



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Sistema integrado en un UAV para el
reconocimiento técnico de ingenieros.

Autor

D.A.C de Ingenieros
Doña Cristina González-Montagut Siljeström

Director/es

Director académico: Doctora Doña María Dolores Peláez Coca
Director militar: Capitán Don Javier López Valle

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
Año 2020

Agradecimientos

Quiero agradecer la dedicación constante de todos los profesores de la Academia General Militar que han hecho posible mi formación, tanto en valores como en conocimientos técnicos.

Especial agradecimiento para mí Director Académico, Dra. Dña. Mariola Peláez Coca, por el continuo apoyo mostrado en sus tutorías y por confiar en mí para sacar adelante este Trabajo Fin de Grado. Quiero destacar su motivación y cercanía, que me proporcionaron calma y confianza en este periodo de formación.

Así mismo, agradecer al Centro Universitario de la Defensa la formación impartida durante estos duros años para conseguir mi objetivo y poder en el futuro servir a España como oficial en las Unidades del Ejército de Tierra.

También me gustaría tener un reconocimiento de gratitud para:

- El Capitán D. Javier López Valle, director militar y jefe de compañía durante mis prácticas externas en el Regimiento de Especialidades nº11, por todas sus enseñanzas, buen trato y apoyo recibido.
- El Sargento 1º Alfonso Pérez, Soldado Jaime Vargas y al resto de suboficiales y tropa pertenecientes a la 1º Compañía del Batallón de Castrametación, así como a todo el cuadro de expertos que tan buena disposición tuvieron en todo momento hacia mí.
- El Coronel del Ejército del Aire, D. Carlos Bernardo Anaya, Jefe de la Base de Aérea de Maticán, por recibirme varias veces y ofrecerme toda la información y asesoramiento de la Escuela de UAS de la Base y al Comandante. D. Luis Sandoval, Jefe de la Escuela, por su buena disposición y amabilidad al abrirme los ojos en este mundo tan apasionante y a la vez tan desconocido, resolviendo todas mis dudas.

No obstante, no me gustaría acabar mis agradecimientos sin dedicarle unas palabras a mi familia. En especial a mis padres, mi pilar fundamental. Gracias por aguantar estos duros años de Academia, este reto no hubiera sido posible sin vuestra ayuda, manteniéndome firme en momentos complicados y aceptando siempre mis decisiones.

Mis amigos, mis compañeros, mi familia militar, a todas y cada una de esas personas que creyeron en mí.

A todos ellos, muchas gracias.

Resumen

La evolución rápida de la tecnología ha permitido utilizar los UAV como una herramienta cotidiana de trabajo. Un ejemplo de esta revolución es que en un futuro cercano la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, prevé que un tercio de las aeronaves militares de uso operativo serán no tripuladas.

Al principio, se consideró una herramienta para captar imágenes, pero ha pasado a utilizarse en múltiples ámbitos profesionales en temas tan diversos como entregas de carga, seguridad, agricultura de precisión, inspección de instalaciones, gestión en la construcción, protección civil, salvamento marítimo o transporte de mercancías entre otros. Desarrollando así, un papel fundamental en la vida militar por la ventaja táctica, operacional y estratégica que aporta.

En las Unidades de Ingenieros, la utilización de estos medios es vital debido a que pueden operar en zonas remotas peligrosas, de forma activa o pasiva, para la adquisición de información enviando imágenes en tiempo real que alimenta la inteligencia y sirvan de asesoramiento en la toma de decisiones del puesto de Mando.

Para conseguir la información precisa de estos reconocimientos es necesario un sistema que permita su obtención de manera óptima. Uno de los objetivos de este trabajo es la selección de aquellos sensores que cubran las necesidades de la misión en las Unidades de Ingenieros. Los sensores seleccionados fueron: sensor multispectral, permite observar radiaciones invisibles al ojo humano, sensor termográfico, la cual crea imágenes gracias al calor desprendido por los cuerpos, y el sistema Lidar, para generar imágenes en 3D del terreno, aumentando así las capacidades de las Unidades de Ingenieros.

Estos sensores acoplados a un Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV - Unmanned Aerial Vehicle) reduciría el riesgo del personal al poder detectar la amenaza con antelación. El sistema UAV más sensor, permitiría la observación de puntos sensibles, sin arriesgar vidas humanas, contribuyendo al logro de objetivos a nivel táctico, operacional o estratégicos. Todas estas ventajas permiten que se incremente la velocidad con la que se cumple la misión, logrando realizar el ciclo OODA, observe, orient, decide, act, más rápido que el oponente, obteniendo así una clara ventaja.

Uno de los riesgos de seguridad en las Unidades de Ingenieros es la de sufrir una explosión de artefactos explosivos en rutas, por ello es fundamental integrar e incorporar estos sistemas (UAV más sensor) que permitirán minimizar dicho riesgo y una mayor flexibilidad operativa.

Para la selección del sensor y el UAV más adecuados a las necesidades de la unidad, se siguió un procedimiento analítico jerárquico (AHP) cuyos resultados recomiendan la utilización por parte de las unidades del UAV Alpha800. Gracias a este vehículo e incorporando el sensor seleccionado, se consiguen tres beneficios:

- Se estudiará el terreno para la reconstrucción y habilitación de vías de comunicación.
- Se obtendrá capacidad de apoyo al despliegue mediante el levantamiento topográfico para la construcción de campamentos y fortificaciones.
- Estudio del terreno para el restablecimiento de servicios esenciales (aguadas y servicios eléctricos) o de vías de ferrocarriles, es decir, actividades propias de un reconocimiento de ingenieros.

Abstract

Thanks to the fast evolution of technology UAV are used as a daily working tool. An example of this revolution is that, the United States' Air Force foresees that in a near future, one third of the military aircraft in operational use will be unmanned.

At the beginning, the UAV, was only used to capture images, but it has evolved with time. Now it used in multiple professional fields such as, cargo deliveries, security, precision agriculture, facilities inspection, construction management, civil protection, maritime rescue or transport. It has developed a crucial role in military life due to the tactical, operational and strategic advantage it provides.

UAV are very useful and important in the Engineering Units since they can operate in remote dangerous areas, actively or passively, to acquire information by sending images in real time that feed intelligence and serve as advice in decision-making in the scheme commander.

In order to obtain the precise information of these recognitions and meet the engineers 'mission, it is necessary a sensors' system, in which this study is focused on. The selected sensors were three: the multispectral camera, allows to observe radiation to the human eye; a thermographic sensor, which creates images thanks to the heat given off by the bodies and; the Lidar system, to generate 3D images, thus increasing the capabilities of the Engineering Units.

These sensors coupled to an UAV reduce the risk of personnel by being able to detect the threat, for example, the observation of hot spot, without risking human lives, contributing to the achievement of objectives at a tactical, operational or strategic level. All this support increases the speed to accomplish the mission, achieving the OODA, observe, orient decide and act, cycle faster than the opponent. Therefore, it creates a huge advantage.

In the Engineering Units, it is essential to integrate and incorporate these Unmanned Aerial Systems that allow a greater flexibility with less explosion risk.

After the AHP study, the use of the Alpha800 units was concluded, facilitating mobility support. Thanks to this device and incorporating the selected system, there will be three benefits:

- The terrain will be studied for the reconstruction and habilitation of communication routes.
- The capacity to support the deployment through the topographic survey for the construction of camps and fortifications.
- The terrain for the restoration of essential services (water and electrical services) or railroad tracks, that is, activities typical of an engineering recognition.

Índice

Agradecimientos	I
Resumen	III
Lista de Tablas.....	III
Lista de Imágenes	III
Lista de Gráficos.....	IV
Glosario	V
1. Introducción.....	1
2. Objetivos y alcance	2
3. Reconocimiento de ingenieros.	2
3.1 Orígenes de la aviación no tripulada	4
4. Necesidades de una Unidad de Ingenieros	5
5. Estado del arte	7
6. Estudio del sistema óptimo para reconocimientos técnicos de ingenieros. ...	8
7. Estudio del UAV óptimo.	14
7.1 Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)	18
7.2 Esquema del modelo AHP	19
7.3 Elección de los criterios seleccionados	19
7.4 Importancia de los criterios	20
7.5 Matiz comparación por pares.....	21
7.6 Comparación de las alternativas frente a los criterios seleccionados	22
7.7 Cálculo de la matriz de vectores promedio de los criterios con su ponderación propia.	24
7.8 Alpha800.....	24
8. Implementación del sistema para un reconocimiento de ingenieros en un UAV.	25
8.1 Aviación no tripulada en las Fuerzas Armadas (FAS).....	25
8.2 Ser piloto en España.....	26
8.3 Licencias y cursos	27
9. Líneas futuras	27
10. Conclusiones.....	28
11. Bibliografía.....	29
12. Anexos.....	33
12.1 Anexo I. Ordenes de reconocimientos técnicos de ingenieros	33
12.2 Anexo II Entrevistas al cuadro de expertos	38
12.3 Anexo III, Fotografías de la Campaña Antártica cedidas por el Soldado D. Jaime Vargas Sánchez.....	42
12.4 Anexo IV, Cuadro de Expertos, personal entrevistado.....	44
12.5 Anexo V, Resultados de la encuesta acerca del tipo de sensor	45
12.6 Anexo VI, ejemplos de los sensores multiespectral.	46

12.7	Anexo VII, Ejemplos de sensores cámaras térmicas	47
12.8	Anexo VIII, Ejemplos Sistemas LIDAR.....	48
12.9	Anexo IX, Ventajas e inconvenientes del Geodrone.....	49
12.10	Anexo X, resultado de la pregunta acerca de los criterios para un UAV.....	50

Lista de Tablas

Tabla 1: Resultado de la encuesta para la selección del sensor.....	8
Tabla 2: Marcas seleccionadas por los expertos, para cada tipo de sensor	14
Tabla 3: Resumen de las especificaciones de los UAS seleccionados	15
Tabla 4: Resumen de las especificaciones de los UAS seleccionados	16
Tabla 5: Análisis DAFO del Geodrone	
Tabla 6: Resumen de las especificaciones de los UAS seleccionados	16
Tabla 7: Análisis DAFO del Geodrone	17
Tabla 9: Escala fundamental de comparación por pares. Fuente: Saaty (1980).....	19
Tabla 10: Grado de importancia seleccionado por el cuadro de expertos	20
Tabla 11: Matriz comparación por pares	21
Tabla 12: Fórmulas para comprobar la consistencia, fuente: victoryepes.blogs.upv.es.	21
Tabla 13: λ_{max} , Para el cálculo del Índice de Consistencia.....	21
Tabla 14: Índice Aleatorio (RI), fuente: victoryepes.blogs.upv.es.....	22
Tabla 15: Porcentajes máximos del Ratio de consistencia.	22
Tabla 16: Resultado de la consistencia.....	22
Tabla 17: Comparación de alternativas frente a la autonomía	22
Tabla 18: Comparación de alternativas frente al tamaño	23
Tabla 19: Comparación de alternativas frente al alcance	23
Tabla 20: Comparación de las alternativas frente al diseño	23
Tabla 21: Comparación de las alternativas con su carga útil	23
Tabla 22: Matriz de los vectores promedio y de la ponderación.....	24
Tabla 23: Cursos anuales según tipo UAS	27
Tabla 24: Tipos de licencias según la clase de UAS, fuente GRUEMA, grupo de escuelas de Matacán	27
Tabla 25: Criterios relevantes según expertos	50
Tabla 26: Criterios relevantes.....	50

Lista de Imágenes

Imagen 1: Parrot Sequoia [14].....	9
Imagen 2: MicaSense MX, [17].	10
Imagen 3: MicaSense Mx Dual [17].....	10
Imagen 4: Flir Boson [23].	12
Imagen 5: Flir Duo Vue [24].	12
Imagen 6: Flir Vue Pro, [26].	12
Imagen 7: LeddarTech Vu8 [28].	13
Imagen 8: YellowScan Mapper, [30].	13
Imagen 9: GEODRONE, [31].	14
Imagen 10: RAVEN RQ11B, [34].	15
Imagen 11: HUGINN -X1, [35].	15
Imagen 12: ALPHA800, [38].	15
Imagen 13: Capitán acompañado de un científico en la Campaña Antártica.....	42
Imagen 14: UAV de la expedición	43
Imagen 15: Equipo de la expedición manejando el UAV	43
Imagen 16: Ejemplo de un campo de cultivo con el Parrot Sequoia, fuente: agcdrone.com.....	46
Imagen 17: Ejemplo de un río con el MicaSense RedEdge MX Dual, fuente: médium.com	46

Imagen 18: Ejemplo de imagen generada con el Flir Boson, fuente youtube Group Grets 47

Imagen 19: Imagen generada con el sensor Flir Duo Vue, fuente: bitcom.es 47

Imagen 20: Ejemplo de la imagen obtenida con el Flir Vue Pro, ffuente: fotoaerea.com 47

Imagen 21: Resultado de la imagen de un drone portando el LeddarTech, [29]..... 48

Imagen 22: Imagen generada por el Sistema Lidar de YellowScan Mapper, fuente: pangripta geomatika 48

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Conjunto de UAS y partes que lo forman. 1

Gráfico 2: Conjunto de UAS 1

Gráfico 3: Clases según tipo de UAS 7

Gráfico 4: Resultado del grado de importancia de los criterios 20

Glosario

AGL: Altitud Sobre el Nivel del Terreno.
AHP: Proceso de Análisis Jerárquico.
AOI: Area Of Interest.
B.A.: Base Aérea
BCAM: Batallón de Caminos.
BCAS: Batallón de Castrametación.
BZ VII: Batallón de Zapadores VII.
CIA: Compañía.
C-IED: Contra Artefactos Explosivos.
CIM: Centro Internacional de Desminado.
DGAM: Dirección General de Armamento y Material.
EM: Establecimiento militar.
EOD: Explosive Ordnance Disposal.
FOV: Campo de visión.
GCS: Gran Control Station.
GPS: Global Positioning System.
GRUEMA: Grupo de Escuelas de Matacán.
GSD: Ground Sample Distance.
HALE: High Altitude Long Endurance.
I+D: Investigación y Desarrollo.
ISTAR: Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance.
JING: Jefe de Ingenieros.
MALE: Medium Altitude Long Endurance.
MDS: Modelo Digital de Superficie.
MINISDEF: Ministerio de Defensa.
NETD: Noise Equivalent Temperature Difference.
OODA: Observe, Orient, Decide, Act.
PAB: Plan de Adiestramiento Básico.
P.I.: Plan de Instrucción.
REI 11: Regimiento de Especialidades de Ingenieros nº11.
RGB: Red, Green and Blue.
RPAS: Remote Pilot Aircraft System.
UAS: Unmanned Aerial System.
UAV: Unmanned Aerial Vehicle.
UCAS: Unmanned Combat Aerial System.
VTOL: Vertical Take Off and Landing.
ZO: Zona de Operaciones.

1. Introducción

Vivimos en una época de constante evolución tanto por parte de la sociedad como de la tecnología. Si algo se encuentra estancado, pronto vendrán y lo cambiarán. La Guerra Fría tuvo grandes consecuencias negativas, sin embargo, entre 1945 y 1989 hubo importantes progresiones tecnológicas, como son el desarrollo del helicóptero MIL ML-24 HIND [1], con capacidad para cargar munición pesada de artillería y misiles, y la creación del primer teléfono móvil en 1983 [1]. Otro claro ejemplo de avance tecnológico en épocas de crisis es la Crisis del 2008, la cual provocó una mejora en la eficacia de las empresas [2], o la misma pandemia que estamos sufriendo ahora mismo, el COVID-19 que está provocando una revolución considerable de la tecnología enfocada a evitar la propagación del virus, mascarillas más eficientes, filtros específicos en los sistemas de renovación de aire... Todo es cíclico y evolutivo y esta es una característica favorable de la tecnología, cuando hay presupuesto todo se puede adaptar a las necesidades que se buscan.

Sin embargo, una tecnología del futuro es la aplicación de las aeronaves no tripuladas y su adaptación en las actividades cotidianas. En este trabajo se estudiará su aplicación para la mejora de la operatividad de las Unidades de Ingenieros.

