



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

## EMPLEO DE RPAS PARA LOS EQUIPOS OAVs

Autor

CAC Antonio López Álvarez

Directores

Director académico: Dr. D. Óscar de la Iglesia Pedraza.  
Director militar: Capitán D. Fernando Trinidad Bernabé.

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

**2022**



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, me gustaría expresar mi más sincera gratitud al Doctor Óscar de la Iglesia Pedraza, director académico de este Trabajo Fin de Grado, por su disposición, comunicación y constante ayuda a la hora de corregir y mejorar el trabajo para que el resultado fuera el mejor posible.

Agradecer a mi director militar, el capitán D. Fernando Trinidad Bernabé, por su motivación e implicación a la hora de afrontar y guiar este proyecto.

Especial agradecimiento merece el teniente D. Javier Ramos Velázquez. Gracias por su dedicación y continua colaboración durante mis prácticas. Ha sido un espejo en el que mirarse y un ejemplo de lo que debe ser un teniente.

Por último, me siento en la necesidad de agradecer a la 1ª Batería del Grupo de Artillería de Campaña XI por su gran acogida, entera disponibilidad y excelente trato que han hecho que me sintiera como uno más de la batería desde el primer día.



## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	ANTECEDENTES .....	1
1.2.	MOTIVACIÓN.....	2
1.3.	OBJETIVOS Y ALCANCE .....	2
1.4.	METODOLOGÍA.....	2
1.5.	ÁMBITO DE APLICACIÓN .....	3
2.	OBSERVADORES AVANZADOS EN LA ARTILLERÍA.....	4
2.1.	ESTRUCTURA DE UN GRUPO DE ARTILLERÍA DE CAMPAÑA .....	4
2.2.	LA FIGURA DEL OBSERVADOR AVANZADO DE ARTILLERÍA .....	6
3.	SISTEMAS RPAS.....	8
3.1.	GENERALIDADES SOBRE LOS SISTEMAS RPAS.....	8
3.2.	CLASIFICACIÓN .....	9
3.3.	SISTEMAS RPAS EN DOTACIÓN DEL EJÉRCITO DE TIERRA .....	9
3.4.	SISTEMAS RPAS COMERCIALES.....	11
4.	ELECCIÓN DEL SISTEMA RPAS .....	14
4.1.	REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA RPAS PARA EL OAV .....	14
4.2.	ELECCIÓN DEL SISTEMA RPAS .....	15
4.3.	RESULTADO DEL ANÁLISIS.....	19
5.	ANÁLISIS DAFO .....	21
6.	ANÁLISIS DE RIESGOS DEL USO DE RPAS .....	23
6.1.	RIESGOS POTENCIALES .....	23
6.2.	ANÁLISIS .....	26
7.	CONCLUSIONES.....	28
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
9.	ANEXOS.....	31
9.1.	ANEXO I: ENTREVISTA A PILOTOS DE RPAS .....	31
9.2.	ANEXO II: RESULTADOS DEL CUESTIONARIO.....	32

## RESUMEN

La figura del observador avanzado de artillería es muy importante para que la artillería pueda cumplir su misión. Sin embargo, ha permanecido prácticamente sin evolución durante años. Es por ello que se ha planteado el uso de la tecnología aplicada a los medios RPAS a los equipos de observadores avanzados con el objetivo de proporcionar un salto en las capacidades del observador. Estos sistemas pueden ofrecer una mayor movilidad y alcance al observador avanzado de artillería. Además, supone un incremento en la seguridad táctica de este personal. Por tanto, supone una gran evolución en las técnicas utilizadas hasta ahora.

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es analizar la viabilidad de dotar de medios RPAS a los equipos de observadores avanzados de artillería. Para ello se ha elegido el sistema RPAS más adecuado para esta misión. Además, se han estudiado los factores estratégicos de esta implementación y se han analizado los posibles riesgos asociados a la misma.

