las secciones de reconocimiento de los batallones de zapadores.

4.1.2. Sensores GPR

Con respecto a los sensores que emplean tecnología GPR, hay estudios realizados en proyectos de desminado y en pruebas realizadas en el ámbito académico en los que se emplea esta tecnología.

En un estudio realizado por Manuel Ricardo Pérez Cerquera, Julián David Colorado Montaño e Iván Mondragón en el año 2017, se implementó una propuesta de sistema de radar GPR en base a un UAV que empleaba tecnología de Radio Definida por Software (SDR) (Figura 7) con el objetivo de reducir en la medida de lo posible el peso y el coste de este tipo de sensores, que son de gran utilidad en este campo, pero por lo general son poco eficientes debido a lo condicionada que se ve, entre otras características, la autonomía del UAV.

²⁸ Punto de un curso de agua por el que se puede cruzar.

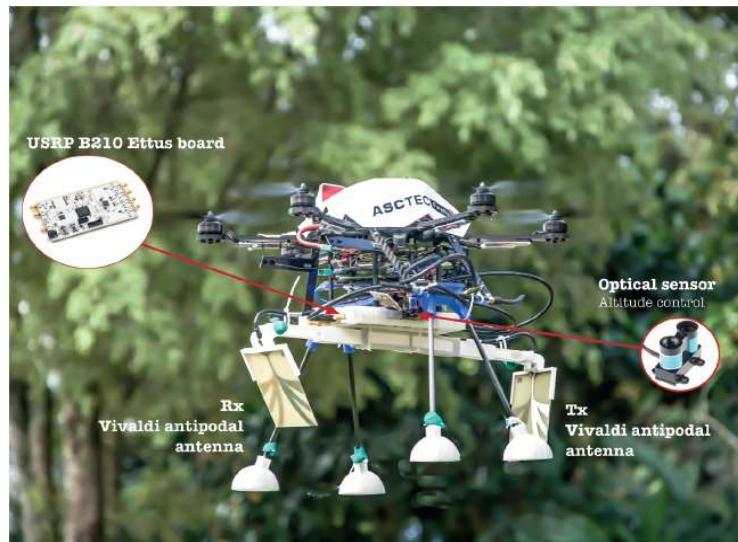


Figura 7: Asc Tec Firefly. UAV equipado con GPR que emplea la metodología SDR (Pérez Cerquera, et al., 2017)

En las pruebas realizadas en dicho estudio, el operador primero establecía el punto de partida del UAV para el escaneo con la aplicación Google Earth y posteriormente fijaba la ruta a seguir por la plataforma.

Una vez realizado todo aquello y ejecutado un simulador para comprobar el estado del sistema, el UAV iniciaba la misión e iba transmitiendo la información a una estación que los procesaba.

En las pruebas se analizaba una zona relativamente pequeña de terreno (no más de 35 m²), en la que había enterrados un artefacto casero en una botella (1), un artefacto completamente metálico (2), un tubo de plástico (3) y dos planchas metálicas de diferentes dimensiones (4 y 5).

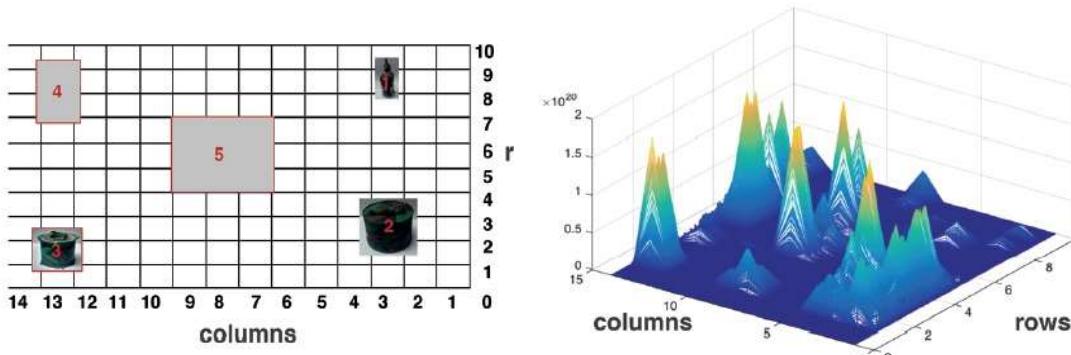


Figura 8: Disposición de los objetos y resultado del escaneo (Pérez Cerquera, et al., 2017)

El resultado del experimento, como puede apreciarse en la Figura 8, fue muy positivo, en el sentido de que el sistema es completamente capaz de detectar anomalías en el terreno debido a la diferencia de densidades entre los objetos enterrados y el suelo.



Según afirma el Cor. Jiménez, el principal problema de los GPR incorporados a una plataforma aérea es la elevada carga de pago, de manera que el empleo de un sistema tipo Micro sería inviable.

Esto supone una desventaja en lo táctico, ya que, la adquisición de sistemas Mini o superior implica el uso de sistemas más pesados, lo cual interfiere de forma notable en la capacidad de despliegue, ya que un sistema de 2 kg no se transporta con la misma facilidad que un sistema de entre 5 y 15 kg. Se puede establecer un criterio de peso máximo en 15Kg, estimado como transportable en mochila por un solo operador.

Por otro lado, para el empleo de un sistema GPR de estas características, se precisa de una herramienta de procesamiento de la información relativamente compleja en comparación con la que se necesita para un sensor infrarrojo o multiespectral, de manera que se dificulta en gran medida su empleo en un ambiente táctico de combate generalizado, especialmente en el reconocimiento de CMAS enemigos.

El Tte Tierno Moreno (véase nota al pie nº 21), otro de los expertos consultados durante la realización de este trabajo, realizó un desarrollo de un prototipo de sistema GPR embarcado en un UAV (Figura 9) con un módulo que combina sensores de posicionamiento IMU (Unidad de Medida Inercial), barómetro y receptor GNSS (Global Navigation Satellite System), lo cual dota al sistema de una gran precisión en la localización de las anomalías del terreno. (Tierno Moreno, 2020)

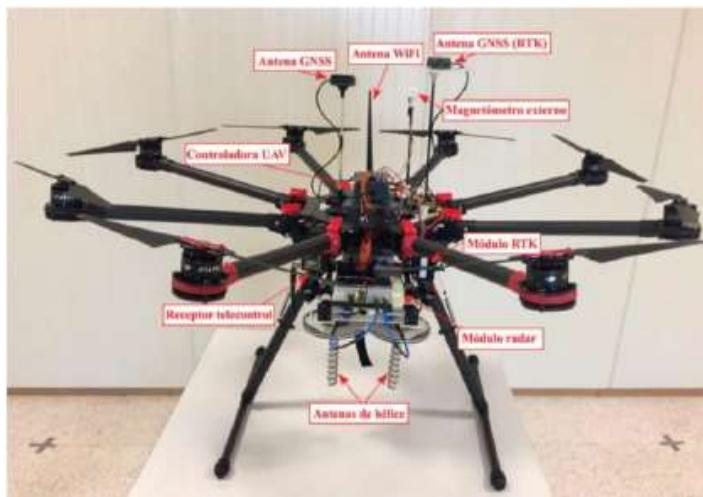


Figura 9: Prototipo implementado en el estudio. (Tierno Moreno, 2020)

Según el Cor Jiménez, tanto este prototipo como los GPR en general, presentan ciertos problemas con suelos con minerales conductores y en suelos arcillosos con alto porcentaje de humedad, ya que la presencia de estos agentes dificulta el correcto funcionamiento del radar. El funcionamiento del GPR es idóneo en terrenos arenosos secos. Estos sistemas, son en términos generales bastante eficaces para localización de anomalías en el subsuelo, pero quizás no sean tan útiles en los reconocimientos superficiales.



4.1.3. LIDAR

El sistema LIDAR (Detección y Establecimiento de Rangos por Luz) según afirma D. Diego Bueno, es un sistema que se basa en la reflexión de los haces láser emitidos por el sensor en los elementos del terreno.

Normalmente, se emplea en labores de fotogrametría y mapeado. Permite también ser empleado en navegación de localización y mapeado simultáneos (SLAM).

El principio de funcionamiento básico de LIDAR en este ámbito es que los haces de luz que emite el sensor se reflejan de forma diferente en el obstáculo que, en el terreno circundante, de manera que pueden apreciarse los cambios en el terreno que produce la presencia de minas u otro obstáculo, como un foso C/C.

Este tipo de sensor podría resultar ser de gran utilidad en determinados casos, ya que ofrece una precisión altísima, y es capaz además de generar un modelo digital del terreno (MDT), muy útil para la explotación de la información.

En el caso de las minas, parece apropiada la realización de pruebas en campos de minas dispersables, y, en general, campos de minas con estas en superficie. El problema principal de este tipo de sensor se encuentra con la presencia de vegetación, ya que el haz de luz rebota en las hojas y oculta lo que se haya debajo (Cardona, et al., 2013).

Sin embargo, es una tecnología que parece adecuada para el mapeo de fosos C/C, ya que, además, permite conocer con gran precisión las características de este: su profundidad, altura del merlón de terraplén, perfil del foso, etc.

Según las orientaciones una vez más de los expertos, el Tte Fernández-Llebrez y la Tte González-Montagut, coincidieron en que lo más apropiado era el estudio del sensor YellowScan Mapper, al cual, además, D. Diego Bueno añadió el DJI Zenmuse L1, que es uno de los que más se emplea en el ámbito civil para levantamientos topográficos y generación de MDT.

El DJI Zenmuse L1 (Figura 10) es un sensor de 930g de peso, que, entre sus capacidades, puede establecer coloraciones en tiempo real de las nubes de puntos que analiza, clasificándolos por distancia o por reflectividad, lo cual, en principio, puede resultar de gran utilidad, ya que la capacidad de explotación de la información en tiempo real supone una ventaja comparativa considerable con respecto a sensores o sistemas completos que carezcan de ella. Cuenta con una precisión de 3cm a 100m sobre el objetivo.