El aumento de la popularidad de las plataformas de vehículos aéreos no tripulados, en aplicaciones militares, civiles y de ocio implicó un rápido avance tecnológico y una adaptación a las actividades requeridas por las mismas [3]. Existen numerosas finalidades y eso provocó un aumento de formas para denominar a dichas plataformas:

- UAS. Se refiere al sistema aéreo no tripulado [4].
- RPAS. Que en el mundo militar significa, del inglés Remoted Pilot Aerial System, esta definición implica que el sistema no es autónomo¹. En el caso de España, el termino RPAS fue igualmente incorporado y adoptado en las regulaciones nacionales a través de la Ley 18/2014² [4] [5].
- UAV. Referencia literal del vehículo no tripulado, Unmanned Aerial Vehicle [4].
- UCAS. Del inglés, Unmanned Combat Aerial System. Se refiere a RPAS de combate, un caza sin piloto dentro [4].
- Dron o Drone (zángano o zumbido en inglés). Es el término más coloquial. Suele referirse a los RPAS más pequeños [4].



Gráfico 1: Conjunto de UAS y partes que lo forman.

¹Para volar depende de un control remoto el cual es operado por un humano.

²Entró en vigor el 15 de octubre del 2014, artículos 50 y 51.

En el gráfico de la izquierda se observa el sistema global es el UAS, dentro de él se encuentran los RPAS, los sistemas autónomos, y los aeromodelos³, y en el de la derecha se muestran las partes de un UAS, el UAV, de la estación de control⁴, y del propio enlace⁵.

2. Objetivos y alcance

El objetivo principal de este proyecto es la identificación del sensor más apropiado para el reconocimiento técnico de ingenieros, así como su adaptación en un UAV. El sensor que se quiere adaptar se utilizaría como medida de ahorro de tiempo y optimización a la hora de un reconocimiento técnico de ingenieros, aportando flexibilidad a las operaciones y aumentando capacidades técnicas. Como objetivo secundario está el conseguir la adecuada formalización de un trabajo de búsqueda e investigación. Asimismo, se estudiará:

- Selección del sensor más adecuado.
- Estudio del UAV más adecuado, de los disponibles en el Ejército de Tierra (E.T), para cubrir las necesidades de las Unidades de Ingenieros.
- La adaptación del sensor en ese UAV.
- Estudio de viabilidad de la implantación del sistema.

El primer pasó de este trabajo es la búsqueda de necesidades del Regimiento de Especialidades nº11 (REI11). Contando con las experiencias del personal encuadrado en la unidad, para saber y conocer desde dentro cuales son las mejores alternativas. Esta recopilación de información de los expertos consultados se llevará a cabo a través de entrevistas. Se buscará información relativa a todos los casos problemáticos, incidencias, ventajas y limitaciones de los UAV en dotación del E.T, con el objetivo de seleccionar el que mejor cumpla las necesidades del REI11. La misma metodología se utilizará para la selección del sensor que mejor se adapte a las necesidades técnicas de la unidad.

La toma de decisiones se realizará en base a un Proceso Analítico Jerárquico (AHP - Analytic Hierarchy Process). Para finalizar se realizará un estudio de viabilidad de la implementación de dicha propuesta, incluyendo un estudio de la adaptabilidad del sensor al UAV.

3. Reconocimiento de ingenieros.

A los ingenieros se les asignan cometidos de obtención de información relacionada con el cumplimiento de sus misiones, para satisfacer las necesidades de conocimiento del mando relativa a la identificación de amenazas contra las fuerzas propias, características del terreno, infraestructuras y recursos en la zona de acción, así como cualquier otro aspecto que precise de un alto grado de detalle o que requiera especialización técnica o el empleo de materiales específicos, Esto se denomina inteligencia, una de las funciones de combate propias del arma de ingenieros [6].

Unos ejemplos de reconocimientos de ingenieros son: construcción de edificios, construcción de caminos, reconocimiento C-IED⁶, regulación de paso, apertura de brechas encubiertas,

³Afición al vuelo sin tripulación de aeroplanos.

⁴Del inglés, Gran Control Station, GCS, estación de control del UAS

⁵Dispositivo que conecta el vehículo con la estación

⁶Contra artefactos improvisados, del inglés Counter Improvised Explosive Devices

puentes, ferrocarriles, fortificación, instalación de chek-points...

Según el manual de procedimientos de reconocimientos técnicos de ingenieros MP-403⁷, define el reconocimiento técnico de ingenieros de la siguiente manera:

Para la realización de reconocimientos de ingenieros, las unidades de ingenieros constituirán equipos de reconocimiento que podrán contar con apoyo de personal técnico o material específico, lo que dotará al equipo de un alto grado de especialización técnica y le permitirá obtener información con un mayor detalle [6].

Así mismo el desarrollo de un reconocimiento técnico de ingenieros se desarrollará de la siguiente manera [6]:

1. Orden de reconocimiento del jefe de ingenieros.
2. Orden de reconocimiento del jefe de la unidad de ingenieros.
3. Preparación del equipo de reconocimiento.
4. Reunión de coordinación.
5. Ejecución del reconocimiento.
6. Informe de reconocimiento.

Las unidades de ingenieros cuentan con un equipo de reconocimiento, quien, al recibir la orden, debe llevar a cabo una serie de acciones de planeamiento y preparación [6]:

1. Determinar la articulación del equipo para la misión.
2. Organizar los equipos de protección, teniendo en cuenta la información del adversario y los apoyos proporcionados por el jefe.
3. Recopilar la cartografía necesaria para la identificación de las zonas del reconocimiento.
4. Solicitar apoyo logístico, teniendo en cuenta el tiempo asignado para la ejecución, las distancias y el tipo de reconocimiento. Así como recoger el material necesario.
5. Recopilar la información de autoridades y organismos civiles.
6. Ejecutar las tareas logísticas necesarias para la preparación del equipo de reconocimiento (mantenimiento orgánico, repostaje, puesta a punto del armamento, municionamiento, recogida de explosivos, equipo personal individual, material, distribución de raciones...).

El reconocimiento de ingenieros se ejecutará conforme a la orden recibida, actuando con flexibilidad para adaptarse a los posibles cambios de la situación [6]. Una vez realizado el reconocimiento, el Jefe del equipo elaborará un informe que proporcione información clara, precisa y detallada [6]. Sin embargo, muchas veces se solicita la necesidad de realizar otro reconocimiento debido a la falta de tiempo, por falta de material, personal específico o por la complejidad del elemento objeto del reconocimiento [6].

Para conocer las limitaciones de un reconocimiento técnico, se realizó una entrevista al capitán D. Javier López Valle, jefe de la 1º Compañía del Batallón de Castrametación (BCAS) del REI11. De esta entrevista se sacaron las siguientes enseñanzas:

- La flexibilidad es una característica esencial en el mundo de la aviación, y esto es lo que se necesitaría en una Unidad de Ingenieros: operaciones técnicas con un grado de

⁷Publicado el 16 de marzo del 2020

flexibilidad alto, pues toda operación puede ser susceptible a un cambio repentino en cualquier momento. El reconocimiento de hoy en día no favorece la flexibilidad debido a que no aporta continuidad al mando, con alcance de los medios limitados, medios de comunicación no eficientes o debido a la disponibilidad de estos⁸.

- Por otro lado, se encuentra la limitación debido a la falta de Mando y Control (C2⁹) instantáneo. Las unidades no cuentan con sistemas de comunicaciones que proporcionen la información de manera inmediata al escalón superior. Si el Mando quiere realizar un cambio en la orden o en la zona de reconocimiento, en ocasiones, no existe forma de comunicar con el personal en la zona de operaciones (ZO), por lo que habría que utilizar medios radio, ralentizando el proceso, influyendo negativamente en el ciclo OODA¹⁰.
- A la hora de realizar un reconocimiento técnico se necesita mandar Unidades sobre el terreno para detectar puntos vulnerables, comprometiendo su seguridad, su dificultad y complejidad táctica para su inserción e infiltración. El riesgo es elevado en toda operación.

Disponer de un sistema de reconocimientos basado en la incorporación de un sistema en un UAV, aportaría flexibilidad, característica principal de la aviación debido a su rapidez de acción y alcance, penetrando en el territorio enemigo en poco tiempo. Además, la razón de la creación de las aeronaves no tripuladas fue la posibilidad de ver imágenes en tiempo real, lo que proporcionaría esa inmediatez y continuidad al mando que no se encuentra en los reconocimientos, así mismo, incorporar un sistema permitiría aumentar las capacidades técnicas de este proceso, reduciendo así el riesgo de la operación.

3.1 Orígenes de la aviación no tripulada

Se cree que la tecnología RPAS es relativamente nueva, sin embargo, no es así. La aviación no tripulada tuvo sus comienzos en la primera mitad del siglo XIX, con la utilización y realización de prácticas con estas plataformas para la posterior incorporación del piloto a bordo [7].

Debido a la falta de progresión tecnológica ocasionada por la I Guerra Mundial, la aviación no tripulada se quedó estancada, llevándose todo el protagonismo la aviación convencional [7]. Así que es en la II Guerra Mundial (1939-1945) cuando se construyeron modelos de aviones radio controlados, para la Armada y el ET: los denominados Queen Bee, versión del De Havilland Tiger Moth¹¹ [7].

A partir de los años cincuenta, el desarrollo tecnológico empieza a coger más fuerza, destaca la compañía Northrop la cual desarrolla una serie de plataformas no tripuladas: Falconer y Shelduck [7]. Sin embargo, en los años 60 se empiezan a introducir sensores, cámaras para las

⁸Las Unidades del Ejército de Tierra, cuentan con unos medios en dotación, los cuales hay veces que no están disponibles pues están siendo usados por otras compañías.

⁹Del inglés, Command and Control

¹⁰Del inglés: Observe, Orient, Decide, Act. Ciclo para la toma de decisiones en combate. Pretende ser más rápido que el ciclo OODA del adversario.

¹¹Biplano británico de madera de los años 30 diseñado por Geoffrey de Havilland

misiones de reconocimiento y demás características para facilitar la detección de enemigos y evitar el derribo de las plataformas [7].

A partir de los 70, empiezan a aumentar las misiones militares de reconocimiento lo que conlleva la adaptación de las aeronaves para dichas operaciones. Se empiezan a diseñar UAV para vigilancia y reconocimiento¹² [7]. Las Fuerzas Armadas (FAS) empezaron a buscar aquellos sensores que fueran capaces de extender sus operaciones de ISTAR¹³ [7].

Se empieza a considerar la construcción de plataformas no tripuladas con mayor alcance, así como el aumento de su autonomía, es decir aeronaves más pesadas y potentes. Aparece el Predator B, motor turbohélice¹⁴ y el Global Hawk, de mayor altitud. Más tarde llegó el Reaper con sistema de armas incorporado¹⁵ [7].

La popularidad de estos vehículos aéreos no tripulados viene desde el final de la Guerra Fría, cuando se empiezan a adaptar con distintas capacidades para (mayoritariamente) uso militar de reconocimiento. La utilización por parte de Estados Unidos (EE. UU.) e Israel, provocó una reacción por parte de España y demás países cercanos para destinar presupuesto en investigación y desarrollo (i+D) para estas aeronaves [7].

4. Necesidades de una Unidad de Ingenieros

Para identificar las limitaciones de los sistemas de reconocimientos ingenieros actuales, se realizaron entrevistas en las que participaron: 2 oficiales del Ejército del Aire (EA), 5 oficiales del ET, 4 suboficiales, 3 de tropa y tres personas de empresas civiles tales como Indra, Aertec o Iberia. La entrevista realizada se puede consultar en el Anexo II, dicha entrevista va desde preguntas abiertas, experiencia personal, aspectos relevantes, futuras implementaciones, hasta valoraciones numéricas acerca de sus preferencias.

Todos los expertos coincidieron en lo ventajoso que sería dotar al Regimiento de un sistema incorporado en una plataforma aérea no tripulado.

Sería de gran interés contar con un RPAS para los Batallones del REI 11, sobre todo en las tareas de reconocimiento del terreno y en el propio seguimiento de las obras, estos trabajos se realizan in situ y en ocasiones son superficies muy grandes y de difícil acceso, lo que implicaría un retraso considerable de las obras¹⁶.

Al utilizar estas plataformas de pequeño tamaño, implicaría un ahorro de tiempo, así como una capacidad técnica que solo se adquiere si se cuenta con estos dispositivos, gracias a la posibilidad de adaptar sensores. Se podría emplear más tiempo en otras actividades viendo desde la perspectiva del UAV la obra, lo que facilitaría el progreso de las prácticas y operaciones.

Las tecnologías están avanzando actualmente, y sería interesante trasladar dicha idea a modernizar los recursos con los que nuestras FAS cuentan hoy, esto facilitaría y agilizaría en muchos casos los trabajos que realizan las distintas unidades del ET¹⁷.

¹²Un ejemplo es el Lockheed Aquila, de corto alcance, el cual se entregó a las unidades de combate para tener información relativa al campo de batalla a través de video, fotografías y sensores

¹³Del inglés, intelligence, surveillance, target acquisition and reconnaissance, inteligencia, vigilancia, adquisición de objetivos y reconocimiento

¹⁴Motor de turbina de gas que mueve una hélice

¹⁵Capacidad de llevar armamento en la plataforma no tripulada.

¹⁶Respuesta de la teniente Dña. Mª del Carmen Barragán, jefe de la oficina técnica del BCAS

¹⁷Respuesta del capitán D. Eloy Fernández de Gatta, Jefe de la Plana Mayor del BCAS

El brigada de ingenieros, Don Oscar Nestar Gutiérrez, perteneciente al Batallón de Zapadores VII¹⁸(BZ VII) Jefe de Equipo EOD¹⁹, en la sección de reconocimiento y desactivación de la compañía (CIA) de apoyo cuenta su experiencia en la revista Memorial de Ingenieros nº103 [8]:

Es importante la necesidad de adaptar las nuevas tecnologías de observación, que proporcionan los sistemas aéreos no tripulados UAS [8]. El uso de UAS para desactivar de IED (Improvised Explosive Device) surgió gracias a las lecciones aprendidas de las desactivaciones realizadas en Afganistán por parte de los equipos EOD del BVII [8]. Se llegó a la conclusión que la utilización de estos sistemas supondría una mayor seguridad en el proceso, así como una reducción de los tiempos de intervención. En la madrugada del 24 de febrero del 2019, en Malí, África, se tuvo la oportunidad de demostrar la buena resolución de un incidente real por parte de los UAS [8].

Se han utilizado UAS en operaciones, misiones y ejercicios. En el 2019, el brigada del Batallón de caminos (BCAM) del REI11, Don Javier Echeverría Peña, participó en unos ejercicios de minas con los drones, tuvo lugar en el Centro Internacional de Desminado (CID). En su entrevista expone lo siguiente:

El mundo RPAS está todavía por descubrir, mis prácticas en el CIM no fueron efectivas, si bien es cierto que la utilización de los UAV es práctica, pero no sería útil implementar unos sistemas no tripulados para desminar un campo, debido a que el coste que supondría poner un magnetómetro²⁰ en un dron sería muy elevado además de nada práctico, pues la realidad es que en este tipo de operaciones es mejor el manejo a mano y la búsqueda de las minas por parte del personal de la sección de reconocimiento. Hay que encontrar la practicidad de estos dispositivos, de esta revolución, actividades compatibles con estos sistemas, una actividad útil para el uso de estas aeronaves sería el C-IED.

Ignacio Ambrosio, técnico de Indra, empresa relacionada con el mundo de la seguridad y defensa aérea, cuenta en la entrevista su intento de inventar un sistema de drones detectores de minas.

La idea era usar una tecnología muy avanzada que se asemeja a una nariz humana, con el objetivo de detectar partículas de explosivos o compuestos de metal en la tierra en zonas donde se sepa que hay minas para poder identificarlas. Este proyecto de Indra no tuvo éxito debido a la falta de financiación.

Otra de las misiones en las que se han utilizado sistemas no tripulados, es en la campaña Antártica, base General de Castilla, en la que participó el Teniente Don Marco Garzón y el Soldado Don Jaime Vargas Sánchez, pertenecientes al REI11. Anexo III.

La expedición estuvo formada por un total de 13 personas de distintas armas, 7 ingenieros del arma, más 5 científicos. Parte del material de la misión fue el traslado de un UAV, el HUGINN -X1²¹. Se utilizaron para contar la población de los pingüinos (solicitado por un científico) y para fotogrametría, solapando fotografías realizadas por el dispositivo. Según se refleja en la entrevista realizada, los resultados del uso del UAV en la campaña Antártica fueron altamente satisfactorios.