Para cumplir estos objetivos, en primer lugar, se ha analizado la estructura de un grupo de artillería de campaña y las misiones que realizan los equipos de observadores avanzados. Además, se han analizado las características técnicas de varios sistemas RPAS, tanto civiles como militares, que parecían adecuados para ser empleados en estas misiones. Posteriormente, se ha realizado un análisis multimodal procedido a la elección del sistema RPAS idóneo utilizando un análisis multicriterio ponderado normalizado basado en las características propias de cada aeronave y en la importancia que les dan a las mismas varios expertos en el tema, cuya opinión se ha recogido a través de una encuesta.

Además, se ha realizado un análisis DAFO con la finalidad de determinar los factores estratégicos que influyen en la viabilidad de la implantación de un medio RPAS en los equipos de observadores avanzados. Por último, se ha llevado a cabo un análisis de riesgos sobre el uso de RPAS con el objetivo de cuantificar la probabilidad y gravedad de determinadas amenazas. El fin último de este análisis es determinar el grado de riesgo que suponen esos sucesos y proponer acciones para evitarlos o minimizarlos.

Como consecuencia de la aplicación de estas metodologías se ha podido concluir que la implantación sistemas RPAS en los equipos de observadores avanzados de artillería es viable. Además, supondría un salto en sus capacidades, una mejora en su amplitud de análisis del campo de batalla y una fuente de información fiable para el apoyo a la toma de decisiones de sus elementos más próximos, sin olvidarnos de un incremento sustancial en la seguridad de estos equipos.

## **ABSTRACT**

The forward artillery observer is a very important figure for artillery missions fulfillment. However, it has remained virtually unchanged for years. That is why the use of technology applied to RPAS has been proposed for forward observer teams with the aim of providing a leap in the observer's capabilities. These systems can offer increased mobility and range to the artillery forward observer. In addition, it represents an increase in the tactical security of these personnel. Therefore, it represents a great evolution in techniques used until now.

The objective of this Final Degree Project is to analyze the feasibility of providing RPAS to artillery forward observer teams. For this aim, the most suitable RPAS system for this mission has been chosen. In addition, the strategic factors of this implementation have been studied and possible associated risks have been analyzed.

In order to accomplish these objectives, firstly, the structure of a field artillery group and the missions carried out by the forward observer teams have been analyzed. In addition, the technical characteristics of several RPAS systems, both civil and military, which seemed suitable for these missions, have been analyzed. Subsequently, a multicriteria analysis has been carried out to choose the ideal RPAS system. This analysis was based on the characteristics of each aircraft and the importance given to them by some experts on this topic, whose opinion has been collected through a survey.

Moreover, a SWOT analysis has been undergone in order to determine strategic factors that influence the viability of implementing an RPAS in advanced detection equipment. Finally, a risk analysis has been carried out on the use of RPAS with the aim of quantifying the probability and severity of certain threats. The last goal of this analysis is to determine the risk degree of these events and to propose actions which can avoid or minimize them.

As a conclusion of the applied methodologies, it can be claimed that the implementation of RPAS in forward artillery observation teams is feasible. In addition, it would represent a leap in its capabilities, an improvement in the battlefield breadth analysis and a reliable source of information to support the decision-making of its closest elements, without forgetting a substantial increase in this teams security.

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Clasificación de RPAS según OTAN. [7]</i> .....	9
<i>Tabla 2. Características de los RPAS en dotación en el ET. Fuente: elaboración propia. [9,10,11]</i> .....	11
<i>Tabla 3. Características de los RPAS comerciales. Fuente: elaboración propia. [15,16 y 17] ..</i>	13
<i>Tabla 4. Respuestas de la encuesta realizada al personal experto. Fuente: elaboración propia. ....</i>	14
<i>Tabla 5. Valoración y orden de importancia de las características. Fuente: elaboración propia. ....</i>	16
<i>Tabla 6. Características de los RPAS, máximos, mínimos y recorridos. Fuente: elaboración propia.....</i>	17
<i>Tabla 7. Ponderaciones de las características de los RPAS. Fuente: elaboración propia. ....</i>	19
<i>Tabla 8. Conclusiones del análisis DAFO. Fuente: elaboración propia.....</i>	21
<i>Tabla 9. Escala de grado de riesgo. Fuente: elaboración propia. [16] .....</i>	23
<i>Tabla 10. Matriz de riesgos de la implementación de sistemas RPAS. Fuente: elaboración propia.....</i>	26
<i>Tabla 11. Cuadro resumen del análisis de riesgo. Fuente: elaboración propia.....</i>	27