Figura 10: Detalle de DJI Zenmuse L1 (DJI, 2021)



Por otro lado, la marca YellowScan ofrece multitud de soluciones de interés en este ámbito. Dentro de toda la gama que ofrece, el modelo recomendado por los expertos es el modelo Mapper. Este modelo utiliza un láser llamado Livox Horizon, de la compañía Livox, a su vez, propiedad de DJI, igual que el modelo anterior.

El YellowScan Mapper (Figura 11) tiene un peso de 1,5 kg incluyendo la batería. Ofrece unas propiedades similares a las del anterior sensor, aunque ofrece una precisión ligeramente mayor, de 2 cm en lugar de 3cm a 100m. Por el contrario, este sensor tiene un peso notablemente superior, lo cual supone un problema a tener en cuenta por la plataforma aérea empleada para su uso.



Figura 11: Detalle del sensor YellowScan Mapper (YellowScan, 2021)

A modo de conclusión sobre la búsqueda de información realizada en este subcapítulo, podemos decir que los tres tipos de sensores presentan una serie de ventajas y también inconvenientes, que se exponen de forma resumida en el Anexo IV: Tabla resumen comparativa de la capacidad de detección de los sensores.

Aunque cada uno presenta ventajas específicas, no todos se adaptan igual al tipo de misión que se está analizando en este trabajo. Por un lado, los sensores GPR ofrecen una muy alta precisión de localización, tanto de elementos metálicos como plásticos, además, todo ello combinado con sistemas GNSS pueden aportar datos de posición del elemento con un margen de error muy pequeño. Sin embargo, presentan ciertas limitaciones muy a tener en cuenta en este tipo de misiones, como son su relativamente elevado peso, que influirá de manera determinante en la autonomía de la plataforma y en la potencia del motor necesaria; su mayor complejidad de empleo, por el hecho de que el análisis de los datos recibidos de un radar GPR requiere cierto nivel de procesamiento de la información, en detrimento de la necesaria rapidez de explotación de la misma (hay que tener en cuenta que la gran mayoría de los trabajos realizados por unidades de zapadores son de carácter expeditedo); su poca eficiencia para el reconocimiento de un obstáculo completo, ya que, aunque sea capaz de localizar una mina enterrada con mucha precisión, no es tan eficiente en el barrido de un campo de minas completo o en otros obstáculos convencionales tales como los fosos C/C.

No obstante, parece interesante su uso en unidades más especializadas, como las secciones de reconocimiento y desactivación, sobre todo en ambiente no convencional, principalmente para el reconocimiento de Puntos Vulnerables (VP).



Con respecto a los sensores LIDAR, estos presentan un gran nivel de precisión y rapidez a la hora de realizar un MDT, lo cual puede resultar de gran interés como herramienta de apoyo al mando. También presentan una serie de limitaciones importantes a tener en cuenta, como son su relativamente elevado peso o su menor facilidad de despliegue. Así mismo, de la misma manera que parece la manera más precisa y completa de reconocer un obstáculo tipo foso C/C, presenta ciertos inconvenientes con los campos de minas, ya que, con la presencia de vegetación, a priori, encontraría grandes dificultades para determinar los límites del obstáculo. Sería conveniente realizar pruebas al respecto para evaluar si estas limitaciones resultan un impedimento para estos reconocimientos.

Por último, los sensores multiespectrales son una herramienta que, a pesar de presentar ciertas limitaciones, ofrece una fiabilidad relativamente alta para misiones similares, incluso de mayor dificultad, como demuestra el estudio de la Universidad de Binghampton (ver Figura 4).

Basado en las recomendaciones de los expertos consultados y en las conclusiones extraídas en los estudios analizados, estos sensores son los que en principio presentan un mayor grado de aptitud para el desempeño de este tipo de misiones debido principalmente a sus características de bajo peso, interoperabilidad con la gran mayoría de plataformas y facilidad de empleo (no requiere apenas formación específica para su uso).

A pesar de su gran utilidad para delimitar los campos de minas y alambradas, no tiene el mismo grado de aptitud para los fosos C/C; esta carencia se puede suplir con el uso de softwares de fotogrametría, que aunque presentan menor grado de precisión que un sensor LIDAR²⁹, es una técnica muy empleada en el ámbito civil para generación de modelos del terreno en 3D, y supone una opción más viable que los sensores GPR o LIDAR, por la limitación del payload³⁰ máximo admitido en la plataforma aérea.

4.2. PLATAFORMAS AÉREAS

Con respecto a las plataformas aéreas, el objetivo de este punto es realizar una exposición de las que se han estudiado con la finalidad de realizar una propuesta de empleo junto al tipo de sensor seleccionado.

En este punto del trabajo, los datos que van a analizarse son relativamente genéricos, ya que al tratarse de UAVs para uso militar, la mayor parte de las especificaciones técnicas asociadas a estos son de carácter sensible, y, por tanto, no son cedidas por las empresas. De esta manera, la única información de la que se ha dispuesto en la realización de este trabajo ha sido facilitada por personal de la Jefatura de Ingeniería del MALE (JIMALE) y procede de fuentes abiertas.

Los RPAS analizados se van a exponer brevemente según su MTOW, que es una de las principales características empleadas para su diferenciación. Cabe destacar en este punto lo

²⁹ Los sensores LIDAR se suelen emplear (entre otras actividades) en levantamientos topográficos que necesiten de una gran precisión en sus mediciones, como en tareas de edificación, por ejemplo; sin embargo, en el caso analizado, con obtener un modelo del terreno que exponga las dimensiones y forma de un obstáculo C/C, es, *a priori*, suficiente.

³⁰ Capacidad de carga de la plataforma aérea.



mencionado en otros puntos del trabajo: van a considerarse tanto sistemas Micro como Mini, que son doctrinalmente los más apropiados para la realización de este tipo de misiones.

Antes de proceder a su exposición, se debe dar una idea de los requisitos que deben reunir este tipo de sistemas para su empleo táctico. Unos son comunes a todos los RPAS que se emplean a este nivel y otros son específicos para este uso concreto, como las restricciones que impone la necesidad de que tener que incorporar una carga de pago adicional, por ejemplo.

4.2.1. *Requisitos de los RPAS a emplear*

Para el estudio del tipo de plataformas a emplear, se ha realizado una encuesta vía Google Forms a la que se le ha dado difusión en ámbitos del Arma de Ingenieros, como son el Regimiento de Ingenieros nº1 o el Batallón de Zapadores XI principalmente. No obstante, también ha habido participación de personal militar destinado en otras unidades propias del Arma, como en el REI 11. Por otro lado, también se le ha dado difusión en ámbitos centrados puramente en los RPAS, como son la Oficina RPAS de la División de Operaciones del EME o el órgano de plataformas aéreas de la Jefatura de Ingeniería del MALE, cumplimentado por personal civil y militar.

En la citada encuesta han participado un total de noventa y una (91) personas, de las cuales el 95,6% es personal militar. Dentro del personal militar, el grueso de las respuestas ha sido proporcionadas por tenientes coroneles y coroneles (un 56,8% del personal militar), lo cual aporta una visión tanto a nivel táctico como operacional y estratégico.

Además, el 54,9% de los encuestados es personal con experiencia previa en el campo de los RPAS, ya sea en la operación de los sistemas como en su análisis técnico y operativo. Este hecho aporta a los resultados de la encuesta un valor añadido, teniendo en cuenta que al ser un material del que se tiene una experiencia relativamente limitada si se compara con determinados sistemas de armas, el porcentaje de respuestas de personal con experiencia previa en este ámbito es elevado.

Por un lado, se plantea una disyuntiva con el tipo de sistema que se podría emplear atendiendo a su funcionamiento, ya sea una plataforma de ala fija o de ala rotatoria, ya sea monorotor o multirrotor. Según el Gráfico 1, dentro del personal con experiencia previa en este ámbito, existe en principio cierto consenso a este respecto, aunque se aprecia una clara preferencia por la versatilidad de los sistemas de ala rotatoria en detrimento de los de ala fija, a pesar de ofrecer unas excelentes características en misiones de observación y vuelos de seguridad entre otros.

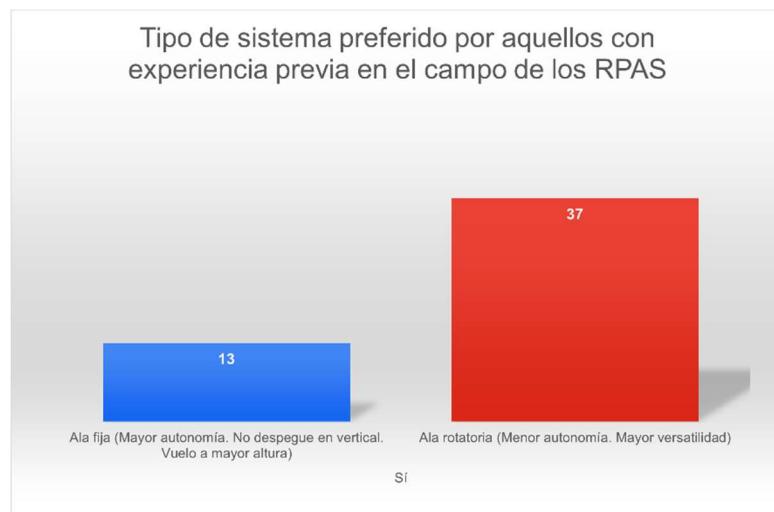


Gráfico 1: Preferencia con respecto al tipo de sistema manifestada por aquellos encuestados con experiencia previa en el ámbito de los RPAS (Fuente: Elaboración propia)

Por lo tanto, el sistema que a priori muestra unas características más apropiadas para el cumplimiento de este tipo de misiones es el de Ala rotatoria.

Por otro lado, con respecto a la clase de la plataforma, existe una mayor división, de manera que entre los sistemas Micro y Mini no se encuentra una preferencia tan clara como en el caso anterior. Si bien es verdad que los Micro son aquellos que han obtenido una mayor puntuación en la encuesta en general, los Mini superan ligeramente en preferencia por parte de militares con experiencia previa en este ámbito³¹.