¹⁸Ubicado en Pontevedra

¹⁹Del inglés Explosive Ordnance Disposal

²⁰Miden la fuerza total del campo magnético al que están sometidos

²¹El UAS, se llevó a la campaña en dos cajas, en una se encontraba el UAV, y en la segunda los accesorios, las hélices, las baterías.

5. Estado del arte

En cuanto a las finalidades de los UAS, se encuentran desde aplicaciones militares hasta aplicaciones civiles, recreativas, comerciales, para la agricultura, operaciones cinematográficas.... El mundo RPAS ha irrumpido con mucha fuerza en el mercado tanto laboral como militar, debido a la cantidad de prestaciones y a unos precios más que razonables [9]. Gracias a los RPAS se consiguen objetivos que antes ni se podían llegar a pensar. El mundo de estas plataformas voladoras no tripuladas es una revolución y sigue en constante evolución y cambio.

La Dirección de Armamento y Material (DGAM) del Ministerio de Defensa (MINISDEF) elaboró una clasificación de los UAS, Gráfico 3. Los UAS se dividen en tres clases, por un lado, la clase I, forma parte del segmento táctico de los RPAS de las FAS, dentro de esta se encuentran, los de tipo MICRO, no superan los dos kilogramos de peso, los de tipo MINI menor a 20 kilos y por último los de tipo SMALL son aquellos que tienen un peso menor a 150 kilos [10]. La clase II también son del tipo tácticos, llegando a tener un peso de hasta 600 kilogramos, sin embargo, encontramos dentro de este tipo, el Searcher que se encuentra en el nivel operacional (es donde salen las acciones y metas trazadas por el nivel tático para alcanzar los objetivos de las decisiones estratégicas) [10] [11]. En la clase III se encuentran los UAS con capacidades MALE²², alcance, y HALE²³, contando con un alcance mayor a 20 kilómetros [10].

En el 2007 se incorporaron los UAS en nuestras FAS para labores de protección, vigilancia y reconocimiento, y actualmente se cuenta con alrededor de un centenar de RPAS [12]. El MINISDEF prevé unas necesidades de 700 millones de euros para su inversión en UAS, hasta el 2026 [12]. Estas plataformas están jugando un papel fundamental a la hora de conseguir los objetivos operativos, intentando no perder el ritmo de su desarrollo teniendo en cuenta tanto las necesidades de España como la financiación de la que dispone [12].

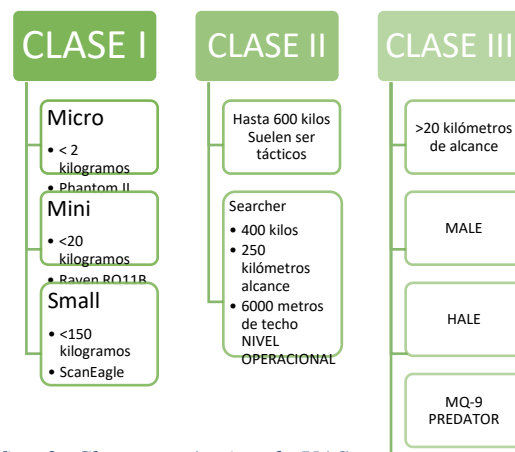


Gráfico 3: Clases según tipo de UAS

²²Siglas en inglés de mediana altitud y largo alcance.

²³Siglas en inglés de gran altitud y largo alcance.

6. Estudio del sistema óptimo para reconocimientos técnicos de ingenieros.

Tras el estudio de las limitaciones y necesidades de las unidades de ingenieros y gracias a las encuestas realizadas al cuadro de expertos, Anexo IV, se seleccionaron los sensores necesarios para un óptimo reconocimiento técnico. Dichos sistemas beneficiarían la capacidad técnica y sobre todo de análisis del terreno a reconocer.

En la Tabla 1 se recogen los resultados de dicha entrevista, donde cada uno de los expertos expuso los sensores o sistemas que ellos consideran más relevantes para un reconocimiento. Los números de dicha tabla son la cantidad de expertos que seleccionaron dicho sistema.

Resultados	
Lidar	6
Sensor termográfico	7
Sensores multiespectral	5
Escáner 3D	1
Fotogrametría	1
Levantamiento 3D	1
Cámara HD	1
Sensor acústico	1
Sensor detector de gases	1
Sistema anticolidión	1

Tabla 1: Resultado de la encuesta para la selección del sensor

Conocidos los resultados de la encuesta, se seleccionaron los tres que obtuvieron mayor calificación: sensores multiespectral, sensor termográfico y sistema Lidar. Esta elección se realizó mediante una encuesta en la que se preguntó a los expertos qué sistema o sistemas serían más convenientes para la unidad, en el Anexo V se encuentran los resultados de las entrevistas más detallados.

Sin embargo, cada tipo de sensor tiene diversas opciones, marcas, por lo que es necesario seleccionar el que mejor se adapte a las misiones de las unidades de ingenieros.

Se llevó a cabo una entrevista con dos de los expertos seleccionados, el Capitán D. Eloy Fernández De Gatta, Jefe de la Plana Mayor del BCAS y la Teniente Dña. M^a del Carmen Barragán, jefe de la oficina técnica del BCAS. El objetivo de dicha entrevista fue encontrar las opciones convenientes de los sistemas seleccionados, (sensores multiespectral, sensor termográfico y sistema LIDAR) así como el criterio más relevante para la elección de las opciones.

Por parte del capitán De Gatta, quien en la encuesta propuso implementar un sistema LIDAR, usar la fotogrametría para levantamientos 3D y sensores multiespectral, propuso el estudio de:

- Parrot Sequoia para sensor multiespectral.
- Y el YellowScan Mapper para el sistema Lidar.

La teniente Barragán por su parte y debido a que se encuentra en la oficina técnica, la cual lleva a cabo la gestión de los proyectos, proveedores y presupuestos, propuso la implementación de cámaras térmicas y de sensores multiespectrales.

Para los sensores multiespectrales propuso:

- MicaSense RedEdgeMX.
- MicaSense RedMX Dual.

Para las cámaras térmicas propuso:

- Flir Vue Pro.
- Flir Duo Vue.
- Flir Boson.

Durante una visita a la escuela de UAS de Salamanca, se entrevistó verbalmente al Comandante D. Luis Sandoval, instructor de UAS, para poder conocer sus preferencias acerca de las múltiples opciones de los tipos de sistemas Lidar y de los tipos de sensores multiespectral, seleccionados por él en la encuesta recogida en el Anexo IV. Para el sistema Lidar, propuso la adaptación de sistema LeddarTech Vu8 y el YellowScan Mapper. Sin embargo, y aunque su elección fue la incorporación de un sensor multiespectral, no conocía ninguna marca relevante.

Sensor Multiespectral

Los UAV comercializados suelen contar con una cámara RGB, es decir un sensor que mide la capacidad de luz dentro del espectro visible (el espectro que el ojo humano es capaz de ver), pudiendo ver simplemente los colores como se ven, pudiendo detectar solo problemas como falta de vegetación [13]. Con una cámara RGB solamente vamos a poder captar e interpretar los colores tal y como nosotros los vemos [13].

Las cámaras multiespectrales permiten observar las radiaciones invisibles para el ojo humano, varios espectros de luz [13]. Estos sistemas o sensores suelen ser de tamaño reducido llegando a obtener un máximo de seis bandas espectrales [13]. En el Anexo VI se pueden ver los resultados de la utilización de cada una de estas bandas espectrales.

Sensores multiespectrales propuestos por los expertos fueron:

1. Parrot sequoia²⁴

Sensor multiespectral de uso profesional.

Este sensor supone una solución completa y adaptable a la mayoría de los drones [14] [15]. Su peso es de 135 gramos y tiene unas dimensiones de 59 mm x 41 mm x 28 mm [14] [15]. Tiene, además, una cámara RGB²⁵, hace referencia a los tres colores de las bandas, (rojo, verde y azul) con una definición de 16 megapíxeles [14] [15].



Imagen 1: Parrot Sequoia [14]

Cuenta con dos sensores capaces de medir la cantidad de luz del terreno y su estado, sensor multiespectral y sensor de luz solar, con cuatro bandas espectrales, verde, rojo, borde rojo e

²⁴3840€ [15].

²⁵Del inglés, red, green and blue.

multiespectral cercano²⁶, el sensor dispone de una lente de protección y con capacidad para guardar los datos registrados del vuelo [14] [15].

La resolución, GSD²⁷ es de 13cm/ píxel a 120 de altura de vuelo AGL²⁸ [14] [15]. Su campo de visión, FOV, es de 63, 9° permitiendo la integración de un almacenamiento externo [14] [15].

Este sensor fue creado para la agricultura de precisión, con los datos obtenidos de estas cámaras podemos conocer, por ejemplo, la salud de un cultivo y a partir de ahí tomar las decisiones pertinentes [14] [15].

2. Micasense Redgem MX²⁹

Sensor multiespectral de uso profesional y resistente debido a su capa metálica [16].

Genera imágenes del terreno en un solo vuelo [16]. Ha sido diseñado para la integración en cualquier UAV. Su peso es de 231,9 gramos y tiene unas dimensiones de 87mm x 59mm x 45,4mm [16].

Cuenta con un sensor de luz DLS2, el cual mejora la precisión radiométrica y reduce en gran medida el tiempo de procesamiento posterior [16]. Cuenta con una cámara RGB de 16 megapíxeles y un campo de visión de 47, 2° [16]. Además de cinco bandas espectrales, azul, verde, rojo, borde rojo y multiespectral cercano, de alta resolución, su GSD es de 8cm/ píxel a 120 de altura de vuelo [16].



Imagen 2: MicaSense MX, [17].

3. Micasense RedEdge MX Dual³⁰



Imagen 3: MicaSense Mx Dual [17].

Es el resultado de integrar dos cámaras con cinco bandas cada una [17]. Con un peso de 508,2 gramos y unas dimensiones de, 87mm x 123mm x 76mm [17]. Cuenta con una cámara RGB de 16 megapíxeles, capturando 10 bandas multiespectrales con su sistema dual [17].

Estas diez bandas, permiten que el sistema de cámara dual realice una comparación directa con las imágenes satélite [17]. Al tener el doble de bandas se consigue duplicar su capacidad análisis del terreno [17].

Sin embargo, los expertos desestimaron el sensor Parrot Sequoia por no contar con la banda azul en el espectro, es decir cuenta con cuatro bandas, verde, rojo, borde rojo e infrarrojo cercano.

Considerando esto como una característica excluyente debido a que tanto el MicaSense RedEdge MX como el RedEdge MX Dual cuentan con una banda más en la región azul,

²⁶Región de longitud de onda más corta del espectro multiespectral.

²⁷Del inglés, ground sample distance.

²⁸Altitud sobre el nivel del terreno.

²⁹Precio del sistema serían 5005€ [16].

³⁰Precio del sistema serían 10750\$ [17].

capturando bandas espectrales tanto visibles como invisibles. Esto aumenta las aplicaciones potenciales que podemos darle al sensor, como por ejemplo proporciona información valiosa para el manejo del agua en los cultivos o incluso en las obras.

A la hora de realizar una construcción o la colocación de una infraestructura para un reconocimiento de ingenieros, es necesario saber la cantidad de agua que hay en el terreno. En caso de presencia agua abundante, los cimientos se proyectarán bajo esta condición y deberá hacerse la obra de forma más segura [18]. Además, es necesario comprobar el nivel filtración del terreno, los suelos cohesivos suelen filtrar el agua de forma más lenta, por ello si existiera mucha humedad, se necesitarían sistemas de recogida y drenaje de agua. Importante asegurarse de presencia de ríos cerca de la obra [18].

Los sensores MicaSense permiten a los usuarios identificar las áreas del terreno húmedas que, por el contrario, el Parrot Sequoia no lo identifica [19]. Así mismo una de las ventajas del sensor multiespectral MicaSense, es la generación de resultados alineados, es decir la posibilidad de crear un modelo digital de superficie, MDS, que proporciona información sobre la gestión del agua, los usos del suelo y también la elevación propia del terreno [19].

Entre los dos sensores restantes, el MicaSense Rededge MX y el Micasense RedEdge MX Dual, todo el cuadro de expertos coincidió en que debido al precio más reducido y que presenta la mitad del peso, la opción óptima para un sensor multiespectral sería: MicaSense RedEdge MX.

Sensores termográficos

Los expertos entrevistados consideran que contar con un sensor termográfico en sus unidades, apoyaría al personal técnico y especializado con labores importantes, como por ejemplo el reconocimiento de un punto sensible³¹ de madrugada, donde todo el personal es más vulnerable. Aumentando así las capacidades de la unidad operativa.

Un detector termográfico, es un tipo de dispositivo con capacidad de medir la radiación infrarroja (calor) que emiten los cuerpos [20]. Detectan la temperatura capturando diferentes niveles de luz infrarroja, invisible a la vista humana, cuanto más caliente es un objeto, más radiación infrarroja produce [20]. De este modo, permite observar espacios y objetos sin necesidad de que exista luz visible. Se emplean para localizar y seguir objetivos, guía de misiles y para recopilar información del terreno [21].

Desde el punto de vista táctico nos encontramos con un sensor que nos da la capacidad de tener ojos en condiciones de luminosidad baja, nos permite tener una detección casi total de cualquier elemento en nuestro AOI³² independientemente de las condiciones lumínicas (día/noche), atmosféricas (niebla, lluvia, viento, niebla...), haciendo muy difícil la ocultación debido a que cualquier elemento, ya sea humano o material, tiene una firma térmica inconfundible muy difícil de borrar aun estando detrás de elementos de camuflaje.

³¹Lugar vulnerable con amenaza de emboscada

³²Del inglés area of interest.

La diferencia entre un sensor termográfico y un sensor termográfico es que el sensor termográfico es capaz de medir la temperatura absoluta del píxel siendo fundamental a la hora de detectar y clasificar dicho cambio de temperatura [20]. Sin embargo, el sensor termográfico no lo hace aun teniendo la posibilidad de detectar la radiación infrarroja térmica [20].

1. Flir Boson³³

[22]Una de las características principales de este sensor es su reducido peso, 7,5 gramos más la lente, sus dimensiones son de 21 x 21 x 11 mm sin lente [23].

El formato de la captura es de 320x256 píxeles, con un tamaño de píxel de 12 μm [23]. Puede llegar hasta una distancia maxima de 12 kilómetros y cuenta con una sensibilidad térmica ³⁴,NETD ³⁵, de <40 mK ³⁶ para uso industrial, <50 mK para uso profesional y <60 mK para uso del consumidor [23].



Imagen 4: Flir Boson [23].

2. Flir Duo Vue³⁷

Contiene un detector IR con enfoque fijo, respecto a la visualización y control en vuelo cuenta con una salida de video con imagen IR, así como un inicio y parado de grabación [24]. Pesa 84 gramos y tiene unas dimensiones de 41 x 59 x 30 milímetros [24]. Su formato de captura es de 160x120 píxeles y tiene una resolución de su cámara digital de 1920x1080 [24].



Imagen 10: Flir Duo Vue [24].

3. Flir Vue Pro³⁸

Este sensor está diseñado para el uso profesional, siendo un instrumento de medición térmica y una grabadora de datos. Su peso es de 113, 36 gramos teniendo unas dimensiones de 57,4x44,45 mm con lente [25] [26]. La resolución de la lente es de 336x156 píxeles [25] [26].



Imagen 6: Flir Vue Pro, [26].

Para la elección del tipo de sensor termográfico se llevó a cabo una encuesta para conocer las preferencias del cuadro de expertos, Anexo VII. Coincidiendo en que el sensor termográfico óptima sería aquella que pesara menos, es decir Flir Boson, la razón de esta decisión fue debido a que las características de los sensores son parecidas y todos prefieren un menor peso pues es directamente

³³El sensor Flir Boson 320x256 píxeles con una lente 4° de 55m cuesta 4.336€ +IVA [70]

³⁴Representa la diferencia de temperatura más pequeña que puede distinguir el sensor multiespectral.

³⁵Noise equivalent temperature difference.

³⁶Los dispositivos con una sensibilidad térmica más elevada pueden detectar diferencias de temperaturas más pequeñas para ofrecer una imagen más precisa [69]. Se mide en miliKelvins (mK), y cuanto menor sea la cifra de mK de una cámara mayor será su sensibilidad [69].

³⁷El precio es de 999€ + IVA [24].