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Organigrama de un grupo de artillería de campaña. [2].....</i>	<i>5</i>
<i>Ilustración 2. Organigrama de la batería de Plana Mayor de Mando. [2] .....</i>	<i>5</i>
<i>Ilustración 3. Equipo de observadores avanzados en la Operación Romeo-Alfa. [4].....</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 4. Sistema Raven B. [9] .....</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 5. Sistema Searcher MK-III. [10].....</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 6. Sistema Atlantic. [11] .....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 7. Sistema Dji Mavic 3. [12] .....</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 8. Sistema Alpha 900. [13].....</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 9. Sistema SDLE Thyra V1. [14].....</i>	<i>13</i>

## ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

A/D	Apoyo directo.
ATP	Autopropulsado.
BDA	Valoración de daños / <i>Battle damage assessment</i> .
DAFO	Debilidades, amenazas, fortalezas, oportunidades / <i>FODA</i> .
ECM	Contra medidas electrónicas / <i>Electronic countermeasure</i> .
ET	Ejército de Tierra.
GACA	Grupo de artillería de campaña.
GAIL	Grupo de artillería de información y localización.
GPS	Sistema de posicionamiento global / <i>Global positioning system</i> .
GROSA	Grupo de obtención por sistemas aéreos.
HALE	Alta altitud y larga resistencia / <i>High altitude, long endurance</i> .
ISTAR	Inteligencia, vigilancia, adquisición de objetivos y reconocimiento / <i>Intelligence, surveillance, targeting and reconnaissance</i> .
MALE	Media altitud y larga resistencia / <i>Medium altitude long endurance</i> .
MTOW	Masa máxima al despegue / <i>Maximun take-off weight</i> .
OAV	Observador avanzado.
PASI	Plataforma aérea sensorizada de inteligencia.
PDA	Asistente digital personal / <i>Personal digital assistant</i> .
PLMM	Plana mayor de mando.
RPAS	Sistema aéreo pilotado de forma remota / <i>Remotely piloted aircraft system</i> .
S/GT	Subgrupo táctico.
TTPs	Tácticas, técnicas y procedimientos.
TUAV	Vehículo táctico aéreo no tripulado / <i>Tactical unmanned aerial vehicle</i> .
UAS	Sistema aéreo no tripulado / <i>Unmanned aerial system</i> .
UAV	Vehículo aéreo no tripulado / <i>Unmanned aerial vehicle</i> .
UCAV	Vehículo aéreo de combate no tripulado / <i>Unmanned combat aerial vehicle</i> .

# 1. INTRODUCCIÓN

La presente memoria corresponde al Trabajo Fin de Grado del grado en Ingeniería de Organización Industrial impartido en el Centro Universitario de Zaragoza, centro adscrito a la Universidad de Zaragoza. Su realización ha tenido lugar, durante el periodo de prácticas externas, en el Grupo de Artillería de Campaña XI con sede en Badajoz.

## 1.1. ANTECEDENTES

El surgimiento de la artillería moderna tuvo lugar en el siglo XV con el desarrollo y uso de la pólvora. Su principal uso era como arma de asedio capaz de lanzar proyectiles a distancia. Con el paso de los años, los sistemas de armas, las pólvoras y las municiones han ido experimentando avances paulatinamente, si bien, la esencia propia de la artillería no ha sufrido cambio alguno. Su objetivo principal es aportar a las tropas una serie de fuegos profundos, potentes y precisos con el fin último de apoyar en el combate a las armas de maniobra<sup>1</sup>. Sin embargo, los conflictos bélicos sí que han ido evolucionando, enfrentándonos cada vez contra enemigos mejor preparados. Esa complejidad a la que debemos hacer frente nos obliga a modernizar nuestras tácticas, técnicas y procedimientos para poder afrontar con éxito los nuevos retos venideros.