Gráfico 2: Resultado de la clase más apta según la encuesta realizada (Fuente: Elaboración propia).

³¹ En el Gráfico 2 se ha omitido incluir una respuesta en blanco.



Gráfico 3: Clase de sistema que prefieren aquellos encuestados que han manifestado ser militares con experiencia previa en este ámbito.

De esta manera y a la luz de los resultados obtenidos no se puede establecer una preferencia clara con respecto a la clase de sistema más apropiada para esta tarea. Sin embargo, se pueden extraer otras conclusiones, como, por ejemplo, que el tipo de sistema a emplear debe ser para uso de una unidad de entidad inferior a batallón. Atendiendo a las capacidades de los sistemas, las que ofrecen los de tipo Mini son similares a las de tipo Micro, aunque con mejoras respecto a estos, como una mayor autonomía o capacidad de carga, en detrimento de la capacidad de transporte y despliegue.

Esta consideración afecta a las unidades de zapadores de una forma particular por su propia naturaleza, ya que son unidades muy limitadas por el espacio disponible, ya que, además de transportar armamento y material comunes a unidades de otras especialidades, suelen tener que incluir los lotes de movilidad, contramovilidad y protección. Esto reduce enormemente la capacidad de carga adicional de estas unidades.

Por otro lado, en la encuesta se solicitaba a los participantes que asignasen una puntuación entera entre 1 y 5 a la importancia que se le daba que el sistema tuviese unas determinadas características, siendo 1 “muy poco importante” y 5 “muy importante”. Las prestaciones que se pretendían analizar fueron las siguientes:

- a. Disponer de una autonomía mayor de 1 h
- b. Se pueda transportar por una unidad ligera³².
- c. Disponer de una capacidad de carga de más de 500 g³³.
- d. Disponer de posibilidad de navegación autónoma (navegación por Waypoints).
- e. Ser sencillo de operar y transportar³⁴.

³² Peso menor de 2 kg. Menos de 1 m de diámetro/largo.

³³ Un sensor multiespectral tiene un peso de entre 100-300 g. Un radar GPR más de 1 kg. Un sensor LiDAR entre 1,5 kg y 5 kg.

³⁴ Facilidad en la obtención de licencias y reducida carga logística.



f. Permitir la explotación de la información en tiempo real.

Dentro de los parámetros que se han analizado en esta encuesta, los principales a la hora de establecer qué tipo de aparato es más apto para la realización de este tipo de misiones son la autonomía y la capacidad de carga.

Los demás parámetros analizan otras capacidades que pueden tener estos sistemas, pero que en muchas ocasiones se derivan de los anteriores. El motivo de ello es que, por ejemplo, la capacidad de carga que el sistema sea capaz de transportar influirá notablemente en la facilidad de despliegue del sistema (mayor peso de la carga de pago generalmente implica unos mayores requerimientos logísticos para su transporte y puesta en estación).

Los resultados estadísticos obtenidos de la encuesta acerca de las características fueron los siguientes (Tabla 2):

Tabla 2: Resultados encuesta sobre las características de los aparatos

	a	b	c	d	e	f
Media	4,010989011	3,923076923	4,087912088	4,373626374	4,538461538	4,582417582
Valor más votado	5	5	4	5	5	5
Desviación típica	0,971762494	1,137548722	0,877475567	0,797890993	0,704078473	0,775541876
Suma medias	25,51648352					
Peso relativo característica	0,157192076	0,15374677	0,160206718	0,171403962	0,17786391	0,179586563

Como puede observarse, existen respuestas muy similares para cada una de las características analizadas, resultando con una media superior el parámetro f³⁵. El parámetro que presenta una media menor es el b; no obstante, el valor que más se repite por los encuestados es 5, al contrario que en el c, que hay más personas que le asignan el valor 4.

Los parámetros que presentan tanto una media mayor como una mayor concentración en el valor de las respuestas son el e y el f. A efectos de este estudio, estos dos son parámetros que presentan una gran dificultad de medida, ya que es en la realización de pruebas específicas donde este tipo de características se pueden evaluar de una forma adecuada.

Resulta también interesante que, comparativamente, se prefiere disponer de la posibilidad de navegación autónoma (f) antes que tener una autonomía de más de una hora (a), que presenta además una media similar a que el aparato pueda transportar una carga de pago de más de 500 g. Estas últimas además presentan una media muy cercana a 4, y a pesar de que el valor más preferido por los encuestados ha sido 5, son unas características que los encuestados

³⁵ Permitir la explotación de la información en tiempo real.



entienden importantes, pero relativamente menos que otras características de performance de los sistemas.

No tiene sentido que las conclusiones que pueden obtenerse de esta tabla sirvan en términos cuantitativos para comparar los sistemas, ya que, a efectos de este trabajo, no se han realizado pruebas de ningún tipo con ellos. Sin embargo, sí presenta utilidad a la hora de hacer comparaciones entre ellos con el objetivo de hacer pruebas en un futuro. Es decir, las conclusiones de esta encuesta pueden ser de utilidad a la hora de seleccionar sistemas con los que se hagan pruebas específicas en un futuro, pero no tiene sentido emplearlas para la comparación de los sistemas a priori y designar uno en concreto.

De esta manera, los datos resumidos que pueden obtenerse de esta encuesta son:

- Es de mucha utilidad que un sistema que vaya a ser empleado para reconocimiento de obstáculos tipo tenga la posibilidad de navegación autónoma y sea sencillo de operar y transportar.
- Es ligeramente importante considerar que tenga una autonomía de más de una hora y una capacidad de carga de más de 500g.
- Hay disparidad de opiniones con respecto a si debe poderse transportar por unidades ligeras.

Y las conclusiones que se infieren del análisis de estos datos son:

1. Los sistemas de ala rotatoria son preferidos sobre los de ala fija.
2. Las clases de sistemas preferidas con *Mini* y *Micro*.
3. Dado que es más importante para los encuestados la navegación autónoma que una autonomía tan grande o que una capacidad de carga relativamente alta, se infiere que es preferible un sistema con un MTOW menor que cuente siempre y cuando pueda tener la posibilidad de empleo de navegación autónoma y sea sencillo de operar y transportar.
4. La autonomía y la capacidad de carga, aunque tienen una importancia relativamente alta, parece razonable reducir sus requerimientos para este tipo de misiones. Aun así, para este tipo de reconocimientos es preferible contar con una autonomía y capacidad de carga superior a la que tienen la mayor parte de los sistemas *Micro*.
5. El hecho de que haya una puntuación dispar con respecto al transporte por parte de una unidad ligera puede residir en si el encuestado considera el empleo de vehículos o no para este fin.
6. De los tres puntos anteriores se deduce que el sistema más adecuado para este tipo de misiones es preferible que sea pequeño y tenga características como la navegación autónoma; sin embargo, que tenga una autonomía ligeramente superior a la que presentan la mayor parte de los sistemas *Micro*.

4.2.2. *Micro RPAS*

Los Micro RPAS son un tipo de sistema orientado al empleo por parte de unidades de entidad sección y pelotón.



En la mayor parte de los casos, son plataformas empleadas para realizar labores de vigilancia y seguridad, con el objetivo de conseguir una menor exposición del personal en determinadas tareas, como en el reconocimiento de interiores de edificios³⁶, puntos vulnerables de itinerarios, o en misiones que impliquen una mayor importancia de la sorpresa o el no ser detectado.

Uno de los sistemas más empleados por diferentes ejércitos es el Black Hornet 3 (Figura 12), de la empresa FLIR. Está diseñado, según afirma la propia empresa, “para que lo transporte un soldado a pie en su cinturón” (FLIR, 2021). Está especialmente diseñado para “realizar operaciones encubiertas con mayor seguridad” (FLIR, 2021). Este sistema además ofrece compatibilidad con sistemas de mando y control tipo BMS (Sistema de Gestión de la Batalla). Otra de las ventajas que ofrece, es su sencillo manejo. Por el contrario, tiene una capacidad de carga nula. Está diseñado para misiones más específicas de operaciones especiales.



Figura 12: Detalle de FLIR Black Hornet 3 (FLIR, 2020)

Otro de los sistemas de uso militar que podría resultar de interés es el HUGGIN X1 v3 (versión anterior en la Figura 13), de la empresa Sky-Watch. Una versión anterior de este sistema actualmente está siendo empleada en el RING 1, que es actualmente la única unidad de ingenieros que cuenta con UAVs en dotación. Según afirma el Sgto Peral (operador del sistema), el empleo de este medio está actualmente orientado al mando y control en actividades de instrucción y adiestramiento. Hasta la fecha, si bien se emplea para reconocer puntos vulnerables en misiones de reconocimiento de rutas, no se ha empleado en situaciones de combate generalizado, como es el caso principal analizado en este trabajo.

Una de las limitaciones que tiene este sistema en la actualidad, es que la cámara que transmite en directo es de baja calidad, lo cual limita en gran medida la explotación de la información en tiempo real, de manera que, para obtener imágenes de alta definición, es necesario que el aparato se encuentre estacionado.

Por otro lado, según las lecciones aprendidas extraídas de la propia unidad, a pesar de que en condiciones atmosféricas favorables tiene una autonomía de 25 min, generalmente este tiempo disminuye a 18 min, habiendo sido 22 min la vez que mayor provecho se sacó de la batería. Esto reduce en gran medida la distancia de operación del sistema del lugar a reconocer, ya que se tienen que acercar hasta unos 300 m del objetivo.

³⁶ Para este tipo de cometidos, de hecho, muchos ejércitos emplean sistemas Nano, un subtipo de sistema dentro de los Micro, de menor tamaño aún.



Una ventaja con la que cuenta es la posibilidad de doblarse para facilitar su transporte y su relativamente bajo peso. De la misma manera, existe conocimiento de su uso previo a la adquisición del sistema, lo cual es una ventaja comparativa que ofrece. También incluye una mochila de transporte específica.