³⁸Por un precio de 2,149 € en la tienda acre surveying solutions [25].

proporcional con la autonomía del UAV, consiguiendo así más tiempo de vuelo para un reconocimiento técnico.

Sistemas LIDAR

Es una tecnología basada en el láser, mide el tiempo que tarda en volver la luz láser y calcula la distancia [27]. Principio de funcionamiento se basa en [27]:

1. Emite el pulso láser en una superficie.
2. Registro de la señal retro dispersada, es decir, atrapa el láser de vuelta al sensor.
3. Calcula cuanto tiempo viajó el láser.
4. Medición de la distancia (velocidad es espacio partido de tiempo).
5. Recuperación de la posición y altitud del plano.

Este proceso se repite un millón de veces por segundo, hasta conseguir una nube de puntos 3D [27]. Esta tecnología es de gran utilidad, se utiliza para el estudio de líneas eléctricas, minería, ingeniería civil, mapeo, carreteras, ferrocarriles, pudiendo obtener información nocturna o incluso en las peores condiciones [28].

Los sistemas LIDAR, permiten a los jefes de ingenieros tener un conocimiento de nuestro AOI creando un modelo vectorial del terreno, necesario para un reconocimiento de un punto sensible, búsqueda de posibles lugares donde pueden encontrarse artefactos explosivos, o para un reconocimiento topográfico. Los sistemas LIDAR propuestos por los expertos son:

1. LeddarTech Vu8

El LIDAR Vu8, de la marca LeddarTech, con un peso de 75 gramos, compacto y ligero, se adapta a cualquier UAV [29]. Tiene 8 segmentos independientes de láser con capacidad de adquisición simultánea [29]. Proporciona una detección multiobjetivo llegando a detectar objetivos de hasta 215 metros de alcance y con una precisión de 5 centímetros [29].

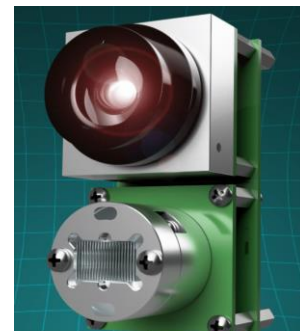


Imagen 7: LeddarTech Vu8, [28].

2. YellowScan Mapper



Imagen 8: YellowScan Mapper, [30].

Escáner laser de alto rendimiento, herramienta correcta para empezar [30]. Con una recopilación de datos rápida y eficaz y rentable [30]. Cuenta con una fácil integración en los UAV multirrotores, ala fija y drones de helicópteros, su manejo es sencillo [30].

Su peso es de 2,1 kilogramos y sus dimensiones 172mm x 206mm x 147mm [30]. El rango de resolución es de 4 centímetros sin embargo su precisión llega hasta los diez centímetros [30]. Puede trabajar entre 15/100 km/h del UAV con una altitud de 10 a 75 metros [30].

Para la elección del tipo de sistema LIDAR, el personal cualificado, conociendo sus especificaciones técnicas, coincidió en que la mejor opción sería el LeddarTech Vu8 con una precisión de 5 centímetros y un peso de 75 gramos, concuerdan que para todas las opciones

era mejor la elección de aquella marca dentro de cada tipo de sensor que tuviera menos peso, por dos razones:

- En las especificaciones técnicas de todo UAV, se encuentra un apartado de carga de pago (o carga útil), esto significa que toda plataforma no tripulada puede incorporar de manera adicional diversos sistemas o sensores, en función de la capacidad de cada uno. Esta incorporación ayuda en las misiones encomendadas, proporcionando capacidad técnica que es imposible adquirir con la vista humana. Los expertos coincidieron que la mejor opción era utilizar aquel sistema que pesara menos para seguir teniendo capacidad de carga útil, y poder implementar en un futuro otro sensor en caso de necesidad.
- Así mismo, el cuadro de expertos expuso que, a menos peso de carga de pago, implica menos material adicional que el UAS tiene que llevar lo que a su vez supone menos potencia de uso que implica un consumo menor batería o combustible (según tipo de UAS). La autonomía es directamente proporcional a la capacidad del UAV, por esto consideran que tener una carga de pago menor supone un ahorro en autonomía.

Para el sensor multiespectral la marca seleccionada fue el MicaSense RedEdgeM MX, para el sensor termográfico el Flir Boson y para el sistema LIDAR el seleccionado fue el LeddarTech Vu8.

Sensor multiespectral	Sensor termográfico	LIDAR
MicaSense RedEdgeM MX	Flir Boson 320	LeddarTech Vu8

Tabla 2: Marcas seleccionadas por los expertos, para cada tipo de sensor

Así pues, y una vez seleccionados los sistemas necesarios para optimizar un reconocimiento de ingenieros, se procedió a la selección del mejor UAV que cumpliera con las necesidades y las experiencias del personal.

7. Estudio del UAV óptimo.

Para el estudio del UAV óptimo, se seleccionaron por parte del comandante D. Luis Sandoval, profesor de UAS, cuatro modelos en dotación de las Fuerzas Armadas, el GEODRONE, el RAVEN RQ11B, el HUGINN -X1 y el ALPHA 800. Tabla resumen de las especificaciones técnicas en el anexo IX. Las razones de la selección de dichas aeronaves son las siguientes:

- GEODRONE: UAV de ala fija, con posibilidad de disponer de una aplicación cartográfica capaz de hacer las fotos necesarias para obtener ortoimágenes georreferenciadas, modelos digitales del terreno, bloques fotogramétricos, etc. de gran precisión y resolución espacial [31] [32] Este sistema se encuentra dentro del programa RAPAZ de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) [31] [32] [33]. Entró en servicio en el 2017, las FAS cuentan solo con un dispositivo con una misión clara: la cartografía [31] [32].



Imagen 9: GEODRONE, [31].

- RAVEN RQ11B: las razones de la elección de esta aeronave fueron su peso ligero, su fácil manejo y su sencillez para el transporte [34]. Su misión es el reconocimiento de zonas y la vigilancia, se utiliza también para dar seguridad a convoyes, dar seguridad protegiendo a las tropas [34]. Las FAS cuentan con 81 aeronaves de este tipo, 72 del ejército de tierra y 9 del ejército del aire [34].



Imagen 10: RAVEN RQ11B, [34].

- HUGINN -X1: UAS de tipo MICRO, multirrotor con menos de dos kilogramos de peso [35]. “Está diseñado para prestar apoyo de reconocimiento inmediato a pequeñas unidades de maniobra y de reconocimiento con capacidades de detección de amenazas y de reconocimiento y vigilancia” [35]. El objetivo de este UAV es la recopilación de información (inteligencia) búsqueda de artefactos explosivos, IED, recopilación de imágenes para el estudio de una posible emboscada, es decir lo propio de un reconocimiento de ingenieros [35].



Imagen 11: HUGINN -X1, [35].

- ALPHA 800: las fuerzas armadas adquirieron este tipo de sistemas no tripulados dentro del marco del programa RPAZ, perteneciente a la DGAM [36] [37] [38]. Este sistema está concebido para misiones tanto diurnas como nocturnas, de vigilancia y reconocimiento (del inglés ISR, intelligence, surveillance and reconnaissance) de aprovisionamiento de necesidades (logística) y además ha sido puesto a prueba para la detección de artefactos explosivos [36] [37] [38]. Cuenta con una gran versatilidad gracias a su alta disponibilidad de incorporación de sensores según necesidad [36] [37] [38].



Imagen 12: ALPHA800, [38].

Especificaciones técnicas de los UAS seleccionados:

<u>Nombre</u>	GEODRONE	RAVEN RQ11B	HUGINN- X1	ALPHA800
Tipo de UAS	Ala fija	Ala fija	Multirrotores	Monorrotores
Alcance	Altura operativa de 120 metros y un radio de acción de 1 kilómetro	10 kilómetros	5 kilómetros	30 kilómetros
Autonomía	90 minutos	60/90 minutos	25 minutos	150 minutos
Carga útil	500 gramos	200 gramos	208 gramos	3 kilogramos
Forma de despegue/aterrizaje	El despegue se realiza desde un trípode lo que evita el uso de lanzaderas más costosas y complejas de utilizar	Lanzado a mano y recogida mediante aterrizaje con toma dura, no se necesita pista o zona preparada.	Despegue y aterrizaje vertical (VTOL), sin necesidad de una zona despejada.	Despegue y aterrizaje de forma vertical (VTOL)
Forma de recarga	Mediante la recarga de baterías portátiles	Mediante la recarga de las baterías portátiles.	Mediante la recarga de baterías portátiles	Motor de dos tiempos de gasolina
Longitud	1'55 metros	1'37 metros	0'509 metros	1'7 metros
Peso	2 kilogramos	1'91 kilogramos	940 gramos	14 kilogramos

Tabla 3: Resumen de las especificaciones de los UAS seleccionados.

Estudio del Geodrone

Del 8 al 11 de abril del 2019, se realizaron en el Establecimiento Militar (E. M) Los Montalvos pruebas utilizando el Geodrone, en las que participó el Centro Geográfico y la Teniente Barragán. El objetivo era conseguir datos para su posible adaptación al REI 11, es decir su posible incorporación en los trabajos desarrollados por el Regimiento. Obtuvieron los siguientes resultados:

- Una ortofoto georreferenciada
- Un modelo digital de la superficie

- Modelo digital del terreno.

La Teniente Barragán expuso en su entrevista: “estos datos son esenciales para el reconocimiento técnico de ingenieros, cuantos más datos se consigan del terreno, mayor eficacia se logra a la hora de trabajar y mejores resultados se obtienen. Toda aplicación en ingenieros es buena, pero es cierto que unas benefician más a una unidad que a otra”. Una vez reunidos con su equipo de la oficina técnica, expusieron una serie de ventajas e inconvenientes del uso del Geodrone. Anexo IX.

Con estas ventajas e inconvenientes se realizó un análisis DAFO (debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades), recogidas en la Tabla 4, que cuenta con un análisis interno y externo permitiendo conocer la situación de las alternativas. En la parte interna se analiza el GEODRONE, los recursos disponibles, las capacidades, las prestaciones, toda aquella ventaja respecto a la competencia, también hay que analizar los puntos débiles, es decir en la parte interna se estudian las fortalezas y debilidades.

ANÁLISIS DAFO



Tabla 4: Análisis DAFO del Geodrone.

Por otro lado, en el análisis externo se deben estudiar los factores del entorno general y específico que afectan y benefician, debe proporcionar las amenazas y oportunidades del Geodrone

En las entrevistas realizadas al cuadro de expertos, todos coincidieron que era mejor el estudio de un RPAS de cada tipo, es decir el estudio de un ala fija, un monorrotor y un multirrotor. Sin embargo, en el estudio principal se encontraban dos UAV de ala fija. Se realizó una pregunta donde tenían que expresar sus preferencias conociendo las especificaciones técnicas de cada uno de los dos UAV de ala fija (Geodrone y el Raven RQ11B).

Los expertos decidieron la desestimación del Geodrone en el estudio del mejor UAV, donde el 70,59% del personal entrevistado prefirió el Raven RQ11B frente al Geodrone, ambos de

ala fija. La razón de dicha elección fue el menor tamaño debido a que el resto de las características eran muy similares.

El peso total de los tres sensores, el sensor multiespectral, el sensor termográfico y el sistema LIDAR, sensores seleccionados previamente, hacen un total de 314,4 gramos, sin contar con la lente del Flir Boson. Siendo el Alpha800 el único UAV capaz de soportar dicha carga útil. No obstante, se entrevistó al personal para saber los criterios que debería reunir el mejor UAV para los reconocimientos técnicos de ingenieros, anexo X, sus resultados fueron la autonomía, el tamaño, el alcance, el diseño y su carga útil.

Unos consideran que el mejor UAV debería tener una carga de pago suficiente para llevar alguno de los tres o los tres sensores elegidos, otros que el UAV debería tener un diseño sencillo con fácil manejo y volarlo sin necesidad de contar con grandes conocimientos técnicos, autonomía suficiente, alcance idóneo para observar el reconocimiento desde una altura y distancia competente. Así mismo, muchos de los expertos coincidieron que un criterio relevante sería su tamaño, contar con un RPAS fácil de mover, es decir con dimensiones pequeñas, sacrificando el número de sensores que se pueden integrar en él.

Para la selección del UAV óptimo fué necesario aplicar un procedimiento analítico jerárquico (AHP), ya que la selección no es evidente debido a que por un lado se encuentra el Alpha800 capaz de llevar los tres sensores y por otro lado están el Huginn -X1 y el Raven RQ11B de menor tamaño capaces de llevar uno de los sensores seleccionados.

7.1 Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)

Para resolver el problema planteado, la elección del UAV óptimo que cumpla con las características necesarias para reconocimiento técnico de ingenieros se ha utilizado el proceso de análisis jerárquico, método basado en la evaluación de distintos criterios que permiten jerarquizar un proceso y cuyo objetivo final consiste en una optimización de la toma de decisiones [39].

El único UAV capaz de portar la carga de pago de los tres sensores, 314' 5 gramos más la lente del sensor Flir Boson, era el Alpha800. Esto no es una característica necesaria, pero si óptima, ya que un reconocimiento también se vería beneficiado con la incorporación de los sensores seleccionados. Sin embargo, el Alpha800 es el de mayor envergadura de los estudiados en la Tabla 3.

Esta metodología se utiliza para resolver problemas cuando existe la necesidad de priorizar distintas opciones y posteriormente decidir cuál es la que mejor conviene. Es una herramienta flexible para la toma de decisiones multicriterio, ayudando a los analistas a organizar los aspectos críticos de un problema en una estructura jerárquica similar a la de un árbol familiar, reduciendo así las decisiones complejas a una serie de comparaciones que permite la jerarquización de los diferentes aspectos (criterios) evaluados.

7.2 Esquema del modelo AHP

Para realizar este proceso, se deben realizar los siguientes pasos [40]:

1. Definir el objetivo, lo que se quiere conseguir, los criterios en forma de objetivos jerárquicos y las alternativas a comparar [40]. Ver Gráfico 4.
2. Evaluar los diferentes criterios en función de su importancia [40]. La técnica AHP está basada en la suposición de analistas, expertos, que deciden de forma verbal la importancia de dicho criterio, para evitar trabajar con aspectos cualitativos [40]. Ese juicio verbal es trasladado a una escala de puntuación para así conseguir un resultado objetivo a la par que fiable [40]. Ver Tabla 6.

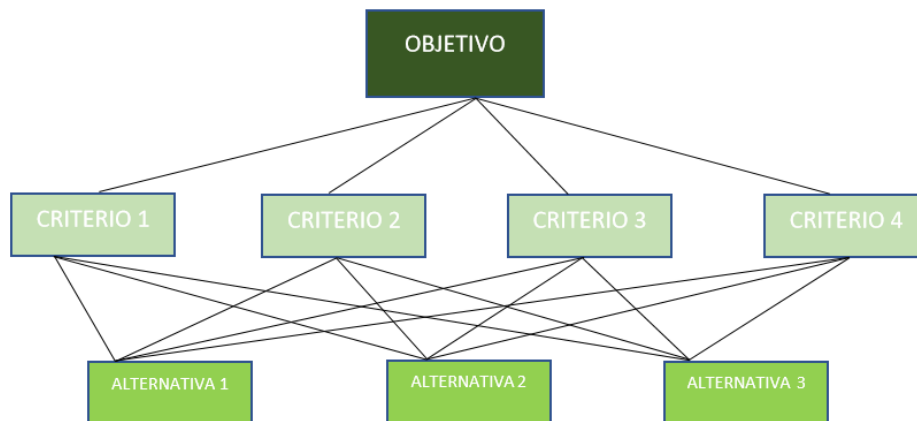


Gráfico 6: Modelo de jerarquía del AHP [39].

PLANEAMIENTO VERBAL DE LA PREFERENCIA	CALIFICACIÓN NUMÉRICA
Extremadamente preferible	9
Muy fuertemente preferible	7
Fuertemente preferible	5
Moderadamente preferible	3
Igualmente preferible	1

Tabla 5: Escala fundamental de comparación por pares [39].

7.3 Elección de los criterios seleccionados

La elección de los criterios vino por parte del cuadro de expertos, como se explicó anteriormente, considerando que los criterios necesarios para estudiar eran la autonomía, el tamaño, el alcance, el diseño y la carga útil. En el Gráfico 5 se muestran el modelo de jerarquía AHP y los resultados de dicha entrevista pueden verse en el anexo X. Una vez conocidos los criterios, se llevó a cabo la realización del modelo de jerarquía AHP según el estudio.