Tradicionalmente ha existido la figura del observador avanzado de artillería (OAV), del cual se podría decir que debe ser los ojos de la artillería. Sus funciones son: identificar objetivos, corregir los disparos de proyectiles, hacer la valoración de daños y, además, aprovechar su posición en vanguardia del despliegue para proporcionar información sobre el campo de batalla a las tropas propias. Todos estos cometidos se deben realizar en una posición próxima al enemigo (y también cerca del impacto de los fuegos propios), lo que hace que la situación de los equipos de observadores avanzados sea vulnerable y peligrosa.

Actualmente, las unidades de entidad brigada<sup>2</sup> están dotadas de una serie de elementos de inteligencia, vigilancia, adquisición de objetivos y reconocimiento, conocidos como ISTAR (de *intelligence, surveillance, targeting and reconnaissance*), capaces de recabar información y proporcionar al mando un conjunto de herramientas que le permiten tomar decisiones de forma más rápida y adecuada. En la actualidad, se utilizan vehículos aéreos controlados a distancia (RPAS, de *remotely piloted aircraft system*) para esta labor, si bien, su uso no se restringe únicamente a las unidades de artillería. [1]

La enorme evolución experimentada por la informática, la aeronáutica y la electrónica ha puesto de manifiesto el gigantesco potencial de los RPAS. Estos aparatos han pasado de ser considerados un juguete a ser complejas herramientas capaces de facilitar la vida a sus usuarios. Vistas las capacidades de los sistemas RPAS para misiones ISTAR, y que estas misiones tienen grandes similitudes con las tareas que realiza el personal OAV, el uso de RPAS en los equipos de OAV puede resultar muy interesante.

---

<sup>1</sup> Arma de maniobra es aquella que combina el fuego y el movimiento para lograr la conquista de un objetivo o posición a pesar de la acción del enemigo. Las armas de maniobra del Ejército de Tierra español son infantería y caballería.

<sup>2</sup> Brigada orgánica polivalente es una fuerza con un conjunto de capacidades que pueden dar respuesta a las exigencias operativas en todo el espectro del conflicto; contar con cuarteles generales con capacidad para asumir el mando y control de cualquier tipo de fuerzas; y disponer de unas pequeñas unidades tácticas y logísticas especializadas en una función determinada, pero aptas para asumir otros cometidos.

## 1.2. MOTIVACIÓN

El avance de la tecnología ha afectado a la artillería a través de mejoras en su capacidad de maniobra, su autonomía o su alcance. Todo ello obliga a contar con gran cantidad de personal desplegado en vanguardia con el objetivo de guiar los disparos de la artillería y aconsejar con respecto al empleo de los fuegos a las unidades de maniobra. Sin embargo, a pesar de las mejoras tecnológicas, existe todavía una enorme dependencia del factor humano para la determinación de los objetivos. La limitada plantilla de personal OAV y su reducida capacidad de movimiento hace que su rango de acción se vea muy limitado. Además, hay que considerar el elevado riesgo al que están expuestos los OAV debido a la proximidad de las tropas enemigas y, por tanto, de la zona de caída de los proyectiles propios.

El uso de RPAS para llevar a cabo las funciones del OAV aportaría grandes beneficios, debido a la superioridad de los medios aéreos frente a los medios terrestres, reduciendo además los riesgos a los que está expuesto este personal. Sin embargo, es necesario estudiar la forma en la que se debe implementar esta nueva herramienta con el fin de aumentar la eficacia de los equipos OAV. Por tanto, la principal razón de ser de este trabajo radica en la necesidad de mejorar las capacidades de los equipos de observadores avanzados mediante el uso de medios RPAS.