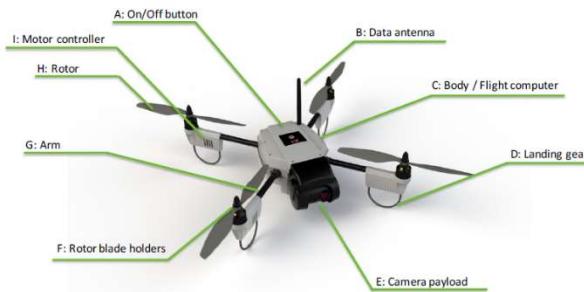


Figura 13: Detalle Sky-Watch HUGGIN X1 v2 (Sky Watch, 2015)

Por último, dentro del grupo de plataformas Micro, se encuentra el sistema PASSER, de la empresa GMV. Al respecto de este sistema existe menos información que sobre los dos anteriores. En parte esto se debe a que de las plataformas anteriores existe conocimiento de versiones previas dentro del propio ET y en países del entorno.

Las características de esta plataforma, en principio, convierten a este sistema en uno muy equilibrado, ya que goza de una autonomía de una hora aproximadamente, lo cual es deseable en misiones de reconocimiento. Además, su peso y dimensiones lo hacen transportable por una unidad ligera y operable en situaciones meteorológicas desfavorables (esto último al contrario que el Black Hornet, por ejemplo).

También, por el mismo motivo, puede ser empleado a mayor distancia del obstáculo, de forma que ofrece una seguridad adicional a la unidad que lo opera.

Según un artículo de la revista online RPAS/DRONES³⁷, un aspecto muy positivo de este sistema es que ofrece características que “se encuentran en drones de mayor tamaño y peso, lo que hace más difícil su transporte y menos ágil su despliegue. Con el Passer UAS se da respuesta a esos requerimientos de prestaciones avanzadas con un sistema compacto, portátil y de despliegue rápido” (Revista RPAS/DRONES, 2019).

Por lo tanto, este sistema ofrece características de plataformas de mayor peso y capacidad combinadas con la facilidad de transporte y despliegue de un RPAS de tipo Micro.

³⁷ Revista especializada en actualidad de RPAS.



Figura 14: Detalle GMV PASSER (Revista RPAS/DRONES, 2019)

En la Tabla 3: Tabla resumen comparativa datos básicos Micro (Fuente: elaboración propia)Tabla 3, que se presenta a continuación, se halla un resumen de los datos básicos correspondientes a los sistemas analizados. Esta tabla es de elaboración propia y tiene como objetivo aportar una visión de conjunto de las características técnicas obtenidas para cada uno de los RPAS.

Tabla 3: Tabla resumen comparativa datos básicos Micro (Fuente: elaboración propia)

Característica / Sistema	BLACK HORNET 3	HUGGIN X1 v3	PASSER
Dimensiones	168x123 mm	760x560x260 mm	600X500 mm
Peso UAV	33 g (Nano) (Ala rotatoria)	940 g (Micro) (Ala rotatoria)	2 kg (Micro) (Ala rotatoria)
Peso sistema completo	1,3 kg	2,3 kg	-
Altura de operación	-	3.000 m (Máximo)	-
Sensores que incorpora	2 EO	X1 dual mount: térmico + HD	3 EO // 2 EO + 1 IR
Alcance radio	2 km	2 km	6km
Autonomía	25 min	25 min (Con una sola cámara)	60 min
Capacidad de carga	-	-	-
Tiempo de despliegue	30-120 s	< 5 min	~ 5 min
¿Payload reemplazable?	Sí	Sí	Sí
¿Transportable por una unidad a pie?	Sí	Sí	Sí
¿Posibilidad de navegación autónoma?	Sí	Sí	Sí

4.2.3. Mini RPAS

Los sistemas Mini, como se hace referencia previamente en este documento, son sistemas enfocados a la explotación por parte de unidades de entidad compañía o batallón. No obstante,



es una clasificación que presenta ciertos problemas, ya que las misiones de una compañía pueden diferir en gran medida de las que tiene una unidad de entidad batallón o grupo.

Uno de los sistemas de clase Mini que resulta de interés es el Vector/Scorpion, de la Quantum Systems (Figura 15). La principal característica de este sistema es que tiene una configuración de ala fija (Vector) y otra de ala rotatoria (Scorpion). Esto presenta cierta flexibilidad adicional para otro tipo de misiones que tengan que desempeñar las unidades de zapadores. Este sistema incorpora también una mochila para ser transportado por una unidad a pie. Además, la versión de ala fija también dispone de aterrizaje y despegue en vertical. Otra de las características de este modelo es que incluye la posibilidad de emplearlo como dron cautivo, con un cable de 100 m, lo cual aumenta considerablemente su autonomía.



Figura 15: Vistas de las diferentes configuraciones del sistema Vector/Scorpion. Fuente: (Quantum Systems, 2021).

Otro de los sistemas de esta clase que puede ser de utilidad es el Alpha 800 (Figura 16), de la empresa Alpha Unmanned Systems. Este modelo ha sido ya empleado por la Unidad Militar de Emergencias (UME) en el pasado, con buenos resultados en tareas de búsqueda. Es de un peso superior a los demás sistemas (en torno a 15 kg), lo cual hace que su facilidad de despliegue se vea reducida con respecto a los ejemplos anteriores. Por su propia naturaleza, es un sistema diseñado para transportar pesadas cargas de pago (hasta 3 kg), como sensores LIDAR. Tiene una autonomía de más de 2 h y posibilidad de navegación autónoma por GNSS (Alpha Unmanned Systems, 2021).



Figura 16: Vista del Alpha 800. Fuente (Alpha Unmanned Systems, 2021).



En la Tabla 4 se muestran resumidas las características principales de los dos sistemas Mini estudiados en este trabajo.

Tabla 4: Tabla comparativa sistemas Mini estudiados (Fuente: Elaboración propia)

Característica / Sistema	SCORPION	ALPHA 800
Dimensiones	1,63x1,37 m	1,7x1,8 m
Peso sistema completo	5 kg	14 kg
Altura de operación	-	-
Sensores que incorpora	HD40-XV EO 800 g & HD40-LV EO/IR 550 g & NightHawk2 EO/IR 320 g	EO/IR estabilizada (gimbaled) Distintas configuraciones.
Alcance radio	15 / 25 km	30 km
Autonomía	35 min	150 min
Capacidad de carga	-	3 kg
Tiempo de despliegue	-	-
¿Payload reemplazable?	Sí	Sí
¿Transportable por una unidad a pie?	Sí	No
¿Posibilidad de navegación autónoma?	Sí	Sí

4.2.4. Conclusiones plataformas aéreas

Del análisis de las características técnicas de los sistemas comparado con los requisitos obtenidos en la encuesta se obtienen las siguientes conclusiones:

1. La mayor parte de los sistemas *Micro* presentan carencias en cuanto a la autonomía y capacidad de carga.
2. La mayor parte de los sistemas *Mini* están diseñados para un despliegue con unas ciertas posibilidades logísticas, al contrario que las misiones expeditas de las secciones de zapadores.
3. Se deben realizar pruebas específicas de los sistemas para este tipo de cometidos, observando su comportamiento con el empleo de los sensores multiespectrales como el Parrot Sequoia.
4. De las plataformas estudiadas en el marco de este trabajo, se recomienda la realización de pruebas específicas con el GMV PASSER, ya que presenta unas características de operación muy similares a las de modelos *Mini* ligeros en cuanto a autonomía y capacidad de carga sin perder las ventajas de despliegue que ofrece su bajo MTOW.
5. Se recomienda realizar pruebas así mismo con las versiones de Quantum Systems Vector/Scorpion, ya que presentan grandes ventajas en cuanto a flexibilidad, y teniendo en cuenta que, a pesar de ser una plataforma de ala fija, tiene posibilidad de despegue y aterrizaje en vertical, puede ocurrir que este modelo en concreto tenga un buen desempeño para este tipo de operaciones.



4.3. SOFTWARE A EMPLEAR POR LAS PLATAFORMAS

Como se ha expuesto en el punto 4.1.1, ya se han empleado diferentes softwares en el ámbito del desminado humanitario que podría ser extrapolables al reconocimiento de campos de minas y otros obstáculos tipo.

Existen diferentes soluciones que pueden realizar el análisis de distintos patrones durante el vuelo del sistema que, entrenados de forma adecuada, pueden obtener como resultado un rápido reconocimiento visual del obstáculo. Este componente no es estrictamente necesario en el sentido de que el procesamiento puede realizarse sin softwares de inteligencia artificial; sin embargo, facilita en gran medida la tarea, agilizando considerablemente el procesado de las imágenes.

En este punto existen dos soluciones a considerar: elaborar un software propio o emplear otros algoritmos ya pre-entrenados.

Uno de los algoritmos de Deep Learning que está considerado de los más rápidos para este tipo de cometidos, según asegura en su Trabajo de Fin de Grado Juan Carlos De Alfonso Juliá, es el Single Shot Detector (SSD), que utiliza una Region Proposal Network con el objetivo de encontrar regiones de interés que descomponer en sub-imágenes que pasarán los diferentes filtros de clasificación, asignando una etiqueta a los resultados encontrados por el algoritmo (Juliá, 2020).

Este algoritmo expuesto antes está entrenado para reconocer personas; no obstante, se debería estudiar la posible aplicación de búsqueda de minas, fosos o alambradas.

La otra solución que expone en su trabajo es lo que se denomina Transfer Learning, que consiste en emplear un software ya pre-entrenado al que se le pueden añadir imágenes nuevas con las que el algoritmo cree nuevas categorías para el reconocimiento (Juliá, 2020).