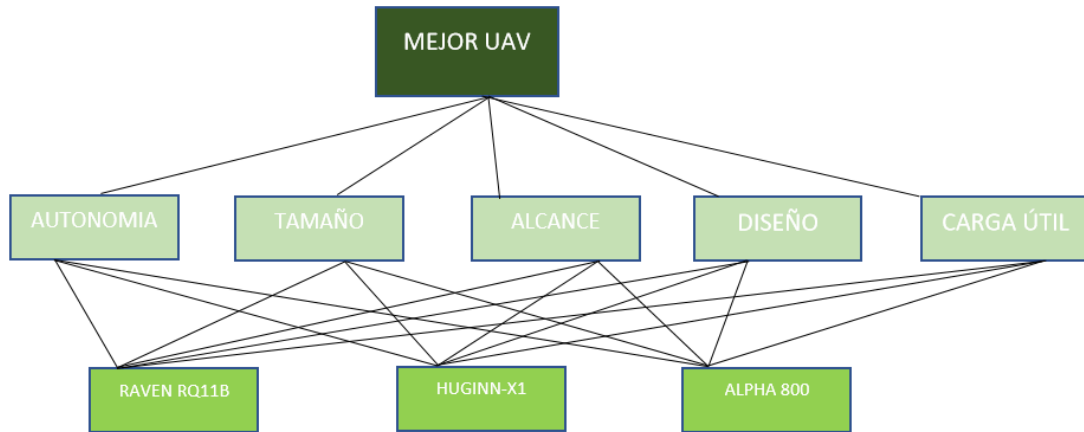


Gráfico 8: Modelo de jerarquía AHP para el mejor UAV.

7.4 Importancia de los criterios

Una vez seleccionados los criterios relevantes, se llevó a cabo un formulario donde los expertos debía numerar del 1 al 10 sus preferencias acerca de la prioridad de los criterios seleccionados, véase Tabla10.

CRITERIOS	GRADO DE IMPORTANCIA (1/10)																PROMEDIO	%	
AUTONOMÍA	6	8	7	8	4	4	6	7	8	3	5	6	6	7	5	7	6	6,06	18,36%
TAMAÑO	9	9	9	7	7	9	10	7	6	6	7	7	9	9	10	5	10	8,00	24,24%
ALCANCE	2	3	4	2	4	5	7	4	8	3	3	4	2	5	7	7	4	4,35	13,19%
DISEÑO	10	10	10	9	8	7	6	5	10	10	8	7	5	6	8	9	7	7,94	24,06%
CARGA ÚTIL	10	10	9	7	7	6	5	6	6	7	9	8	7	6	5	3	2	6,65	20,14%
SUMATORIO																		33,00	100,00%

Tabla 7: Grado de importancia seleccionado por el cuadro de expertos.

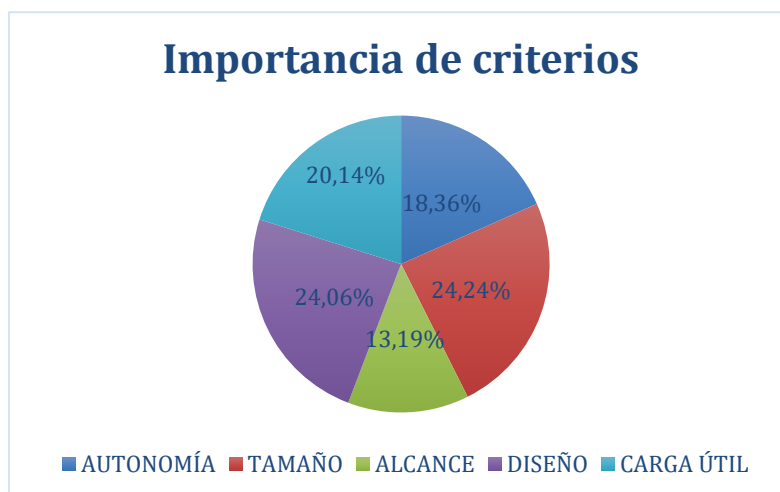


Gráfico 11: Resultado del grado de importancia de los criterios.

Como se puede observar en el gráfico 6, el 24,24% del personal prioriza que la plataforma no tripulada cuente con un tamaño pequeño para poder transportarlo con facilidad, es decir que no sea parte del equipo pesado, fácil manejo debido a un tamaño reducido, cuanto más

pequeño más fácil es su transporte y más comodidades da a la unidad. El criterio que obtuvo menor puntuación fue el alcance, debido a que todo reconocimiento de ingenieros se realiza en zonas próximas que llegan hasta la visual del jefe, no es necesario un sistema que llegue a distancias lejanas. Sin embargo, todos los criterios obtuvieron una puntuación similar.

7.5 Matiz comparación por pares

Una vez conocida la importancia de los criterios, Gráfico 6, las alternativas reflejadas en la tabla 3 y el objetivo, la obtención por parte de las unidades de ingenieros del UAV óptimo para un reconocimiento técnico, se procedió a la obtención de la matriz de comparación por pares donde se compraron todos los criterios entre sí.

Para completar dicha matriz se basó en la opinión de expertos, comparando una de las alternativas con cada una de las otras, decidiendo así la importancia de cada criterio. La matriz normalizada es el resultado de dividir la matriz original 5x5 entre la matriz suma 5x1. El vector promedio realizando la media de las filas de la matriz normalizada.

MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES - CRITERIOS											
	AUTONOMÍA	TAMAÑO	ALCANCE	DISEÑO	CARGA ÚTIL	MATRIZ NORMALIZADA					VECTOR PROMEDIO
AUTONOMÍA	1,000	0,143	3,000	0,143	0,143	0,045	0,045	0,055	0,111	0,055	0,062
TAMAÑO	7,000	1,000	9,000	1,000	3,000	0,313	0,313	0,387	0,333	0,387	0,347
ALCANCE	0,333	0,111	1,000	0,111	0,200	0,015	0,015	0,043	0,037	0,043	0,031
DISEÑO	7,000	1,000	9,000	1,000	3,000	0,313	0,313	0,387	0,333	0,387	0,347
CARGA ÚTIL	7,000	0,333	5,000	0,333	1,000	0,313	0,313	0,129	0,185	0,129	0,214
SUMA	22,333	2,587	27,000	2,587	7,343						

Tabla 8: Matriz comparación por pares.

Cálculo de la consistencia de la matriz por pares

Para continuar con el método, es necesario comprobar la consistencia de los juicios, su validez. Se calcula mediante la Proporción de Consistencia, RC, expresada como el cociente entre el Índice de Consistencia (CI) y el Índice Aleatorio (RI).

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Tabla 9: Fórmulas para comprobar la consistencia, [39].

El Índice de Consistencia mide la consistencia de la matriz de comparación por pares [39]. λ_{max} se calcula mediante la obtención del vector final total, este vector es el resultado de la multiplicación de la matriz original 5x5 y la matriz vector promedio 5x1. A continuación se calculó el cociente como la división del vector final total entre el vector promedio. El promedio de todos los cocientes obtenidos es λ_{max} .

Matriz original					V. promedio	Vectol final TOTAL	Cociente
1,000	0,143	3,000	0,143	0,143	0,062	0,28	4,59
7,000	1,000	9,000	1,000	3,000	0,347	2,05	5,90
0,333	0,111	1,000	0,111	0,200	0,031	0,17	5,53
7,000	1,000	9,000	1,000	3,000	0,347	2,05	5,90
7,000	0,333	5,000	0,333	1,000	0,214	1,03	4,83
						λ_{max}	5,35

Tabla 10 λ_{max} , Para el cálculo del Índice de Consistencia.

RI indica la consistencia de la matriz aleatoria, y su valor depende del tamaño de la matriz a valorar. Índice de Aleatoriedad, RI. La matriz es de 5x5 por lo que el índice de aleatoriedad es de 1,12.

Tamaño de la Matriz (n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Aleatorio	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Tabla 11: Índice Aleatorio (RI), [39].

Esta matriz tiene un ratio de consistencia de 7, 8%, Tabla 11, y al ser una matriz 5x5 cuenta con valores válidos para su estudio debido a que no supera el 10%, Tabla 15.

CONSISTENCIA	
$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$	0,0875
RI	1, 12
$CR = CI / RI$	0,078

Tabla 13: Resultado de la consistencia.

Tamaño de la matriz (n)	Ratio de consistencia
3	5%
4	9%
5 o mayor	10%

Tabla 12: Porcentajes máximos del Ratio de consistencia [39].

7.6 Comparación de las alternativas frente a los criterios seleccionados

Una vez verificada la consistencia, se comparan los tres UAV, Tabla 3, respecto a los cinco criterios seleccionados por los expertos. La primera matriz que se compara es, la de las tres alternativas respecto a su autonomía, luego el alcance, tamaño, diseño y por último su carga útil.

Conociendo las especificaciones técnicas de los tres UAV a estudiar, datos recogidos en la Tabla 3, y el grado de importancia recogido en el Gráfico 6, se procedió a la realización de las matrices con una regla de tres.

En la Tabla 14, se encuentran los resultados de comparar las alternativas con el criterio autonomía. El Alpha800 es extremadamente preferible en cuanto a autonomía al tener el mayor tiempo de vuelo (dándole una puntuación de 9 según la Tabla 5) frente al Huginn -X1 pues cuenta con la menor autonomía de las alternativas. Una vez conocida esta proporción el resto de la tabla se rellenó con reglas de tres.

CRITERIO 1- Autonomía							
	RAVEN RQ11B	HUGINN-X1	ALPHA800	MATRIZ NORMALIZADA			VECTOR PROMEDIO
RAVEN RQ11B	1,000	7,000	0,333	0,241	0,412	0,231	0,295
HUGINN-X1	0,143	1,000	0,111	0,034	0,059	0,077	0,057
ALPHA800	3,000	9,000	1,000	0,724	0,529	0,692	0,649
SUMA	4,143	17,000	1,444				

Tabla 14: Comparación de alternativas frente a la autonomía.

En la Tabla 15, se encuentran los resultados de comparar las alternativas con el criterio tamaño. En este caso, el de menor tamaño es el Huginn -X1 el cual se le dio una preferencia del 9 frente al de mayor tamaño, el Alpha800. El resto de la tabla se rellenó con comparaciones numéricas.

CRITERIO 2- Tamaño							
	RAVEN RQ11B	HUGINN-X1	ALPHA800	MATRIZ NORMALIZADA			VECTOR PROMEDIO
RAVEN RQ11B	1,000	0,200	7,000	0,163	0,153	0,412	0,242
HUGINN-X1	5,000	1,000	9,000	0,814	0,763	0,529	0,702
ALPHA800	0,143	0,111	1,000	0,023	0,085	0,059	0,056
SUMA	6,143	1,311	17,000				

Tabla 15: Comparación de alternativas frente al tamaño.

La comparativa entre las alternativas y el criterio alcance se encuentra en la Tabla 16, rellenándose de la misma manera que las anteriores. El UAV de mayor alcance, el Alpha800, frente al Huginn -X1 obtuvo una puntuación de 9.

CRITERIO 3- Alcance							
	RAVEN RQ11B	HUGINN-X1	ALPHA800	MATRIZ NORMALIZADA			VECTOR PROMEDIO
RAVEN RQ11B	1,000	3,000	0,200	0,158	0,231	0,153	0,180
HUGINN-X1	0,333	1,000	0,111	0,053	0,077	0,085	0,071
ALPHA800	5,000	9,000	1,000	0,789	0,692	0,763	0,748
SUMA	6,333	13,000	1,311				

Tabla 16: Comparación de alternativas frente al alcance.

Si compráramos las alternativas frente al diseño, Tabla 17, los expertos consideran que la mejor alternativa es el multirroto, Huginn -X1, por lo que este comparado con el ala fija obtiene una puntuación de 9, y así mismo, los expertos prefieren un multirroto a un monorroto, por lo que la comparación del Huginn -X1 frente al Alpha800 es un 7.

CRITERIO 4- Diseño							
	RAVEN RQ11B	HUGINN-X1	ALPHA800	MATRIZ NORMALIZADA			VECTOR PROMEDIO
RAVEN RQ11B	1,000	0,111	0,333	0,077	0,089	0,040	0,069
HUGINN-X1	9,000	1,000	7,000	0,692	0,797	0,840	0,777
ALPHA800	3,000	0,143	1,000	0,231	0,114	0,120	0,155
SUMA	13,000	1,254	8,333				

Tabla 17: Comparación de las alternativas frente al diseño.

La carga útil del Alpha800 es extremadamente superior al resto de los UAV en estudio, por un lado, este cuenta con 3 kilogramos de carga útil comparado con los 208 gramos que puede llevar el Huginn -X1 y frente a los 200 gramos de carga útil del RavenRQ11B. En la Tabla 18 el RavenRQ11B y el Huginn -X1 son considerados como igualmente preferibles por tener ambos una carga de pago muy similar, es decir se le dio una puntuación de un 1. Por otro lado, el Alpha800 frente a ambas cargas de pago, recibió una puntuación de 9, es decir, extremadamente preferible.

CRITERIO 5- Carga útil							
	RAVEN RQ11B	HUGINN-X1	ALPHA800	MATRIZ NORMALIZADA			VECTOR PROMEDIO
RAVEN RQ11B	1,000	1,000	0,111	0,091	0,091	0,091	0,091
HUGINN-X1	1,000	1,000	0,111	0,091	0,091	0,091	0,091
ALPHA800	9,000	9,000	1,000	0,818	0,818	0,818	0,818
SUMA	11,000	11,000	1,222				

Tabla 18: Comparación de las alternativas con su carga útil.

7.7 Cálculo de la matriz de vectores promedio de los criterios con su ponderación propia.

Por último, se realiza el producto de la matriz formada por los vectores promedios para cada criterio y la ponderación obtenida por cada uno de esos criterios, es decir el grado de importancia dado por los expertos y reflejado en el Grafico 6. En la Tabla 19 se obtiene el resultado final del estudio para cada alternativa.

	AUTONOMÍA	TAMAÑO	ALCANCE	DISEÑO	CARGA ÚTIL	TOTAL
RAVEN RQ11B	0,295	0,242	0,180	0,069	0,091	0,171
HUGINN-X1	0,057	0,702	0,071	0,777	0,091	0,395
ALPHA800	0,649	0,056	0,748	0,155	0,818	0,433
PONDERACIÓN	0,1836	0,2424	0,1319	0,2406	0,2014	

Tabla 19: Matriz de los vectores promedio y de la ponderación.

Como se observa el resultado final de la Tabla 19, es el Alpha800 siendo el que obtiene una mayor, 43,3 % seguido muy de cerca del Huginn -X1 con un 39,5% de puntuación.

Al principio de la memoria se estimó que el UAV óptimo sería el Alpha800 por cubrir las necesidades encontradas en la unidad, es decir, era el único que podía soportar una carga útil superior a 1 kilogramo, peso aproximado de los tres sensores seleccionados, el multispectral, el sensor termográfico y el sistema Lidar. No obstante, esta característica no era excluyente pues también se consideró beneficioso la incorporación de uno de los tres sensores para los reconocimientos de ingenieros.

Debido a que el cuadro de expertos dio mayor importancia al tamaño que a la carga útil, se llevó a cabo el AHP conociendo las preferencias del personal entrevistado. Gracias al análisis se pudo demostrar que la opción más conveniente aun teniendo el tamaño mayor sería el Alpha800.

7.8 Alpha800

Con firma española, la empresa Alpha Security and Defense con base en Madrid, creó el Alpha 800, un helicóptero no tripulado fiable y duradero, disponible para una multitud de tareas [38]. Vuela de forma autónoma o en modo manual, haciendo básicamente lo mismo que un helicóptero tripulado, pero con un mantenimiento y costes significativamente inferiores [38].

Muy ligero y fácilmente maniobrable, con menos de 14 kg de peso, no se ve afectado por los reglamentos que limitan fuertemente el uso de UAV más pesados [38]. Con una gran versatilidad para realizar gran variedad de misiones [38].

- Autonomía de vuelo de 2,5 horas.
- Capacidad de carga de 3kg.
- Rango de acción de hasta 30 km.
- Gran variedad de cargas útiles disponibles para su incorporación, hasta 3 kilogramos.
- Despegue / aterrizaje vertical, automático y vuelo estacionario.
- Capacidad de vuelo prolongado gracias a su motor de gasolina.
- Regreso automático a la base en caso de fallo de comunicación.