## 1.3. OBJETIVOS Y ALCANCE

Este Trabajo Fin de Grado tiene como principal objetivo el estudio de la implementación de los RPAS en los equipos de observadores avanzados de artillería. Este objetivo principal se ha dividido en los siguientes objetivos parciales:

- Elección del sistema RPAS que mejores condiciones reúne para ser implementado. En este estudio se han tenido en cuenta las características técnicas del sistema, así como el precio y la necesidad de infraestructuras como una pista de despegue.
- Estudio de los factores estratégicos del uso de RPAS en los equipos de OAV. En este caso se han considerado los factores relacionados con la adquisición y la operación de estos sistemas.
- Determinación de los riesgos asociados a la implementación del RPAS.

## 1.4. METODOLOGÍA

En primer lugar, se ha realizado una revisión bibliográfica sobre el tema de los observadores avanzados para saber qué misiones debe realizar la aeronave. Además, se han buscado las características técnicas de varios RPAS en dotación en el ET y también comerciales.

Posteriormente, se ha llevado a cabo un análisis multicriterio ponderado normalizado para elegir el RPAS más adecuado para su empleo por los equipos de observadores avanzados. Para este análisis se ha valorado la importancia de las diferentes características de los RPAS mediante una encuesta realizada a pilotos de RPAS con experiencia en misiones ISTAR. Por otra parte, se han considerado los datos técnicos para cada una de las características anteriores de los RPAS analizados.

Además, se ha llevado a cabo un análisis DAFO (debilidades, amenazas, fortalezas, oportunidades) para determinar los factores estratégicos críticos que afectan a esta propuesta y un análisis de riesgos con el fin de determinar los riesgos más importantes que afectarían a la implantación de medios RPAS en el equipo OAV.

### 1.5. ÁMBITO DE APLICACIÓN

El ámbito de aplicación principal de este Trabajo Fin de Grado es el GACA XI, con sede en la base General Menacho en Badajoz. Si bien, los resultados de este trabajo se podrían extrapolar a todas las unidades de artillería que trabajen en apoyo directo de las brigadas dentro del Ejército de Tierra.

## 2. OBSERVADORES AVANZADOS EN LA ARTILLERÍA

### 2.1. ESTRUCTURA DE UN GRUPO DE ARTILLERÍA DE CAMPAÑA

La artillería de campaña está dotada de personal, armamento y material agrupados en unas unidades orgánicas. Un grupo de artillería es la unidad fundamental de empleo táctico del arma. Basaremos nuestro estudio en el grupo de artillería de campaña (GACA) como unidad orgánica dentro de las brigadas orgánicas polivalentes.

Normalmente, los GACA tienen el cometido de apoyo directo (A/D) a la brigada. El cometido táctico de apoyo directo implica que el empleo de los fuegos de artillería de campaña lo decide el mando al que esté subordinado el grupo de artillería, en este caso, el mando lo ejercería la brigada. Todo ello hace que la única función del grupo de artillería sea la de encargarse de cubrir las necesidades de fuego de la brigada, de forma exclusiva. Es por ello por lo que, las tácticas, técnicas y procedimientos (TTPs) de la unidad a la que se apoya deben estar especialmente asimiladas e incorporadas a la forma de actuación de la unidad. Además, se debe disponer de medios capaces de lograr una perfecta integración de fuego y maniobra. Es decir, realizar cambios de asentamientos<sup>3</sup> de forma rápida y segura y, además, seguir manteniendo el apoyo de fuego a la unidad que tenga necesidad.