Este tipo de tecnología se ha empleado previamente en desminado humanitario. Según asegura un estudio realizado por C. Castiblanco, J. Rodriguez, I. Mondragon, C. Parra, y J. Colorado en la Escuela de Ingeniería de la Universidad Pontificia Javeriana de Bogotá, confeccionando un sistema de similares características a las de la propuesta de estudio que realiza este trabajo, se emplea un algoritmo de reconocimiento que obtiene un acierto del 80% en imágenes obtenidas por un dron volando a 1 m de la superficie (Castiblanco, et al., 2014).

Según afirma en la confección de su trabajo, son necesarias en torno a 80-100 imágenes por categoría para que el algoritmo sea capaz de reconocerlo (Juliá, 2020).

Esto presenta un problema, ya que existe una gran diferencia entre, por ejemplo, las minas contra-carro de las contra-personal, y dentro de estas dos grandes categorías, enormes diferencias entre las propias minas. Ello atendiendo solamente a minas, pero considerando alambradas (rápida y ordinaria) y fosos C/C, eleva enormemente el volumen de datos que el sistema tiene que almacenar para poder identificar el obstáculo.



Una posible solución para ello es emplear imágenes no de la mina en concreto, sino del obstáculo en su conjunto, y observar si el sistema es capaz de reconocer las leyes de formación de los campos de minas, y hacer lo propio con los CMAS de minas dispersables.

Otra posible solución a plantear en este punto es disponer del mismo algoritmo, pero entrenado para los obstáculos tipo de un enemigo en concreto, de manera que en función de la zona de conflicto en la que se emplee, se carguen unos datos u otros con los que el software compare las imágenes obtenidas desde el dron.

Esto además abre la puerta a que se pueda utilizar este mismo sistema de una forma razonablemente eficiente contra obstáculos establecidos por la insurgencia, en el marco de conflictos de un importante componente asimétrico.

Por otro lado, al margen de la inteligencia artificial, un software de gran interés en este ámbito es el de fotogrametría. La fotogrametría, como se explica en el punto 4.1 es una técnica empleada en levantamientos topográficos que emplea fotografías obtenidas desde diferentes perspectivas con los que obtiene un modelo digital del terreno en tres dimensiones.

El funcionamiento de esta técnica sigue los mismos principios que el ojo humano: dos imágenes obtenidas desde dos puntos diferentes son las que dotan de profundidad y perspectiva a la visión. El empleo de este tipo de programas de procesado de imágenes permite economizar en gran medida la capacidad de carga del dron, ya que se evita el uso de sistemas LIDAR, de elevado peso en estas tareas.

No se pretende señalar en este trabajo que los programas de fotogrametría sustituyan en todos los casos a los sensores LIDAR; sin embargo, para este tipo concreto de misiones, no se necesita de la precisión de un sensor de ese tipo teniendo en cuenta que es suficiente la realización de un modelo 3D como herramienta de apoyo a la decisión.

Programas que pueden investigarse en esta línea son el Pix4D, que es el que se emplea en el estudio expuesto en el punto 4.1.1, que permitía geolocalizar las minas dispersables. Otros programas que considerar, según recomendación de D. Guillermo Acero Espina³⁸, uno de los expertos consultados en la confección de este trabajo, son COLMAP, Autodesk y Trimble.

³⁸ Guillermo Acero Espina es graduado y máster en Ingeniería Geomática y Topografía, con experiencia en la empresa de drones Aerotools.





5. CONCLUSIONES

El objetivo general del trabajo, según se refleja al principio de este, es realizar un estudio sobre si es posible a priori incorporar RPAS para misiones de reconocimiento de obstáculos, y si estos pudiesen suponer una mejora con respecto a los procedimientos que existen actualmente para este tipo de cometidos.

En este documento, se ha tratado de ir obteniendo conclusiones acerca de los componentes que puede o debe incorporar una plataforma aérea diseñada para realizar este tipo de misiones, de manera que puedan establecerse unas directrices iniciales con respecto al tipo de tecnología que se debe considerar para la realización de pruebas específicas.

Los componentes analizados en el marco de este trabajo a tal efecto son: la carga de pago, la plataforma aérea propiamente dicha y el software a emplear por el sistema.

Con respecto a la carga de pago, se ha concluido que a priori, según diferentes pruebas realizadas en el campo del desminado humanitario que se han referenciado en este trabajo, los sensores del tipo multiespectral son los que presentan una mayor versatilidad y adecuación tanto para reconocimiento de campos de minas como de alambradas, tetraedros, erizos, etc.

Otra posible línea de estudio es incorporar sistemas de carga de pago intercambiable que le permitan adaptarse a los diferentes escenarios, por ejemplo, emplear un georradar para detección de IEDs enterrados. No obstante, uno de los principales problemas que pueden derivarse de ello es el volumen de material a transportar por la unidad, ya que, frecuentemente, se traduce en una importante pérdida de eficiencia a la hora de desempeñar los reconocimientos.

Sobre las plataformas aéreas a emplear, según los resultados de las encuestas y las entrevistas realizadas en el desarrollo de este trabajo, se concluye que la clase más apropiada para acometer este tipo de misiones son las plataformas de clase I de ala rotatoria; sin embargo, no parece estar claro en este punto si lo más apropiado para ello son sistemas de hasta 2 kg de MTOW (Micro) o hasta 15 kg (Mini). En principio, existen plataformas para uso militar de ambos tipos que podrían considerarse para acometer este tipo de misiones. En este trabajo, se propone como posible punto de partida a futuras investigaciones, estudiar sistemas como el PASSER, que incorpora características de despliegue propias de sistemas Micro con características de autonomía y capacidad de carga de Mini, lo cual lo convierte en una opción de la que, potencialmente, se pueden obtener resultados interesantes derivados de la realización de pruebas específicas.

Sobre el software que puede incorporar, se prevé que el uso de inteligencia artificial, pese a ser en principio de gran utilidad para el operador, necesite de un volumen de datos que pueda resultar excesivo, de manera que convierta al sistema en uno mucho menos eficiente. Para solucionarlo, se propone realizar la carga de imágenes de obstáculos tipo en conjunto, no de cada elemento concreto. Esto, no obstante, puede resultar de utilidad para reconocer alambradas, determinados fosos C/C y campos de minas con ley de formación, pero de escasa utilidad en campos de minas dispersables y en modalidades alternativas de fosos C/C, para lo que se podrían cargar diferentes archivos en función del escenario y del obstáculo que vaya a reconocerse.



Como último apunte con respecto al software, se recomienda el uso de programas de fotogrametría como principal complemento al sensor empleado, de manera que se pueda integrar en un modelo en tres dimensiones el reconocimiento del obstáculo, lo cual, además de ser de gran utilidad, sobre todo, en el reconocimiento de un foso C/C, puede aportar información de una forma precisa y visual que facilite al mando la toma de decisiones.

De forma preliminar, y sin llegar a un elevado nivel de detalle (ya que es esto precisamente lo que debe determinarse en las pruebas que se realicen), el empleo de RPAS para reconocimiento de obstáculos permite el despliegue de una unidad a retaguardia de un abrigo realizando simultáneamente un vuelo de reconocimiento reduciendo considerablemente el grado de exposición de la unidad.

El vuelo que realice la aeronave puede realizarse en espiral o en zig-zag a recorriendo el fondo del obstáculo un determinado número de iteraciones (que es uno de los principales datos a determinar a la hora de realizar una apertura de brechas) entre otros posibles procedimientos.

A este respecto, hay que considerar la autonomía y el alcance de la plataforma empleada, sumado a las capacidades del enemigo en materia de perturbación de los RPAS. Actualmente está muy desarrollada las tecnologías tipo Drone-Hunter para plataformas de uso civil, que consiguen inhibir una determinada frecuencia de enlace para cada uno de los sistemas.

Es difícil determinar la eficacia de los inhibidores actuales en el ámbito militar en general y en el del reconocimiento de obstáculos en particular, ya que, el obstáculo a reconocer puede encontrarse, según el tipo de armamento que lo cubra, a varios kilómetros de la posición defensiva del enemigo, lo cual puede reducir considerablemente sus capacidades de inhibición. Una forma obvia de evitar el éxito de inhibidores hostiles (jammers) es el empleo de navegación autónoma.