El Alpha800, el helicóptero que participa principalmente en misiones de despliegues de inteligencia, vigilancia y reconocimiento, tiene la función de para volar en ambientes meteorológicos adversos o con el GPS denegado [41]. Se utiliza como un puesto de observación avanzada, detección de explosivos, relé de comunicaciones para tropas o incluso el envío de suministros urgentes (de hasta 3 kilos de carga), en definitiva, misiones para un reconocimiento propio de ingenieros [41].

Las FAS, gracias a la DGAM del MINISDEF se han hecho con un sistema completo, compuesto por dos helicópteros UAV y una estación en tierra [41]. La idea es la incorporación por parte del ministerio, de un sistema completo por cada batallón de las unidades de ingenieros.

8. Implementación del sistema para un reconocimiento de ingenieros en un UAV.

El Alpha800, UAV seleccionado, cuenta con una carga útil de hasta 3 kilos, siendo posible la adaptación de los tres sensores seleccionados, el sensor multiespectral, el sensor termográfico y el sistema Lidar. La adaptación de estos sistemas es sencilla pues cada sensor trae las herramientas necesarias para su incorporación. Sin embargo, lo complicado es la obtención de la titulación debido a que sin licencia no se puede volar.

8.1 Aviación no tripulada en las Fuerzas Armadas (FAS)

La aviación no tripulada supone numerosas ventajas para la realización de misiones internacionales. Sin embargo, todavía no se considera una herramienta que evite y dé respuesta al conflicto armado, pero sí un elemento clave para la ayuda a toda operación de las FAS. Los RPAS presenta muchas ventajas con respecto a la aviación convencional, el Cte. D. Luis Sandoval, destaca las siguientes características:

- Una reducción de costes por parte de los UAS frente a los aviones tradicionales.
- El manejo en tierra de la plataforma supone un aumento de seguridad y una reducción del riesgo. No se arriesgan vidas del personal de las FAS.
- Los sistemas no tripulados proyectan una mayor versatilidad con una utilización menor de logística
- Al no estar en la cabina en ZO, se reduce el estrés por parte del piloto lo que puede generar una optimización de la realización de la misión encomendada

Los países que más presupuesto destinan al i+D del mundo RPAS, son Israel y EE. UU, por el contrario, España se ve un tanto retrasada con respecto a esta tecnología. Ignacio Ambrosio, especialista técnico en Indra [42], expone que en su empresa se intenta desarrollar una plataforma de vuelo similar a la de un helicóptero, pero con tamaño más reducido llamado Pelicano Indra, sin embargo, considera que el final de los proyectos se hacen complejos si no se creen en ellos o si no se ve hacia el futuro como una tecnología puntera no suelen funcionar.

En el proyecto pelicano ha ocurrido esto, ante la presión de este mundo globalizado, empresas tan grandes como Indra, donde su trabajo se ha visto sucumbido por el imperio tecnológico chino, ha tenido

*que evolucionar. Al final el mercado nacional y europeo junto con alguno otro país, nos apoyamos entre todos para un desarrollo efectivo.*³⁹

“Las previsiones de crecimiento de tráfico de drones anticipan un gran desarrollo del mercado. Su empleo se extenderá a múltiples nuevos campos, desde agricultura hasta logística o incluso transporte, con la irrupción de los sistemas Urban Air Mobility, UAM, [43].” Y así es como esta empresa va evolucionando en cuestión de las necesidades, el desarrollo de esta tecnología cambia cada poco tiempo y eso implica una evolución constante.

Además, uno de los inconvenientes del uso de los UAS, es la normativa restrictiva que se presenta. Si bien es cierto, que la normativa militar es más permisiva que la civil, pero aún no se ha explotado al 100%. Por el momento, a la hora del vuelo, se aíslan espacios aéreos con dimensiones y horarios definidos, activándolas y desactivándolas según las necesidades propias, esto no es una solución a largo plazo, en un futuro lo que se quiere conseguir es que tanto la aviación no tripulada, UAS, como la aviación convencional tenga la misma reglamentación [44].

8.2 Ser piloto en España

España cuenta con una escuela de UAS, ubicada en Salamanca, en la BA de Matacán. Fue creada en el 2012, y en ella se forma a personal de todos los ejércitos y armas, desde tropa hasta oficiales. El Cte. Sandoval definió en su entrevista los pasos a seguir para obtener el título de piloto de UAS.

1. Realizar el curso de formación en la BA. Matacán, tanto para tropa, suboficiales como para oficiales. Una vez finalizado el curso formativo se consigue la licencia, dependiendo del peso (tipo MICRO, tipo MINI, tipo SMALL). Se denomina plan de adiestramiento básico, PAB.
2. Una vez el piloto consigue su licencia, este vuelve a su unidad de destino y es allí donde se le forma específicamente en el UAV en dotación de su unidad. Hay dos planes de instrucción (P.I)
 - a. P.I. 1→ En el plan de instrucción 1 se enseña a volar el RPAS de forma específica en función de lo que la unidad quiera conseguir con ese sistema o en función de las necesidades propias. Es la propia unidad la que se autogestiona.
 - b. P.I. 2→ Manejo de misiones, es decir, el tipo de operaciones para las que se necesite ese UAV.
3. Por último, se necesita un mantenimiento propio de las aptitudes. Cada seis meses se realiza una renovación de las licencias para no olvidarse y comprobar que sigue siendo apto para vuelo.

³⁹ Ignacio Ambrosio, técnico de Indra.

Los cursos se realizan cuando los distintos ejércitos lo solicitan. Pudiendo formar a un máximo de 20 personas por curso, lo que supondría un total de 220 operadores formados anualmente, ver Tabla 20.

Cantidad de cursos al año	TIPO
5	MICRO
5	MINI
1	SMALL

Tabla 20: Cursos anuales según tipo UAS

8.3 Licencias y cursos

En la Tabla 21, dependiendo del tipo de licencia que se requiera los cursos varían. Gracias a la información aportada por GRUEMA, grupo de escuelas de Matacán:

- Para la capacitación del tipo MICRO, clase I, UAS menores a dos kilogramos, el curso se realizaría a distancia, a través de video conferencias, y no supondría ningún gasto extra para El ministerio de defensa.
 - Para la capacitación del tipo MINI, clase II, UAS menores a 20 kilogramos, el coste por alumno serían unos 1.900 euros, según fuentes incluyendo horas de vuelo, horas del simulador y las propias nóminas, además de la amortización de las infraestructuras y la utilización del mobiliario. El curso serían tres semanas a distancia y dos semanas presenciales.

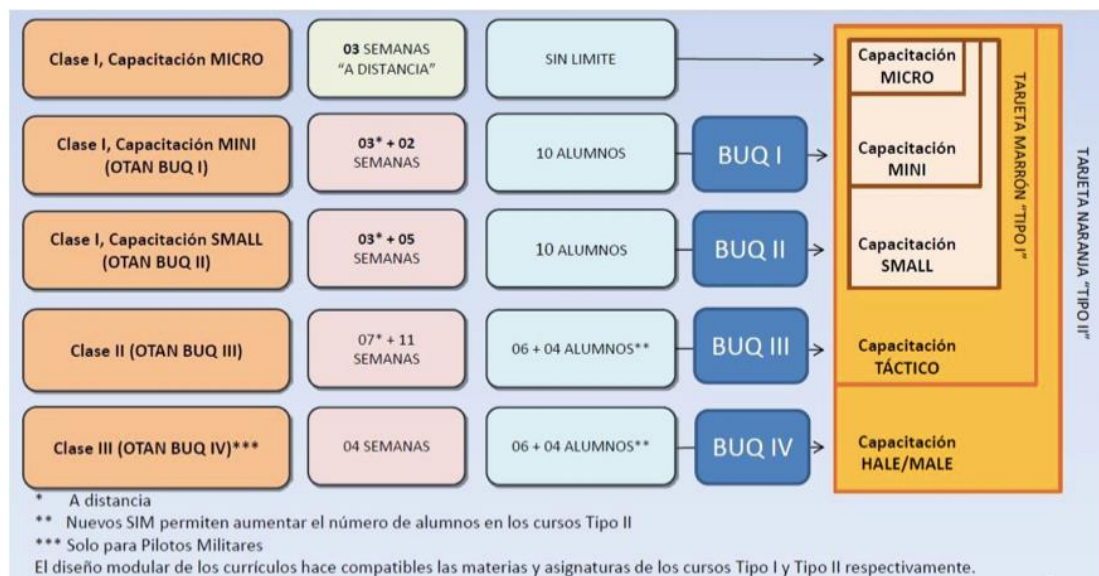


Tabla 21: Tipos de licencias según la clase de UAS, fuente GRUEMA.

9. Líneas futuras

Los UAV están creciendo debido al avance tecnológico, la popularidad seguirá aumentando y la tendencia de este mercado es alcista. En un futuro se espera que ganen mayor autonomía y alcance, además se está empezando a no necesitar ni del piloto a tierra.

Se espera mejorar en la emisión y la recepción de la señal, así como el desarrollo de un sistema autoprotección para evitar perturbaciones de señales además se necesitan avances en la tecnología anti-drone, es decir, evitar que drones enemigos nos ataquen las bases.

Con la utilización de UAS podemos obtener ortofotografías de manera rápida, con resultado óptimo y más económica que con las técnicas convencionales. Destacar la importancia que tiene el uso de la fotogrametría, donde solo se necesitaría una cámara HD, que solapa fotos, para generar modelos 3D sin necesidad del sistema LIDAR, en caso de que éste fallara, siendo esto una futura implementación si se consiguiera obtener un UAV únicamente.

Para finalizar, una de las principales aplicaciones de la fotogrametría, es la topografía, disciplina fundamental en todas las operaciones militares, que permite medir coordenadas en tres dimensiones.

10. Conclusiones.

La principal conclusión es que la utilización de los UAV permite no arriesgar la vida humana y reduce la amenaza en las operaciones, si a esto se le añaden los sistemas adecuados, el reconocimiento de ingenieros se haría de la forma óptima.

Tras el estudio AHP, de los modelos seleccionados gracias al asesoramiento valioso de los expertos entrevistados se concluye que el modelo óptimo como “Sistema integrado en un UAV para el reconocimiento técnico de ingenieros”, título de este trabajo, es la adaptación del sensor multiespectral MicaSense RedEdge MX, el cámara termográfica Flir Boson y el sistema Lidar LeddarTech Vu8, en el UAV Alpha800. Este helicóptero no tripulado, ya disponible en el ET, es del tipo mini y cumple las necesidades requeridas.

De fácil manejo y con una carga útil de 3kg, permite incorporar los sensores seleccionados para cumplir la misión de apoyo al combate de forma versátil, inmediata y flexible, VTOL, sencilla formación del operador y óptimo para reconocimientos con gran autonomía y largo alcance.

La incorporación de un sistema completo para cada Batallón de las Unidades de Ingenieros, tanto zapadores (cuyos reconocimientos son CIED, observación de puntos sensibles...) como para especialidades (construcción de obras, puentes o infraestructuras) permitiría mejorar sus capacidades y su disponibilidad operativa, beneficiando su integración y el servicio de apoyo que prestan a las Unidades de combate.

11. Bibliografía

- [1] M. Bravo, «FayerWayer,» 14 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.fayerwayer.com/2019/02/guerra-fria-tecnologia/>. [Último acceso: 2 Noviembre 2020].
- [2] R. F.-C. d. Cominges, «Repositorio de Comillas,» Abril 2014. [En línea]. Available: <https://repositorio.comillas.edu/rest/bitstreams/775/retrieve>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [3] C. McGrady, «Arrow,» 2 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/drones-fly-into-the-mainstream-economy>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [4] J. Montero, «Todrone,» 18 Marzo 2016. [En línea]. Available: <https://www.todrone.com/diferencias-hay-entre-rpa-uav-rpas-uas-dron/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [5] «BOE,» 17 Octubre 2014. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2014-10517>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [6] M. d. A. y. Doctrina, «Reconocimiento de Ingenieros,» de MP-403, Ejército de Tierra, 16 de marzo del 2020, p. 92.
- [7] C. C. Rajado, «hemav.com,» 7 Abril 2016. [En línea]. Available: <https://hemav.com/el-origen-y-la-historia-de-los-drones>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [8] O. N. Gutiérrez, «Memorial de Ingenieros nº103,» p. 106, Diciembre.
- [9] J. Fernández, «El Confidencial,» 30 12 2019. [En línea]. Available: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2019-12-30/dron-ejercito-aire-espana-tecnologia-militar-predator_2390872/. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [10] Defensa, «Defensa.gob,» Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.defensa.gob.es/Galerias/gabinete/red/2018/red-349-drones.pdf>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [11] S. G. T. Ministerio de Defensa, «Manual PDC-01 Doctrina para el empleo de las FAS,» Ministerio de Defensa, 2018.
- [12] C. Fonseca, «Voz Populi,» 4 Febrero 2017. [En línea]. Available: https://www.vozpopuli.com/actualidad/Ejercito-drones_0_996201538.html. [Último acceso: 2020 Noviembre 2020].
- [13] A. Insights, «Aerial Insights,» Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.aerial-insights.co/blog/camara-multiespectral/#:~:text=Una%20c%C3%A1mara%20multiespectral%2C%20como%20su,ca ptar%20varios%20espectros%20de%20luz.&text=A%20partir%20de%20las%20im%C3%A1genes,el%20bienestar%20de%20la%20vegetaci%C3%B3n..> [Último acceso: 1 Noviembre 2020].
- [14] HobbyTuxtla, «HobbyTuxtla,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.hobbytuxtla.com/camaras-accesorios/camaras-multiespectrales/parrot-sequoia-plus/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [15] IberDron, «Iber Dron,» [En línea]. Available: <https://iberdron.com/producto/comprar-parrot-sequoia-la-camara-multiespectral/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [16] T. GIS, «TYC GIS,» [En línea]. Available: <http://tycgis.com/rededge-mx/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [17] MicaSense, «MicaSense,» [En línea]. Available: <https://micasense.com/es/sistema-camara-dual/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].

- [18] S. Home, «Slow Home,» 8 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.slowhome.es/comprar-terreno/como-saber-si-un-terreno-es-bueno-para-construir>. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].
- [19] T. Gis, «TycGis,» [En línea]. Available: <https://tycgis.com/parrot-sequoia-vs-rededge-micasense/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].
- [20] A. Insights, «Aerial Insights,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.aerial-insights.co/blog/camaras-termograficas-para-drones/>. [Último acceso: 2 Noviembre 2020].
- [21] Flir, «Flir Media,» [En línea]. Available: https://www.flirmedia.com/MMC/CVS/Appl_Stories/AS_0007_ES.pdf. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].
- [22] «Servicios Drones,» [En línea]. Available: <https://www.servicioscondrones.com/tienda/producto/sensor-termografico-flir-boson-320>.
- [23] Flir, «Flir,» [En línea]. Available: <https://www.flir.es/products/boson/>. [Último acceso: 2020 Noviembre 2020].
- [24] Apliter, «Apliter,» [En línea]. Available: <http://apliter.com/es/producto/camara-termica-flir-duo>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [25] G. Acre, «Grupo Acre,» [En línea]. Available: <https://grupoacre.es/catalogo-productos/flir-vue-pro/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [26] Flir, «Flir,» [En línea]. Available: <https://www.flir.es/products/vue-pro/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [27] YellowScan, «YellowScan,» 7 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://www.yellowscan-lidar.com/es/knowledge/how-lidar-works/>. [Último acceso: 3 Noviembre 2020].
- [28] G. Drones, «Guia Drones,» [En línea]. Available: <https://guiadrones.com/base-de-conocimiento/sensores-lidar-para-uavs-drones-lidar-y-muchos-grandes-usos/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].
- [29] L. Tech, «Leddar Tech,» [En línea]. Available: <https://leddartech.com/where-to-buy/#vu8/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [30] Y. S. Mapper, «YellowScan,» [En línea]. Available: <https://www.yellowscan-lidar.com/es/products/mapper-3/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].
- [31] M. d. Defensa, «Defensa GOB,» [En línea]. Available: https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Madrid/ceget/Noticias/2016/19_Geodrone_ceget.html. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].
- [32] T. M. Tomás, «Infodrone,» 25 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <http://infodron.es/id/2017/11/25/noticia-recibe-condor-geodrone.html>. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].
- [33] E. Confidencial, «El confidencial,» [En línea]. Available: <https://www.elconfidencialdigital.com/articulo/defensa/defensa-probara-drones-dotados-armamento-guiado/20200826174016156864.html>. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].
- [34] Wikipedia, «Wikipedia,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/AeroVironment_RQ-11_Raven#/media/Archivo:RQ-11_Raven_E.T..JPG. [Último acceso: 2020 Noviembre 2020].
- [35] E. Villarejo, «ABC,» 26 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://abcblogs.abc.es/terra-mar-aire/industria-de-defensa/huggin-infanteria-marina-dron.html>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [36] J. A. Borque, «Libertad Digital,» 19 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.libertaddigital.com/espana/2018-12-19/defensa-compra-dos-helicopteros-no-tripulados-alpha-800-para-las-fuerzas-armadas-1276630134/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].