Los materiales en dotación requieren una movilidad táctica similar a la de las unidades operativas de combate. Esto es, si una unidad de combate utiliza medios ligeros de ruedas para su movilidad, la unidad de artillería utilizará unos cañones ligeros de ruedas. Si, por el contrario, se trata de una unidad de combate con medios pesados de cadenas, la artillería utilizará cañones pesados de cadenas. Asimismo, también es necesaria una variedad de calibres y municiones que permitan apoyar con el fuego de artillería todas las acciones tácticas en todo el espectro del conflicto. Las más próximas y las más lejanas, las que requieran el empleo de fuego en masa y aquellas que, por el contrario, requieran una precisión mayor. [2]

En la Ilustración 1, se puede ver la composición del Grupo de Artillería de Campaña XI. Al mando del grupo se encuentra un teniente coronel que cuenta con un órgano de asesoramiento, su plana mayor de mando (PLMM). Además, el GACA está formado por 6 baterías, cada una de las cuales está al mando de un capitán. Cada batería posee unas capacidades determinadas en función de los materiales que empleen. Siguiendo el esquema de izquierda a derecha nos encontramos con la batería de plana mayor, dos baterías de obuses ATP M109 A5E, una batería de obuses remolcados L118 Light Gun, una batería de misiles de artillería antiaérea Mistral, así como una batería de servicios.

---

<sup>3</sup> Para mejorar la seguridad de las tropas propias de artillería se emplea la dispersión de elementos, el enmascaramiento y los cambios de asentamientos. De estas medidas depende la capacidad de supervivencia de la unidad de artillería ante ataques de contrabatería, terrestres o aéreos. Esta necesidad de realizar cambios de posición es crítica pues disminuye temporalmente la disponibilidad para prestar apoyos de fuego.

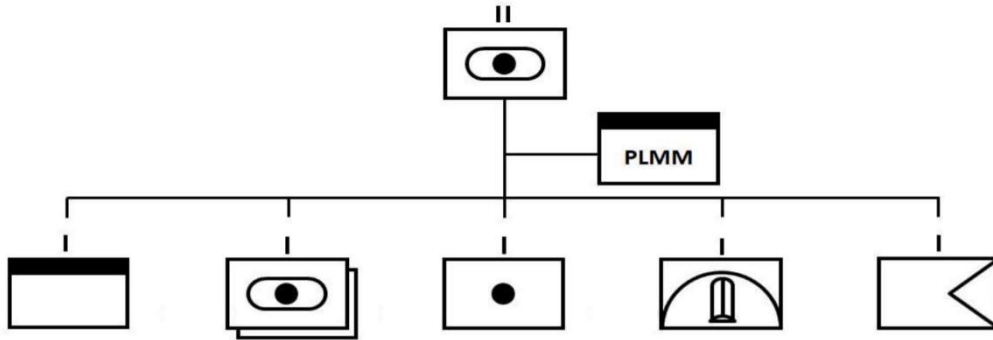


Ilustración 1. Organigrama de un grupo de artillería de campaña. [2].

En este TFG nos centraremos en el organigrama dentro de la batería de plana mayor. La batería de plana es la que se encarga de la coordinación del esfuerzo del resto de baterías del grupo. Además, realiza todas aquellas funciones que permiten el ejercicio del mando y control. Como podemos observar en la Ilustración 2, la batería de plana mayor está compuesta por tres secciones, cada una de ellas al mando de un teniente. Estas secciones son las de operaciones; información y topografía; y enlace.

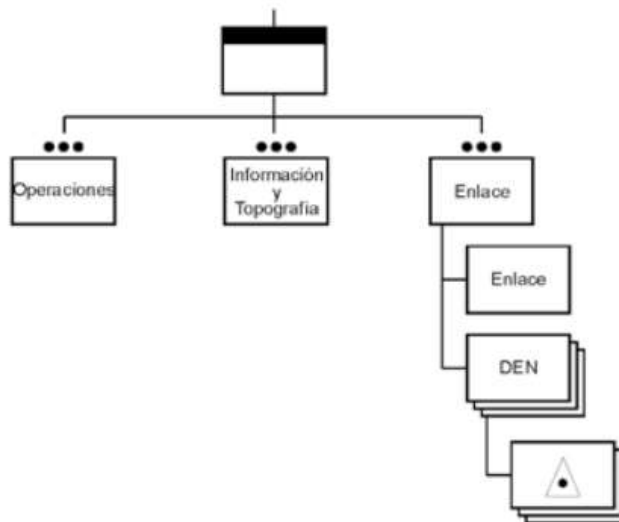


Ilustración 2. Organigrama de la batería de Plana Mayor de Mando. [2]