En resumen, resulta claro que, potencialmente, el uso de este tipo de medios incorpora numerosas ventajas con respecto a los procedimientos actuales que suponen un riesgo para el combatiente, al realizar una actuación directa sobre una zona potencialmente peligrosa, por ejemplo, para determinar los límites del CMAS, o a la aproximación encubierta a obstáculos controlados por el enemigo. Quedan por realizar las pruebas de campo que demuestren la viabilidad de aplicar estos medios a los procedimientos de reconocimiento actuales y las implicaciones que se deriven en lo relativo al entrenamiento, adquisición y sostenimiento de los medios basados en UAV/RPV.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alpha Unmanned Systems, (2021). **Alpha 800**. [En línea] Available at: <https://alphaunmannedsystems.com/alpha-800-uav/?lang=es> [Último acceso: 5 diciembre 2021].
- Baur, J. y otros, (2020). **Applying Deep Learning to Automate UAV-Based**, Binghampton, NY: Binghampton University.
- Cardona, L., Jiménez, J. & Vanegas, N., (2013). **LANDMINE DETECTION TECHNOLOGIES TO FACE THE DEMINING PROBLEM IN ANTIOQUIA**. s.l.:Universidad Nacional de Colombia.
- Castiblanco, C. y otros, (2014). **Air Drones for Explosive Landmines Detection**. Bogotá: Universidad Pontificia Javeriana.
- Comisión Europea, (2020). **Mine Kafon Drone: An Unmanned Airborne Demining System**. [En línea] Available at: <https://cordis.europa.eu/article/id/422614-clearing-landmines-with-the-help-of-drones> [Último acceso: 15 septiembre 2021].
- DJI, (2021). **Zemmuse L1**. [En línea] Available at: <https://www.dji.com/es/zenmuse-l1> [Último acceso: 20 Octubre 2021].
- El País, (2011). **Nitrato de Amonio, el ingrediente favorito de los terroristas**. El País, 23 Julio.
- Estado Mayor de la Defensa, (2015). **Concepto Conjunto RPAS**, Madrid: s.n.
- Estado Mayor del Ejército, (1994). **Sección de Zapadores Mecanizada. MI4-401**. s.l.:s.n.
- FLIR, (2020). **Black Hornet**, Wilsonville, OR: FLIR.
- FLIR, (2021). **Black Hornet PRS**. [En línea] Available at: <https://www.flir.es/products/black-hornet-prs/> [Último acceso: 25 Octubre 2021].
- González-Montagut Siljeström, C., (2021). **Sistema integrado en un UAV para el reconocimiento técnico de ingenieros**. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Zaragoza
- IBM Cloud Education, (2020). **Convolutional Neural Networks**. [En línea] Available at: [Convolutional Neural Networks](#) [Último acceso: 22 Octubre 2021].
- Jacobsen, D. M., (2002). **UNMANNED AERIAL VEHICLES - THE KEY TO EFFECTIVE SITUATIONAL**, Newport, RI: s.n.
- Juliá, J. C. D. A., (2020). **Dron de vuelo autónomo con reconocimiento basado en inteligencia artificial**. Trabajo de Fin de Grado. Madrid: Universidad Complutense.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina, (2019). **Planeamiento de las obstrucciones. PD4-024**. s.l.:s.n.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina, (2020). **Reconocimiento de Ingenieros. MP-403**. s.l.:s.n.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina, (2020). **Táctica y Logística de Ingenieros. AGM-CM-013**. s.l.:s.n.
- Meier, P., (2016). **FloodList**. [En línea] Available at: <https://floodlist.com/europe/using-drones-locate-landmines-bosnia-floods> [Último acceso: 18 Octubre 2021].
- Ministerio de Defensa, (2016). **Monografías del SOPT. Proyecto Rapaz y tecnologías anti-RPAS**, Madrid: s.n.
- Ministerio de Defensa, (2019). **Fuerza 2035**, Madrid: s.n.
- Ministerio de la Presidencia y para las Administraciones Territoriales, (2016). **Reglamento de Circulación Aérea Operativa**. Boletín Oficial del Estado, 2 diciembre, p. 49.
- Parrot, (2016). **YouTube**. [En línea] Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=SaztuWuDEsg&t=4s> [Último acceso: 21 Octubre 2021].
- Pérez Cerquera, M. R., Colorado Montaño, J. D. & Mondragón, I., (2017). **UAV for Landmine Detection Using SDR-Based GPR**. s.l.:s.n.
- Prisacariu, V., (2017). **THE HISTORY AND THE EVOLUTION OF UAVs FROM THE**



BEGINNING TILL THE 70s. *Journal of Defense Resources Management (JoDRM)*.

- Quantum Systems, (2021). **Quantum Systems**. [En línea]
Available at: <https://www.quantum-systems.com>
[Último acceso: 4 diciembre 2021].
- Revista RPAS/DRONES, (2019). **AUREA AVIONICS y GMV Presentan el Passer UAS en SecuDrone**. [En línea]
Available at: <https://www.rpas-drones.com/aurea-avionics-y-gmv-presentan-el-passers-uas-en-secudrone/>
[Último acceso: 26 Octubre 2021].
- senseFly, s.f. **MicaSense RedEdge-MX**. [En línea]
Available at: <https://www.sensefly.com/es/camera/micasense-rededge-mx/>
[Último acceso: 21 Octubre 2021].
- Sky Watch, (2015). **HUGGIN X1 USER MANUAL**. s.l.:Sky Watch.
- Steward, K., (2019). *Papel importante de la espectrometría de masas en la identificación de explosivos en el medio ambiente*. Redes Tecnológicas.
- Tierno Moreno, J. P., (2020). **PROTOTIPO DE GPR EMBARCADO EN UAV. RADAR UWB (ULTRA WIDE BAND). APLICACIÓN SAR**, s.l.: s.n.
- YellowScan, (2021). **YellowScan Mapper**. [En línea]
Available at: <https://www.yellowscan-lidar.com/products/mapper-3/>
[Último acceso: 20 Octubre 2021].



ANEXOS



Anexo I. Propuestas de carga de pago a emplear

Sensores/Experto	Cor Jiménez	Tte Fdez-Llebrez	Tte Tierno	Tte González-Montagut	Sgtº Peral	Sr. Bueno
Sensor Multiespectral	X	X		X	X	X
Sensor LIDAR	X	X		X		X
GPR			X			X
Sensor termográfico				X		
Modelo 3D	X	X		X	X	
Detector de metales						X
Detector de explosivo		X				



Anexo II: Especificaciones técnicas Parrot Sequoia

Sensor

Multispectral sensor + RGB camera

Multispectral sensor

4-band

RGB resolution

16 MP, 4,608 x 3,456 px

Single-band resolution

1.2 MP, 1,280 x 960 px

Multispectral bands

Green (550nm ± 40nm)

Red (660nm ± 40nm)

Red edge (735nm ± 10nm)

Near infrared (790nm ± 40nm)

Single-band shutter

Global

RGB shutter

Rolling

RGB FOV

HFOV: 64°

VFOV: 50°

DFOV: 74°

Single-band FOV

HFOV: 62°

VFOV: 49°

DFOV: 74°

Calibration

Automatic radiometric calibration

Support RTK/PPK

Yes



Anexo III: Especificaciones técnicas MicaSense RedEdge MX

Sensor

Sensor multiespectral de cinco bandas

Sensor multiespectral

5 bandas

Resolución monobanda

1,2 MP, 1280 x 960 píxeles (4:3)

Bandas multiespectrales

Azul (centro: 475 nm, ancho de banda: 20 nm) Verde (centro: 560 nm, ancho de banda: 20 nm) Rojo (centro: 668 nm, ancho de banda: 10 nm) Borde rojo (centro: 717 nm, ancho de banda: 10 nm) Infrarrojo cercano (centro: 840 nm, ancho de banda: 40 nm)

Obturador monobanda

Global

FOV monobanda

HFOV: 47° VFOV: 37° DFOV: 58°

Calibración

DLS 2 y panel de reflectancia calibrado incluido

Temperatura operativa

0°C-60°C

Balance de blancos

Automático

Rango ISO

Automático

Support RTK/PPK

No



Anexo IV: Tabla resumen comparativa de la capacidad de detección de los sensores

Sensor/Obstáculo	CMAS	FOSO C/C	ALAMBRADA
Multiespectral	<p>Gran capacidad de detección de minas en superficie.</p> <p>Buena capacidad de detección de minas enterradas con gradiente térmico elevado.</p> <p>Facilidad de operación.</p> <p>Peso reducido.</p> <p>Rapidez de empleo.</p>	<p>La diferente temperatura de la tierra del merlón con respecto de la de la superficie hace que en el espectro no visible se puedan apreciar con claridad.</p>	<p>Al igual que con las minas, detecta los componentes extraños en el terreno de manera eficaz.</p>
GPR	<p>Gran precisión de localización.</p> <p>Utilidad en combate generalizado (CMAS) y en ambiente asimétrico, para localización de IEDs.</p>	<p>Puede detectar la tierra removida por el cambio de densidad que supone.</p>	<p>Se demuestra muy eficaz y preciso para localizar elementos extraños en el terreno por el cambio de densidad.</p>
LIDAR	<p>Alta precisión.</p> <p>Genera un MDT, muy útil su empleo como apoyo para conformar un Superponible de Avenidas y Corredores (SAC) y el Superponible de Obstáculos Combinados (SOC).</p> <p>Puede resultar de utilidad en CMAS sin ley de formación.</p> <p>Problema con la vegetación si oculta la mina.</p> <p>Peso elevado.</p>	<p>Gran precisión</p> <p>Rapidez de transmisión de la información.</p> <p>Empleo avalado en el uso civil que se hace de este tipo de sensores.</p>	<p>Al igual que con las minas, es capaz de detectar estos elementos con el láser, supone un problema la presencia de vegetación circundante.</p>



ANEXO V: Encuesta “Estudio RPAS para reconocimiento de obstáculos”.

Estudio RPAS para reconocimiento de obstáculos

Este breve cuestionario pretende realizar un sondeo acerca del tipo de plataforma más apropiada para la realización de este tipo de cometidos por parte de las unidades de zapadores. Esta encuesta forma parte del Trabajo de Fin de Grado de un CAC ING, y los datos obtenidos se emplearán exclusivamente para el análisis llevado a cabo en el Trabajo.

Encuesta plataforma a emplear

El reconocimiento de obstáculos enemigos, como campos de minas o fosos contra-carro, es una de las misiones más críticas que llevan a cabo las unidades de zapadores. Actualmente incorpora unos procedimientos que implican un enorme grado de exposición de las secciones, haciéndolas muy vulnerables durante el reconocimiento, ante lo cual, se pretende dar una propuesta de solución con el empleo de RPAS. Esta encuesta pretende determinar qué tipo de plataforma es la más apropiada para dicho cometido.

1. ¿Es militar o civil?

Marca solo un óvalo.

Militar

Civil



2 En caso de que haya marcado "militar" en la pregunta anterior, seleccione empleo

Marca solo un óvalo.

- Oficial General
- Coronel/Capitán de Navío
- Teniente Coronel/Capitán de Fragata
- Comandante/Capitán de Corbeta
- Capitán/Teniente de Navío
- Teniente/Alférez de Navío
- Alférez/Alférez de Fragata
- Suboficial Mayor
- Subteniente
- Brigada
- Sargento Primero
- Sargento
- Cabo Mayor
- Cabo Primero
- Cabo
- Soldado

3. ¿Tiene algún tipo de experiencia en el ámbito de los RPAS?

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No



4. ¿Qué clase de medio le parece más apropiado para este tipo de misiones?

Marca solo un óvalo.