- [37] Wikipedia, «Wikipedia,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Unidad_Militar_de_Emergencias. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [38] Alpha, «Alphaunmanned,» [En línea]. Available: <https://alphaunmannedsystems.com/alpha-800-uav/?lang=es>. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].
- [39] T. L. Saaty, 1980. [En línea]. Available: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [40] G. B. Toskano Hurtado, «Sis Bib,» [En línea]. Available: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/toskano_hg/cap3.PDF. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [41] G. Araluce, «El Español,» 13 Julio 2019. [En línea]. Available: https://www.elespanol.com/espana/20190713/alpha-minihelicoptero-espanol-neutraliza-amenazas-medio-mundo/413209584_0.html. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].
- [42] I. Ambrosio, «LinkedIn,» [En línea]. Available: https://es.linkedin.com/in/ignacioambrosio?trk=public_post_share-update_actor-text. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [43] Indra, «INDRA,» [En línea]. Available: <https://www.indracompany.com/es/indra-air-drones>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [44] M. A. Soriano, «Parapente Santa Pola,» Febrero 2013. [En línea]. Available: http://www.parapentesantapola.es/uploads/documentacion/ESPACIOS-AEREOS-reglamentacion-aplicada-al-Vuelo-Libre_V1_2.pdf. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [67] Parrot, «Parrot Sequoia,» [En línea]. Available: parrot.com. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [68] D. c. cámara, «Drone con cámara,» [En línea]. Available: <https://droneconcamara.online/drones-con-camaras-termicas/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [69] RS, «RS,» Julio 2017. [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/euro/img/general/pdf/5508-guia-seleccion-termografia.pdf>. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].
- [70] S. Drones, «Servicios Drones,» [En línea]. Available: <https://www.servicioscondrones.com/tienda/producto/sensor-termografico-flir-boson-320>. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].

Otra bibliografía

- C. Cuerno-Rejado, «UPM.es,» [En línea]. Available: http://oa.upm.es/40803/1/INVE_MEM_2015_203893.pdf.
- A. H. Almagro, «UPCT.es,» [En línea]. Available: <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/6474/tfg-herdis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Anonimo, «eldrone.es,» [En línea]. Available: <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>.
- M. d. Defensa, «Publicaciones de defensa,» [En línea]. Available: https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/m/o/monografia_sopt_15.pdf.
- S. Direct, Julio 2018. [En línea]. Available: <https://protegiendopersonas.es/sensores-infrarrojos-que-son-y-para-que-se-utilizan/>.

- «El vuelo drone,» [En línea]. Available: <https://elvuelodeldrone.com/repuestos-y-accesorios/repuestos-parrot/camara-multiespectral-parrot-sequoia/>.
- «Heliceo,» [En línea]. Available: <http://www.heliceo.com/es/produits-pour-geometres/tecnologia-lidar/>.
- «Robotshop,» [En línea]. Available: <https://www.robotshop.com/es/es/telemetro-optico-leddarone-leddartech-uart-33v.html>.
- «Yellow Scan,» [En línea]. Available: <https://www.yellowscan-lidar.com/es/products/mapper-3/>.
- C. d. expertos, Interviewee, [Entrevista]. Septiembre 2020.
- «Wikipedia,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/AeroVironment_RQ-11_Raven.
- «Academia Testo,» [En línea]. Available: <http://www.academiatesto.com.ar/cms/resolucion-netd-exactitud>.
- «Miloptik,» [En línea]. Available: http://www.miloptik.se/pdf/Sky-Watch%20Huginn%20X1_V2_specs.pdf.
- «Wikipedia,» [En línea]. Available: <https://es.m.wikipedia.org/wiki/LIDAR>
<https://www.yellowscan-lidar.com/es/knowledge/how-lidar-works/>.
- «CIS,» [En línea]. Available: <https://cisde.es/catalogo-de-cursos/programas-superiores/tecnologia-militar-programas-superiores/tecnico-avanzado-en-drones-de-aplicacion-militar>.
- «Comunidades Dism,» [En línea]. Available: <http://www.comunidadism.es/blogs/los-drones-analisis-del-estado-del-arte-basado-en-la-experiencia>.
- «El Blog Salmon,» [En línea]. Available: <https://www.elblogsalmon.com/economia-domestica/efectos-positivos-de-la-crisis>.

12. Anexos

12.1 Anexo I. Órdenes de reconocimientos técnicos de ingenieros

Modelo de orden de reconocimiento de jefe de ingenieros

ORDEN DE RECONOCIMIENTO N.º _____

Copia n.º de . copias

Jefe de Ingenieros

Lugar:

.....
.....

Grupo Fecha-Hora:

.....

Referencias:

Zona horaria:

Cartografía:

Situación

- Fuerzas enemigas presentes en la zona a reconocer.
- Condicionantes del terreno y climatología.
- Fuerzas e instalaciones propias.

Orden de obtención

Se expresará la necesidad de información que se solicita en la orden de obtención.

Posibilidad de que los carros tipo X puedan transitar por la avenida de aproximación Y (la cual transcurre a caballo del río @ y de la ruta \$).

Misión

Se determinará/n la/s acción/es precisa/s a realizar por una misma unidad ejecutante para obtener información que permita responder la orden de obtención.

Reconocer la ruta \$ entre PK a y b.

(A otra unidad se le podría asignar en otra orden de reconocimiento otra misión relacionada con la misma orden de obtención, por ejemplo, reconocer el río @ entre los puntos de coord. X-Y).

Organización operativa

- Unidad ejecutante.
- Apoyos de otras unidades y/o de personal técnico especializado, en su caso.

Instrucciones de coordinación

- GFH de inicio y finalización de la misión.

- GFH de inicio y fin de los apoyos.
- Itinerarios y zonas prohibidas.
- Objetivos, límites, puntos de interés.
- Puntos de contacto con otras unidades.
- Condiciones de ejecución (de día o de noche, etc.).

Apoyo logístico

- 6.1. Abastecimiento.
- 6.2. Mantenimiento.
- 6.3. Movimiento y transporte.
- 6.4. Sanidad.
- 6.5. Personal.
- 6.6. Infraestructuras y obras.
- 6.7. Administración económica.

Mando y enlace

- Lugar, fecha y hora límite de entrega del informe de reconocimiento.
- Documentación adicional a proporcionar (documentos, audiovisuales, muestras, etc.).
- Código y medios de transmisión, indicativos, frecuencias y restricciones.
- Partes y novedades.

Instrucciones de coordinación

- GFH de inicio y finalización de la misión.
- GFH de inicio y fin de los apoyos.
- Itinerarios y zonas prohibidas.
- Objetivos, límites, puntos de interés.
- Puntos de contacto con otras unidades.
- Condiciones de ejecución (de día o de noche, etc.).

Apoyo logístico

- 6.8. Abastecimiento.
- 6.9. Mantenimiento.
- 6.10. Movimiento y transporte.
- 6.11. Sanidad.
- 6.12. Personal.
- 6.13. Infraestructuras y obras.
- 6.14. Administración económica.

Mando y enlace

- Lugar, fecha y hora límite de entrega del informe de reconocimiento.

- Documentación adicional a proporcionar (documentos, audiovisuales, muestras, etc.).
- Código y medios de transmisión, indicativos, frecuencias y restricciones.
- Partes y novedades.

Instrucciones de coordinación

- GFH de inicio y finalización de la misión.
- GFH de inicio y fin de los apoyos.
- Itinerarios y zonas prohibidas.
- Objetivos, límites, puntos de interés.
- Puntos de contacto con otras unidades.
- Condiciones de ejecución (de día o de noche, etc.).

Apoyo logístico

- 6.15. Abastecimiento.
- 6.16. Mantenimiento.
- 6.17. Movimiento y transporte.
- 6.18. Sanidad.
- 6.19. Personal.
- 6.20. Infraestructuras y obras.
- 6.21. Administración económica.

Mando y enlace

- Lugar, fecha y hora límite de entrega del informe de reconocimiento.
- Documentación adicional a proporcionar (documentos, audiovisuales, muestras, etc.).
- Código y medios de transmisión, indicativos, frecuencias y restricciones.
- Partes y novedades.

Modelo de orden de reconocimiento de jefe de unidad de ingenieros.

Orden de reconocimiento n.º: _____

Copia n.º de . copias

Unidad:

.....

Lugar:

.....

Grupo Fecha-Hora:

.....

Referencias:

Zona horaria:

Cartografía:

Situación

- Fuerzas enemigas que puedan condicionar el reconocimiento.
- Condicionantes del terreno y climatología.
- Fuerzas e instalaciones propias.

Orden de reconocimiento del jefe de ingenieros

Se expresará la misión contenida en la orden de reconocimiento del jefe de ingenieros de forma clara y concisa.

Reconocer la ruta & entre PK a y b.

Misión

Se determinará/n la/s acción/es precisa/s a realizar para cumplir la orden de reconocimiento del jefe de ingenieros.

Reconocer el itinerario entre los PK a y b de la ruta &.

Reconocer los puentes A (coord. X/Y), B (coord. X/Y) y C (coord. X/Y).

Equipo de reconocimiento

- Mando.
- Composición.
- Armamento, material y equipo.

Instrucciones de coordinación

- GFH de inicio y finalización de la misión.
- GFH de inicio y fin de los apoyos

- Itinerarios y zonas prohibidas.
- Objetivos, límites, puntos de interés.
- Puntos de contacto con otras unidades.
- Condiciones de ejecución (de día o de noche, etc.).
- Referencias.
- Cartografía, escala, hojas.
- Fotografía aérea y terrestre.
- Informes anteriores.
- Croquis.
- Documentación técnica relevante.
- Actuación en caso de acción adversaria.

Apoyo logístico

- 6.1. Abastecimiento.
- 6.2. Mantenimiento.
- 6.3. Movimiento y transporte.
- 6.4. Sanidad.
- 6.5. Personal.
- 6.6. Infraestructuras y obras.
- 6.7. Administración económica.

Mando y enlace

- Lugar, fecha y hora límite de entrega del informe de reconocimiento.
- Documentación adicional a proporcionar (documentos, audiovisuales, muestras, etc.).
- Código y medios de transmisión, indicativos, frecuencias y restricciones.

Partes y novedades.



12.2 Anexo II Entrevistas al cuadro de expertos Encuesta nº1



Sistema para reconocimientos técnicos de ingenieros integrados en un UAV

Este documento consta de una serie de preguntas, que se realizaron entre los meses de septiembre y octubre del 2020, tanto al personal del Regimiento de Especialidades nº11 (REI nº11), personal de la base aérea de Maticán y personal civil perteneciente a empresas como INDRA, o AERTEC. El resultado de dichas preguntas formará parte de un proyecto de investigación, Trabajo de Fin de Grado del Centro Universitario de la Defensa.

Apellidos:	
Nombre:	
Empresa/Unidad en la que trabaja:	
Empleo (en caso de militar):	
Años de trabajo relacionados con el mundo de la aviación o UAS:	

Experiencia personal:

1. ¿Cuántos años lleva formando parte del mundo de la aviación?
2. ¿Considera usted que la tecnología se está adaptando a las necesidades de la población?
3. ¿Cree usted, que el Ministerio de Defensa debería dar más importancia a sus proyectos de investigación, i+D?
4. ¿Ha participado en alguna misión internacional? ¿De ser así, podría usted decir algún caso práctico en el que le hubiera gustado contar de algún medio o material del que no disponen?
5. ¿Se ha encontrado alguna situación en la que este sistema integrado en un UAV hubiera resultado útil, salvado alguna vida, provocado un ahorro de tiempo o una mayor eficacia?

Reconocimiento de ingenieros:

6. Podría definirme alguna de las limitaciones que tiene a día de hoy los reconocimientos técnicos de ingenieros.
7. ¿Considera que un sistema no tripulado proporcionaría mayores prestaciones, para así poder hacer un reconocimiento técnico de ingenieros más efectivo y seguro?
8. Hoy en día, ¿cómo se realizan los reconocimientos de ingenieros?
9. ¿Cree usted que los procedimientos actuales de estos reconocimientos están anticuados?
10. ¿Considera que se pierde efectividad con sus procesos?
11. Defina las características esenciales que para usted debería tener todo reconocimiento de ingenieros.

Elección del mejor sistema para ayudar a un reconocimiento de ingenieros:

12. En cuanto a las necesidades del REI nº11, ¿podría enumerar las carencias principales encontradas para mejorar el cumplimiento de la misión encomendada?
13. ¿Qué requisitos debería reunir el sistema para apoyar de forma correcta las operaciones militares españolas?
14. ¿Podría definir los criterios necesarios para el sensor?

15. ¿Qué sensor o sistemas considera que podrían ser óptimos en una unidad de ingenieros del Ejército de Tierra? ¿Alguno específico para el REI nº11?
16. Defina el grado de necesidad de la implementación de un sensor/ sistema en un UAV para la mejora de todo reconocimiento técnico, marque a la casilla correspondiente.

Elección del mejor UAV que se adapte al sistema elegido:

17. ¿Qué características debería tener un UAS?
18. ¿Cree que la autonomía es determinante para el objetivo de este proyecto?
19. ¿cuántos UAV debería tener en dotación cada compañía?
20. Algunos ejemplos en los que la utilización de estos sistemas supondría un ahorro de tiempo
21. Dado que para volar un UAV se necesita tener un curso, ¿sería viable que toda la gente tuviera dicho curso? En caso contrario, ¿cuánta gente podría disponer de ese curso?
22. ¿Qué UAV considera que consigue las mejores prestaciones?

Ejemplos en zona de operaciones:

23. Cada día hay más operaciones en las que se les añade como apoyo externo un UAS, operaciones como la de Malí, la campaña antártica, Afganistán... ¿se le ocurre algún otro ejemplo claro, en el que se han utilizado de estos medios para operaciones reales?

Muy alto	
Alto	
Medio	
Bajo	
Ninguno	

Encuesta n°2: Selección del grado de importancia de los diferentes criterios seleccionados por los expertos.

En esta encuesta se valorará personalmente, y según la opinión de los expertos, el grado de importancia considerado para cada criterio. Se enumerará del uno al diez, siendo el 1 el criterio menos relevante y el 10 el mas importante para cada experto.

Para los sistemas:

1. Una vez conocidos las especificaciones técnicas, de los tipos de sensores, ¿podría decir usted cual sería el óptimo de cada tipo, así como la razón de dicha elección?
 - a. Multiespectrals
 - i. Parrot Sequoia
 - ii. MicaSense RedEdgeMX
 - iii. MicaSense RedMX Blue
 - b. Sensor termográfico
 - i. Flir VuePro 336
 - ii. Flir DuoVue
 - iii. Flir Boson 20
 - c. Sistema LIDAR
 - i. LidarTeach Vu8
 - ii. YellowScan Mapper
2. Dados los criterios seleccionados por el resto del personal entrevistado, ¿podría definir valores a dichos criterios, del 1 al 10, siendo uno el menos importante y 10 el criterio más necesario?
 - a. Adaptabilidad
 - b. Ligereza
 - c. Versatilidad

Para los UAV:

1. Defina el grado de importancia de los criterios seleccionados por los expertos para los sistemas no tripulados, siendo 1 el menos valorado y 10 el más.
 - a. Autonomía
 - b. Tamaño
 - c. Alcance
 - d. Diseño
 - e. Carga útil

Encuesta n°3: Selección de las preferencias.

Para la realización del análisis de procesos jerárquico, AHP, se necesita la opinión de los expertos seleccionando para así conocer sus preferencias en cuestión de los criterios elegidos anteriormente, así como de las alternativas.