A lo largo de este trabajo nos centraremos en la labor de la sección de enlace. Es dicha sección la que se responsabiliza de la identificación de objetivos, corrección del tiro y de la evaluación de daños causados. Dicha función recae en última instancia en los OAV, a los que se pretende dotar de material RPAS adecuado para facilitar su labor dentro del grupo de artillería.

## 2.2. LA FIGURA DEL OBSERVADOR AVANZADO DE ARTILLERÍA

Para poder explicar en qué consiste la figura del observador de artillería, debemos distinguir dos situaciones muy diferentes. Una es la dependencia orgánica, lo cual implica la vida diaria e instrucción ordinaria. Los grupos de artillería de campaña de las brigadas orgánicas polivalentes cuentan con nueve equipos de observadores avanzados, encuadrados en la sección de enlace de la batería de plana mayor. Por otro lado, se encuentra la dependencia táctica, la cual implica la creación de unidades que aglutinan un sinnúmero de capacidades orientadas al combate. Los citados equipos de observadores de artillería estarían destacados en las unidades de maniobra, normalmente de entidad subgrupo táctico (S/GT).

El subgrupo táctico se caracteriza por ser una organización preparada para el combate. Al mando de un capitán, suele estar compuesta por una compañía de infantería o caballería y una serie de elementos de apoyo. Estos elementos de apoyo incluyen desde zapadores, ingenieros, transmisiones a observadores avanzados capaces de aconsejar al capitán sobre el empleo de los fuegos y guiar los disparos que efectúa la artillería. Estos elementos de apoyo potencian de forma exponencial la capacidad de las compañías de infantería o caballería. Normalmente, las unidades tipo S/GT se conforman para maniobras de ejercicios militares y operaciones en el exterior.

Entre los cometidos del equipo OAV se encuentran:

- Elaboración de objetivos a batir de la unidad a la que se apoya. Es decir, cuando el equipo OAV se encuentra integrado en la unidad de combate, se dedica a asesorar al jefe del S/GT sobre la capacidad que posee su propia unidad para batir determinados objetivos. Es decir, recomienda el uso que debería hacer de sus morteros<sup>4</sup>.
- Adquisición de objetivos a batir de la artillería de campaña. Cuando la capacidad que posee el S/GT por sí mismo para batir un objetivo determinado se ve superada, se recurre a la unidad de artillería situada en retaguardia. En ese momento, el equipo OAV identifica un objetivo, obtiene las coordenadas de este y las envía al grupo de artillería. Ese objetivo puede, simplemente, quedar identificado para cualquier situación posterior o, por el contrario, puede ser batido en ese mismo momento. Para ello, además, el OAV solicita qué efectos quiere conseguir y el número de disparos necesarios para conseguir dichos efectos.
- Corrección del tiro de artillería. Una vez que la unidad de artillería ha hecho fuego, el equipo OAV se encontrará situado a vanguardia del despliegue, en una zona próxima al objetivo adquirido previamente. Esa posición suele estar no más lejos de 1,5 km. De esta manera, los OAV pueden determinar si los proyectiles han impactado sobre el objetivo que se quiere destruir y, en caso de que no fuera así, efectuar una corrección. Es decir, es el encargado de guiar los disparos para aproximarlos al objetivo y entrar en eficacia<sup>5</sup>.
- Elaborar una valoración de daños. Una vez que los disparos efectuados por la unidad de artillería han impactado contra el objetivo determinado previamente, el equipo OAV debe evaluar si se han conseguido los efectos marcados en la fase de adquisición de objetivos. Para ello, realizan un informe conocido como BDA (de *battle damage assessment*)

---

<sup>4</sup> Es un arma ligera de fuego indirecto, portátil y de gran movilidad en el terreno capaz de disparar proyectiles explosivos con gran poder destructivo.