- Micro (Hasta 2 kg. Autonomía de hasta 1h aprox. Empleo para unidades tipo sección o inferior)
- Mini (Hasta 15 kg. Mayor autonomía y capacidad de carga que Micro, aunque menor facilidad de despliegue)
- Small (Hasta 150 kg. Para empleo de Bon/Rgto)
- Clase II (Hasta 600 kg. Empleado en beneficio de unidad tipo Brigada)
- Clase III (Más de 600 kg. Uso estratégico/operacional)

5. ¿Qué tipo de sistema le parece más adecuado?

Marca solo un óvalo.

- Ala fija (Mayor autonomía. No despegue en vertical. Vuelo a mayor altura)
- Ala rotatoria (Menor autonomía. Mayor versatilidad)

6. Señale del 1 al 5 qué importancia le da a disponer de una AUTONOMÍA mayor de 1 h

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nada importante Muy Importante



7. Señale del 1 al 5 qué importancia le da a que se pueda transportar por una unidad ligera (peso menor de 2 kg. Menos de 1 m de diámetro/largo)

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nada importante Muy Importante

8. Señale del 1 al 5 qué importancia le da a que disponga de una capacidad de carga de más de 500 g (Un sensor multiespectral tiene un peso de entre 100-300 g. Un radar GPR más de 1 kg. Un sensor LiDAR entre 1,5 kg y 5 kg)

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nada importante Muy Importante

9. Señale del 1 al 5 qué importancia le da a que disponga de posibilidad de NAVEGACIÓN AUTÓNOMA (navegación por Waypoints)

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nada importante Muy Importante

10. Señale del 1 al 5 qué importancia le da a que sea sencillo de operar y transportar

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nada Importante Muy importante



11. Señale del 1 al 5 qué importancia le da a que permita la EXPLORACIÓN DE LA INFORMACIÓN EN TIEMPO REAL

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nada importante Muy importante



12. Observaciones adicionales sobre las plataformas



ANEXO VI: Resultados de la encuesta

Marca temporal	¿Es militar o civil?	Si militar, seleccione empleo	Experiencia en el ámbito de los RPAS	Clase de medio	Tipo de sistema	AUTONOMÍA mayor de 1 h	Transporte por una unidad ligera	Capacidad de carga de más de 500 g	Navegación autónoma	Sencillez de operar y transportar	Explotación de la información en tiempo real
10/26/2021 9:44:33	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	Sí	Micro	Ala rotatoria	5	5	4	5	5	5
10/26/2021 12:38:25	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	Sí	Small	Ala rotatoria	5	3	4	5	5	5
10/26/2021 12:41:56	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	Sí	Mini	Ala rotatoria	4	2	5	5	4	5
10/26/2021 13:04:47	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Small	Ala rotatoria	4	4	4	5	4	3
10/26/2021 13:14:08	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Small	Ala fija	5	3	5	5	5	5
10/26/2021 13:21:10	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	Sí	Mini	Ala fija	4	2	3	5	5	3
10/26/2021 13:36:04	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Micro	Ala rotatoria	4	5	3	4	4	5
10/26/2021 13:41:55	Militar	Coronel/Capitán de Navío	Sí	Mini	Ala rotatoria	4	4	3	3	5	3
10/26/2021 13:50:28	Militar	Comandante/Capitán de Corbeta	Sí	Mini	Ala rotatoria	5	2	5	4	5	5
10/26/2021 14:48:56	Militar	Coronel/Capitán de Navío	Sí	Mini	Ala rotatoria	3	5	5	5	5	4
10/26/2021 15:52:46	Militar	Sargento	Sí	Micro	Ala rotatoria	5	5	4	5	5	5
10/26/2021 15:53:22	Militar	Teniente/Alférez de Navío	No	Micro	Ala rotatoria	3	4	3	4	4	3
10/26/2021 15:53:43	Militar	Capitán/Teniente de Navío	Sí	Mini	Ala rotatoria	5	5	5	4	4	4
10/26/2021 15:54:10	Militar	Teniente/Alférez de Navío	No	Micro	Ala rotatoria	4	4	4	2	5	5
10/26/2021 15:56:51	Militar	Sargento Primero	No	Mini	Ala rotatoria	5	3	5	5	5	5
10/26/2021 16:01:25	Militar	Brigada	No	Micro	Ala rotatoria	5	5	4	4	5	5



Marca temporal	¿Es militar o civil?	Si militar, seleccione empleo	Experiencia en el ámbito de los RPAS	Clase de medio	Tipo de sistema	AUTONOMÍA mayor de 1 h	Transporte por una unidad ligera	Capacidad de carga de más de 500 g	Navegación autónoma	Sencillez de operar y transportar	Explotación de la información en tiempo real
10/26/2021 16:06:13	Militar	Sargento	Sí	Micro	Ala rotatoria	3	5	3	5	5	5
10/26/2021 16:18:32	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Micro	Ala rotatoria	5	5	3	4	4	5
10/26/2021 16:19:17	Militar	Sargento	No	Mini	Ala fija	5	5	4	5	5	3
10/26/2021 16:20:37	Militar	Coronel/Capitán de Navío	Sí		Ala fija	5	3	4	5	3	5
10/26/2021 16:30:14	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Mini	Ala fija	5	5	5	5	5	5
10/26/2021 16:31:27	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	Sí	Micro	Ala rotatoria	3	4	5	4	3	4
10/26/2021 16:39:06	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Clase II	Ala rotatoria	5	3	2	5	5	5
10/26/2021 16:42:09	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Mini	Ala fija	5	3	4	3	5	5
10/26/2021 16:42:29	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	Sí	Micro	Ala rotatoria	2	5	4	4	5	5
10/26/2021 16:44:44	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Micro	Ala rotatoria	2	4	3	4	5	5
10/26/2021 16:45:32	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Clase II	Ala fija	5	5	5	5	5	5
10/26/2021 16:52:03	Militar	Coronel/Capitán de Navío	Sí	Micro	Ala rotatoria	3	4	5	5	4	5
10/26/2021 16:59:21	Militar	Coronel/Capitán de Navío	Sí	Mini	Ala fija	5	3	5	5	5	5
10/26/2021 17:02:49	Militar	Coronel/Capitán de Navío	No	Micro	Ala rotatoria	4	5	4	5	5	5
10/26/2021 17:06:53	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	Sí	Small	Ala fija	5	3	4	4	5	5
10/26/2021 17:21:45	Militar	Coronel/Capitán de Navío	Sí	Small	Ala fija	5	5	5	4	5	5

Estudio de empleo de RPAS en los procedimientos de reconocimiento de obstáculos

Francisco Javier Rodríguez-Monteverde Jiménez



Marca temporal	¿Es militar o civil?	Si militar, seleccione empleo	Experiencia en el ámbito de los RPAS	Clase de medio	Tipo de sistema	AUTONOMÍA mayor de 1 h	Transporte por una unidad ligera	Capacidad de carga de más de 500 g	Navegación autónoma	Sencillez de operar y transportar	Explotación de la información en tiempo real
10/26/2021 17:28:15	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Small	Ala rotatoria	3	2	4	4	5	5
10/26/2021 17:30:15	Militar	Comandante/Capitán de Corbeta	No	Small	Ala rotatoria	5	5	5	5	5	5
10/26/2021 17:30:59	Militar	Coronel/Capitán de Navío	Sí	Clase II	Ala fija	4	4	5	5	5	5
10/26/2021 17:35:15	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Mini	Ala rotatoria	5	5	5	5	5	5
10/26/2021 17:37:46	Militar	Coronel/Capitán de Navío	Sí	Micro	Ala rotatoria	4	2	2	3	4	4
10/26/2021 17:39:51	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Micro	Ala rotatoria	3	5	5	5	5	5
10/26/2021 17:51:41	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	Sí	Micro	Ala rotatoria	2	5	3	4	5	5
10/26/2021 17:53:01	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	Sí	Small	Ala rotatoria	4	4	5	5	4	4
10/26/2021 18:10:27	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Micro	Ala rotatoria	4	3	4	5	4	5
10/26/2021 18:15:37	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Mini	Ala rotatoria	2	3	5	2	3	4
10/26/2021 18:33:28	Militar	Coronel/Capitán de Navío	Sí	Small	Ala fija	3	3	5	5	3	2
10/26/2021 19:09:56	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Mini	Ala rotatoria	5	2	4	5	5	5
10/26/2021 19:15:34	Militar	Comandante/Capitán de Corbeta	Sí	Small	Ala rotatoria	5	5	5	5	3	5
10/26/2021 19:26:40	Militar	Comandante/Capitán de Corbeta	No	Micro	Ala fija	5	4	4	5	4	4
10/26/2021 19:57:40	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Micro	Ala rotatoria	3	5	4	4	4	5
10/26/2021 20:02:09	Militar	Comandante/Capitán de Corbeta	Sí	Micro	Ala rotatoria	4	2	2	4	5	5