A continuación, encontrará una serie de tablas que deberá rellenar según sus prioridades de la siguiente manera:

PLANEAMIENTO VERBAL DE LA PREFERENCIA	CALIFICACIÓN NUMÉRICA
Extremadamente preferible	9
Muy fuertemente preferible	7
Fuertemente preferible	5
Moderadamente preferible	3
Igualmente preferible	1

Para los sistemas de reconocimiento dependiendo del criterio, seleccione su preferencia según tabla superior.

Muchas gracias por su colaboración.

12.3 Anexo III, Fotografías de la Campaña Antártica cedidas por el Soldado D. Jaime Vargas Sánchez.

El Soldado Jaime Vargas Sánchez, perteneciente a la 1º CIA del BCAS, participó en la campaña Antártica, Base General de Castilla, cediendo alguna de las imágenes de la expedición.

Personal perteneciente a la campaña Antártica, a la izquierda de la fotografía, Capitán con el curso de drones portando en su mano la estación de control, a la derecha un científico de la expedición.



Imagen 13: Capitán acompañado de un científico en la Campaña Antártica

Parte del material de dotación de la campaña, fue el transporte de un UAV para los trabajos, uno de ellos fue la contabilización de la población de pingüinos.



Imagen 14: UAV de la expedición

El la expedición solo contaban dos personal con la capacitación de vuelo del UAV, un Capitán y la Sargento 1°.



Imagen 15: Equipo de la expedición manejando el UAV

12.4 Anexo IV, Cuadro de Expertos, personal entrevistado

Empleo	Nombre	Apellido
Coronel	Carlos M ^a	Bernardo
Comandante	Luis Miguel	Sandoval
Capitán	Javier	López-Valle
Capitán	Eloy	Fernández De Gatta
Teniente	Marco	Garzón
Teniente	Antonio	Garnés
Teniente	M ^a Carmen	Barragán
Brigada	Javier	Echeverría
Sargento 1º	Alfonso	Pérez
Sargento 1º	Marcos	Maide
Sargento	Eduardo	Moretón
Cabo	Judith	Rodríguez
Soldado	Jaime	Vargas
Soldado	Miguel	Seisedos

Empresas	Nombre	Apellido
AERTEC	Ignacio	Barandiarán
INDRA	Ignacio	Ambrosio
IBERIA	Antonio	González-Montagut

12.5 Anexo V, Resultados de la encuesta acerca del tipo de sensor

Empleo	Nombre	Apellido	Sistema
Coronel	Carlos M ^a	Bernardo	LIDAR, sensor termográfico
Comandante	Luis Miguel	Sandoval	LIDAR, sensores multiespectrals
Capitán	Javier	López-Valle	Escáner 3D
Capitán	Eloy	Fernández De Gatta	Fotogrametría, LIDAR, sensor multiespectral
Teniente	Marco	Garzón	Sensor termográfico
Teniente	Antonio	Garnés	Sensor termográfico
Teniente	M ^a del Carmen	Barragán	Sensores multiespectrals, sensor termográfico
Brigada	Javier	Echeverría	Sensor para un levantamiento 3D del terreno, LIDAR
Sargento 1 ^o	Alfonso	Perez	Sensores multiespectrals y sensor termográfico
Sargento 1 ^o	Marcos	Maide	Cámara de alta calidad y sensor termográfico
Sargento	Eduardo	Moretón	Sensor acústico
Cabo	Judith	Rodriguez	Sensor detector de gases
Soldado	Jaime	Vargas	Sensor termográfico
Soldado	Miguel	Seisdedos	Sensores multiespectrals

Empresas	Nombre	Apellido	Sistema
AERTEC	Ignacio	Barandiarán	LIDAR
INDRA	Ignacio	Ambrosio	LIDAR
IBERIA	Antonio	González-Montagut	Sistema anticollisiones TCAS ⁴⁰

⁴⁰ Del inglés, Traffic Collision Advisory System

12.6 Anexo VI, ejemplos de los sensores multiespectral. Parrot Sequoia

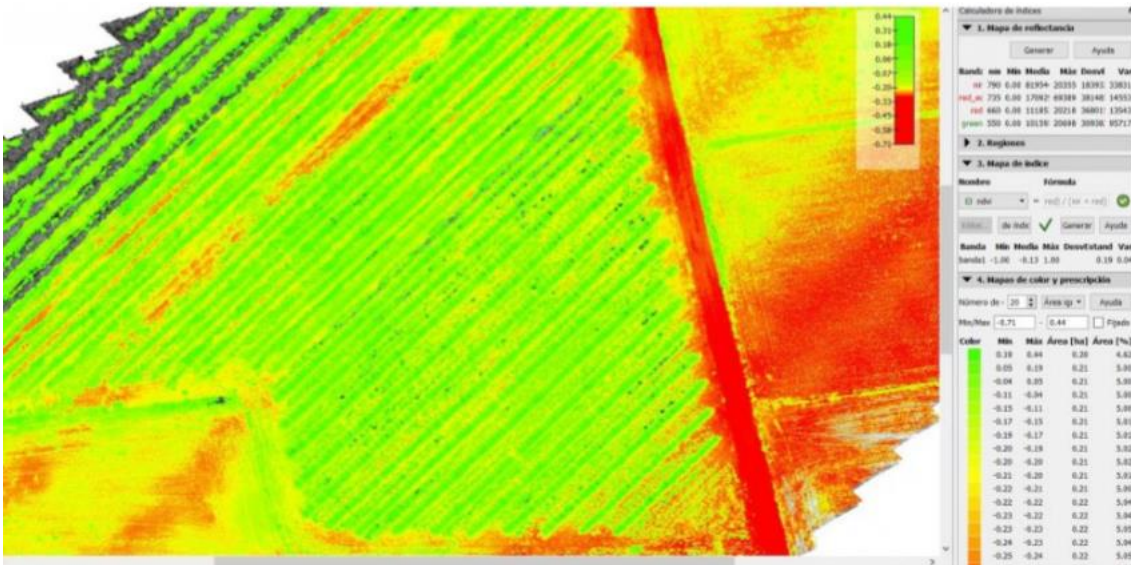


Imagen 16: Ejemplo de un campo de cultivo con el Parrot Sequoia, fuente: agcdrone.com

MicaSense RedEdge MX Dual

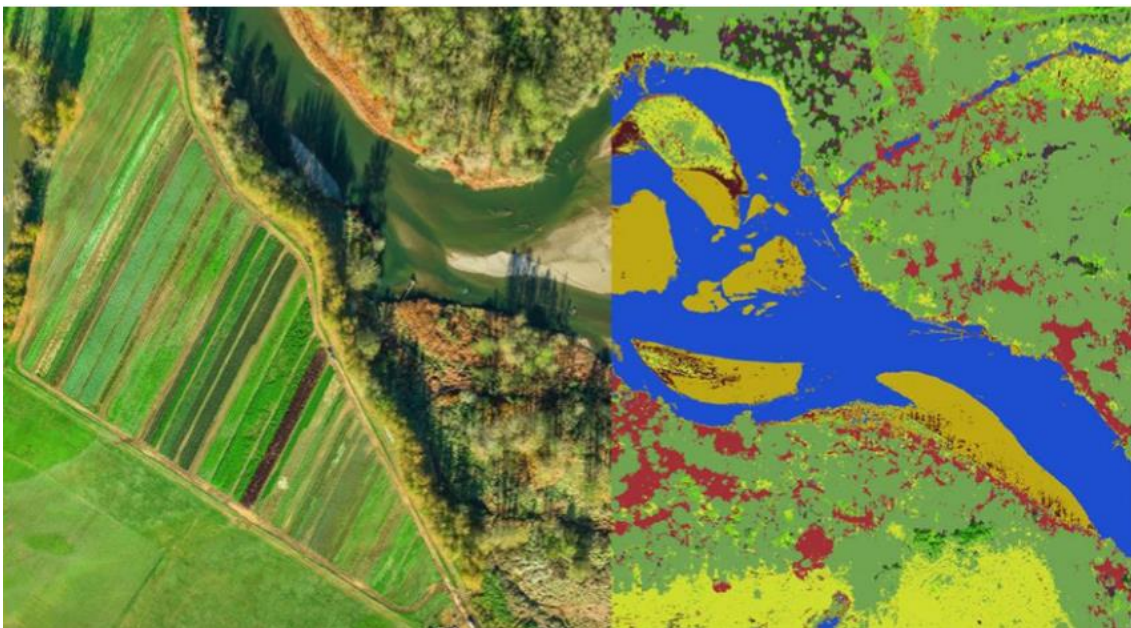


Imagen 17: Ejemplo de un río con el MicaSense RedEdge MX Dual, fuente: médium.com

12.7 Anexo VII, Ejemplos de sensores cámaras térmicas

Flir Boson

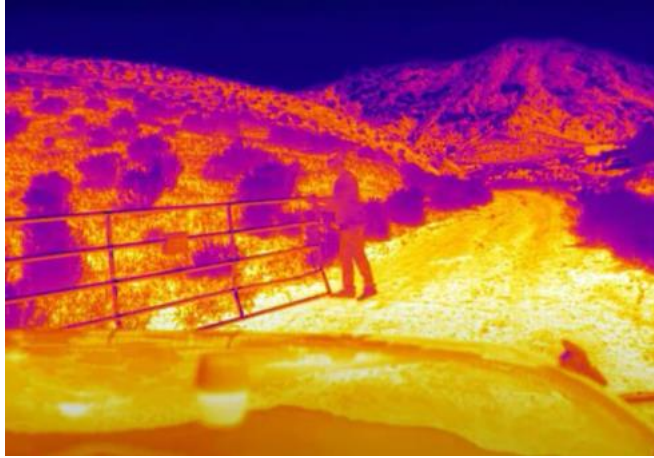


Imagen 18: Ejemplo de imagen generada con el Flir Boson, fuente youtube Group Grets

Flir Duo Vue



Imagen 1926: Imagen generada con el sensor Flir Duo Vue, fuente: bitcom.es

Flir Vue Pro



Imagen 20: Ejemplo de la imagen obtenida con el Flir Vue Pro, ffuente: fotoaerea.com

12.8 Anexo VIII, Ejemplos Sistemas LIDAR.

LeddarTech Vu8

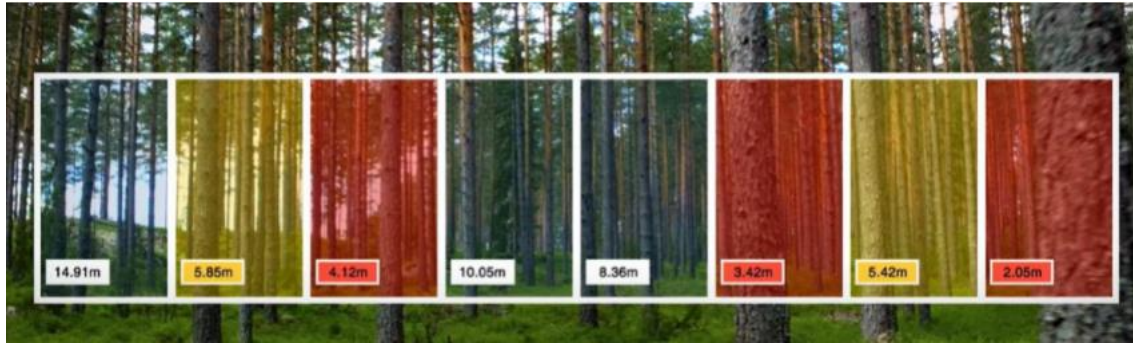


Imagen 21: Resultado de la imagen de un drone portando el LeddarTech, [29].

YellowScan Mapper

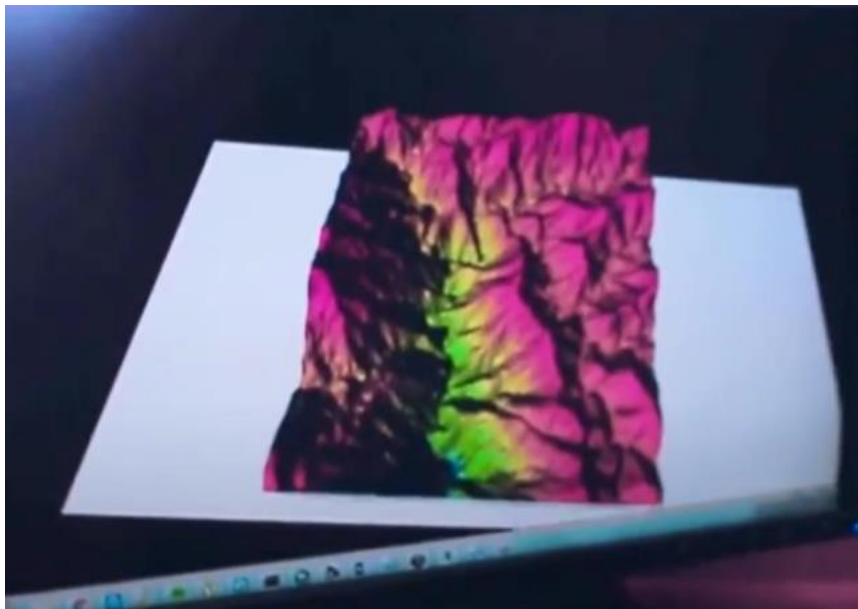


Imagen 22: Imagen generada por el Sistema Lidar de YellowScan Mapper, fuente: pangripta geomatika

12.9 Anexo IX, Ventajas e inconvenientes del Geodrone.

Resultado de la entrevista verbal de la teniente Barragán y la oficina técnica del BCAS.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Útil para realizar levantamientos topográficos de gran superficie en poco tiempo gracias a los archivos obtenidos en conjunto con otros programas informáticos.	Está muy condicionado por las condiciones climatológicas.
Obtiene una imagen de gran calidad, precisión y además esta georreferenciada.	Necesita de una amplia superficie diáfana tanto para el despegue como para el aterrizaje.
A nivel técnico, reconocimiento del estado de instalaciones e infraestructuras, localización de redes eléctricas, estado de la orografía.	Requiere un importante trabajo previo para la colocación de los puntos de control y preparación de los elementos del GEODRONE para su despegue.
En ZO, evaluación del estado del terreno evitando una situación de peligro.	Es necesario un estudio previo de viabilidad y solicitud de autorizaciones (con restricciones de superficie y horario) para poder realizar el vuelo.
	Los equipos y programas informáticos de los que se dispone son muy poco potentes para tratar y poder trabajar los datos obtenidos.
	Se necesita bastante tiempo para procesar los datos.
	Tácticamente no proporciona una imagen a tiempo real del reconocimiento topográfico.
	Para el levantamiento topográfico, no proporciona la misma precisión que la estación total.

12.10 Anexo X, resultado de la pregunta acerca de los criterios para un UAV.

Coronel	Carlos M ^a	Bernardo	Carga de pago con capacidad suficiente
Comandante	Luis Miguel	Sandoval	Carga de pago elevada
Capitán	Javier	López-Valle	Autonomía con capacidad para usarlo un par de días
Capitán	Eloy	Fernández De Gatta	Largo alcance y autonomía elevada
Teniente	Marco	Garzón	Tamaño pequeño
Teniente	Antonio	Garnés	Que pese poco
Teniente	Carmen M ^a	Barragán	Tamaño pequeño con capacidad de adaptarle sensores
Brigada	Javier	Echeverría	Alcance y autonomía
Sargento 1º	Alfonso	Perez	Peso reducido
Sargento 1º	Marcos	Maide	Que sea poco pesado y ocupe poco
Sargento	Eduardo	Moretón	Que tenga muchas prestaciones
Cabo	Judith	Rodriguez	Que se le puedan incorporar muchos sensores
Soldado	Jaime	Vargas	Fácil de usar
Soldado	Miguel	Seisdedos	Fácil de volar, que no requiera curso y sobretodo que no necesite de una pista de aterrizaje
AERTEC	Ignacio	Barandiaran	Autonomía, carga de pago, alcance, que sea fácil de usar
INDRA	Ignacio	Ambrosio	Tamaño, practico, sencillo, adaptable
IBERIA	Antonio	González	Que sea pequeño y fácil de usar

Tabla 22: Criterios relevantes según expertos

CRITERIO
Autonomía
Tamaño
Alcance
Diseño
Carta útil

Tabla 23: Criterios relevantes