Marca temporal	¿Es militar o civil?	Si militar, seleccione empleo	Experiencia en el ámbito de los RPAS	Clase de medio	Tipo de sistema	AUTONOMÍA mayor de 1 h	Transporte por una unidad ligera	Capacidad de carga de más de 500 g	Navegación autónoma	Sencillez de operar y transportar	Explotación de la información en tiempo real
10/26/2021 21:03:17	Militar	Comandante/Capitán de Corbeta	Sí	Mini	Ala rotatoria	3	3	5	5	5	5
10/26/2021 21:12:44	Militar	Capitán/Teniente de Navío	Sí	Small	Ala rotatoria	2	2	4	4	2	5
10/26/2021 21:29:31	Militar	Comandante/Capitán de Corbeta	No	Mini	Ala rotatoria	4	5	5	5	4	5
10/26/2021 21:33:38	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Small	Ala fija	5	5	5	5	4	5
10/26/2021 21:34:14	Militar	Comandante/Capitán de Corbeta	No	Micro	Ala rotatoria	5	4	3	3	5	5
10/26/2021 22:19:50	Militar	Sargento Primero	Sí	Micro	Ala rotatoria	3	5	3	4	5	5
10/26/2021 22:21:18	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	Sí	Mini	Ala rotatoria	5	5	4	5	5	5
10/26/2021 22:33:03	Militar	Comandante/Capitán de Corbeta	No	Small	Ala rotatoria	5	3	4	4	5	5
10/26/2021 22:35:49	Militar	Comandante/Capitán de Corbeta	Sí	Small	Ala rotatoria	5	2	5	4	5	5
10/26/2021 22:57:42	Militar	Coronel/Capitán de Navío	Sí	Mini	Ala rotatoria	4	4	5	4	3	5
10/27/2021 6:49:02	Militar	Comandante/Capitán de Corbeta	Sí	Mini	Ala rotatoria	2	4	5	3	5	5
10/27/2021 8:22:56	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Mini	Ala fija	4	3	5	5	5	4
10/27/2021 8:23:01	Militar	Comandante/Capitán de Corbeta	No	Mini	Ala rotatoria	4	4	3	5	5	5
10/27/2021 9:14:49	Militar	Sargento Primero	Sí	Small	Ala fija	5	5	3	4	4	3
10/27/2021 10:29:26	Militar	Sargento	Sí	Micro	Ala rotatoria	4	5	4	3	4	4
10/27/2021 10:38:01	Militar	Sargento	Sí	Mini	Ala rotatoria	4	4	3	5	3	5
10/27/2021 10:40:00	Militar	Sargento	Sí	Micro	Ala rotatoria	3	5	5	5	5	5
10/27/2021 10:42:43	Militar	Sargento	No	Micro	Ala fija	3	4	2	5	5	5
10/27/2021 10:43:10	Militar	Teniente/Alférez de Navío	Sí	Micro	Ala rotatoria	4	5	4	5	4	3



Marca temporal	¿Es militar o civil?	Si militar, seleccione empleo	Experiencia en el ámbito de los RPAS	Clase de medio	Tipo de sistema	AUTONOMÍA mayor de 1 h	Transporte por una unidad ligera	Capacidad de carga de más de 500 g	Navegación autónoma	Sencillez de operar y transportar	Explotación de la información en tiempo real
10/27/2021 15:31:51	Militar	Teniente/Alférez de Navío	Sí	Small	Ala rotatoria	5	3	3	4	4	3
10/27/2021 15:58:08	Militar	Teniente/Alférez de Navío	Sí	Mini	Ala fija	4	4	4	4	4	5
10/27/2021 16:09:59	Militar	Teniente/Alférez de Navío	Sí	Micro	Ala fija	5	4	3	4	4	4
10/27/2021 16:19:58	Militar	Comandante/Capitán de Corbeta	No	Micro	Ala rotatoria	5	5	4	4	5	5
10/27/2021 18:43:02	Militar	Comandante/Capitán de Corbeta	Sí	Mini	Ala fija	5	2	5	5	5	4
10/27/2021 19:18:22	Civil		Sí	Micro	Ala fija	2	5	4	5	5	5
10/27/2021 23:06:38	Militar	Sargento	Sí	Micro	Ala rotatoria	4	5	2	5	5	5
10/29/2021 9:18:48	Civil		Sí	Mini	Ala rotatoria	4	4	4	3	5	5
10/29/2021 14:08:00	Civil		Sí	Mini	Ala rotatoria	5	4	4	5	5	3
10/30/2021 15:44:52	Militar	Teniente/Alférez de Navío	Sí	Mini	Ala rotatoria	4	1	5	2	5	5
11/1/2021 11:05:59	Militar	Teniente/Alférez de Navío	No	Micro	Ala rotatoria	3	5	4	3	5	5
11/10/2021 21:59:02	Militar	Coronel/Capitán de Navío	No	Micro	Ala rotatoria	3	4	4	3	5	5
11/10/2021 22:01:39	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	No	Mini	Ala rotatoria	3	4	4	4	5	4
11/10/2021 22:05:11	Militar	Coronel/Capitán de Navío	Sí	Clase II	Ala fija	4	1	4	4	3	3
11/10/2021 22:18:04	Militar	Coronel/Capitán de Navío	No	Small	Ala rotatoria	4	2	4	5	5	5
11/10/2021 23:28:12	Militar	Coronel/Capitán de Navío	No	Mini	Ala rotatoria	5	3	5	4	4	2
11/11/2021 8:07:03	Militar	Oficial General	Sí	Mini	Ala rotatoria	4	3	4	5	5	5
11/11/2021 14:05:44	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	Sí	Micro	Ala rotatoria	3	5	4	5	5	5
11/11/2021 15:28:52	Militar	Oficial General	No	Micro	Ala rotatoria	3	5	3	4	5	5
11/11/2021 19:16:33	Militar	Coronel/Capitán de Navío	No	Clase II	Ala rotatoria	4	4	5	5	5	5



Marca temporal	¿Es militar o civil?	Si militar, seleccione empleo	Experiencia en el ámbito de los RPAS	Clase de medio	Tipo de sistema	AUTONOMÍA mayor de 1 h	Transporte por una unidad ligera	Capacidad de carga de más de 500 g	Navegación autónoma	Sencillez de operar y transportar	Explotación de la información en tiempo real
11/12/2021 10:06:47	Militar	Teniente Coronel/Capitán de Fragata	Sí	Mini	Ala rotatoria	4	5	4	5	4	5
11/14/2021 10:08:09	Militar	Coronel/Capitán de Navío	No	Mini	Ala rotatoria	4	5	5	4	5	5
11/14/2021 17:40:59	Militar	Coronel/Capitán de Navío	Sí	Mini	Ala rotatoria	4	5	4	5	4	5
11/19/2021 20:18:42	Civil	Coronel/Capitán de Navío	No	Micro	Ala rotatoria	2	5	5	5	5	5



Las observaciones adicionales realizadas por los encuestados son las siguientes:

1. La P/L añadida debe poder conectarse para transmitir señal a la GCS en tiempo real o esperar a terminar misión de vuelo. Más pequeño más difícil detección.
2. Información basada en experiencia con RPAS cartográfico, no de observación.
3. Es importante la posibilidad de explotación inmediata por pequeñas unidades, la plataforma debe ser fácil de poner en servicio, ligera y con capacidad de navegación autónoma para que el operador se dedique primordialmente a explotar la información en tiempo real. El sensor fundamental es la cámara multiespectral.
4. Muy interesante para el Arma de ingenieros y casi imprescindible para sus reconocimientos.
5. Hay que definir la misión antes de mostrar una preferencia por la clase de RPAS.
6. Interesante contar con diferentes modelos para diferentes cometidos/misiones.
7. Es preciso pensar en su mantenimiento y eso solo es posible a nivel Brigada o superior. La carga útil y su autonomía son claves.
8. Es fundamental disponer de más de un tipo de RPAS. Cada uno tiene su aplicación y utilidad en las diferentes U,s desplegadas en un T.O.
9. Importante el modo de transmisión de la información 24/7 y capacidad de reconocimiento y vuelo en cualquier condición meteorológica.
10. Un RPAS multirrotor permite, aparte de reconocimiento de obstáculos, reconocer estructuras verticales, puentes y otros tipos de instalaciones, además de tener, al igual que un sistema de ala fija, capacidad de levantamiento digital del terreno por fotogrametría.
11. El reconocimiento de obstáculos en general no requiere de explotación en tiempo real. Respecto a la sencillez de operación, teniendo en cuenta que se trata de una unidad de Ingenieros, no debería ser un problema, pero si es un problema, grande, la sencillez de mantenimiento.
12. Elementos muy útiles para inteligencia de Ingenieros a través de las Secciones de Reconocimiento de Ingenieros de la Cia,s de Apoyo de los Bon de Zapadores.
13. La burocracia, licencias y permisos son menores si la nave, son de pequeño tamaño y la posibilidad de volar en cualquier momento es importante.
14. Algo útil, que funcione y tenga utilidad práctica.
15. Hay que diferenciar las necesidades para el planeamiento de una operación y las necesidades de una unidad que está en el terreno.
16. Existe la posibilidad de ser ALA FIJA y despegue vertical. Ejemplos: Aeroenvironment Quantix, Wintra One, etc.
17. Es preferible algo pequeño y de despliegue rápido a cargas útiles muy pesadas que restan autonomía.
18. Deberían tener unas capacidades semejantes a las requeridas para la adquisición de objetivos para artillería, y de ser posible, por razones logísticas y de adiestramiento,



debería tratarse de la misma plataforma, con posibilidad de portar diferentes cargas útiles, en función de la misión y la situación táctica.

19. Yo veo el mayor problema en la transmisión en tiempo real de datos y el envío de órdenes para cambiar los parámetros de búsqueda de los sensores. De dirigir el dron desde control remoto en tierra, ni hablamos. Se necesita un entorno limpio de interferencias electromagnéticas, en cuyo caso es factible la transmisión, o un sistema de aprovechamiento inmediato, en 30 - 40 mn tras la obtención, para su procesamiento en la central. Ayuda a esta última opción las propias características de las misiones de zapadores, ya que un obstáculo, del tipo que sea, no es algo que se pueda retirar o poner, habitualmente, en ese escaso lapso de tiempo.
20. Que las unidades de primera línea puedan adquirir y explotar de inmediato la información sin ser detectada (RPAS ligeros), me parece vital, además de poder transmitirla a niveles superiores.



ANEXO VII: Guion empleado entrevistas a expertos

1. ¿Cuáles son las principales características técnicas del dron que se deben de tener en cuenta para llevar a cabo reconocimiento de obstáculos?
2. ¿Cuáles son los sensores que *a priori* parecen presentar un mayor grado de utilidad para la detección de minas?
3. ¿Cree que es más importante la detección individual de las minas o que el sistema sea capaz de reconocer el obstáculo en su conjunto?
4. ¿Cuáles son los principales problemas que se encuentran al operar los sistemas Micro y Mini que se encuentran en servicio actualmente?
5. ¿Considera necesario que el sistema pueda intercambiar cargas de pago?