<sup>5</sup> Esta expresión se utiliza para determinar cuando los proyectiles lanzados impactan sobre el objetivo previamente establecido.

- Servir como medio de enlace entre la unidad con la que se integra y la unidad de artillería de campaña que apoya en retaguardia.

En cuanto a la composición, el equipo OAV está formado por un jefe de equipo, un conductor y un operador de transmisiones. Entre los medios de transmisiones existentes se encuentra una radio de voz para transmitir información y otra radio para comunicación por medio de datos. La transmisión de datos se utiliza para comunicarse con el programa informático TALOS. El TALOS es el sistema de mando y control a través del cual se realizan todas las comunicaciones en tiempo real entre todos y cada uno de los miembros de una unidad de artillería. El equipo de observadores, como miembro de dicha unidad, está integrado en esta red y la utiliza para enviar toda la información necesaria para cumplir sus cometidos. [3]

El equipo OAV, véase Ilustración 3, cuenta con una serie de medios de armamento ligero, un vehículo para su movilidad y varios elementos específicos que permiten realizar la función de observación. Entre este material se encuentra un receptor GPS para obtener sus coordenadas de manera rápida y fiable, unos prismáticos para observar a distancia, un telémetro láser con el que medir distancias y una PDA (de *personal digital assistant*) con el programa TALOS instalado. Además, el equipo OAV cuenta con 3 radios con las que enlazar con el jefe del S/GT, para el enlace de fonía con la unidad de artillería de retaguardia y para la transmisión de datos.



*Ilustración 3. Equipo de observadores avanzados en la Operación Romeo-Alfa. [4]*

### 3. SISTEMAS RPAS

#### 3.1. GENERALIDADES SOBRE LOS SISTEMAS RPAS

Un RPAS es un sistema aéreo pilotado remotamente. El uso de aeronaves no tripuladas viene siendo usual desde mediados del siglo pasado, el salto experimentado en los últimos años por la tecnología ha supuesto un gran avance en el desarrollo de estos sistemas. Cuando se habla de sistemas RPAS en ocasiones se confunde la terminología empleada. Para tener claro las distintas expresiones, hay que hacer distinción y explicar los términos que suelen emplearse, erróneamente, de manera indistinta. Un vehículo aéreo no tripulado (UAV, de *unmanned aerial vehicle*), comúnmente conocido como dron, es un término genérico utilizado para toda aquella aeronave capaz de volar sin un piloto a bordo. Hoy en día es una terminología obsoleta, pues es demasiado genérica y coloquial; por contra, los expertos prefieren el uso del término RPAS (de *remotely piloted aircraft system*) puesto que explica con más exactitud lo que implica el sistema. Un RPAS no solo se refiere al dron propiamente dicho, sino que incluye el conjunto que forman el UAV, el piloto con sus elementos de control desde tierra y el sistema de enlace. Para referirse al RPAS también es bastante común encontrarse con el término UAS (de *unmanned aircraft system*), que sería equivalente. [5, 6]

Las características más importantes que permiten distinguir entre las capacidades de distintos sistemas RPAS son las siguientes:

- Autonomía: tiempo máximo que un dron es capaz de encontrarse en vuelo a velocidad de crucero. No implica lo cerca o lejos que se encuentre del operador. Sirve para medir el consumo medio de energía en vuelo.
- Alcance: distancia máxima en línea recta a la que puede llegar un dron sin perder el enlace con el operador del sistema. No confundir con el radio de acción, el cual implica que el dron debe volver a su base en el mismo vuelo. Hoy en día en la mayoría de los dispositivos se instala una función de regreso a casa, la cual, en caso de pérdida de enlace devuelve el dron al punto desde donde despegó.
- Necesidad de pista de despegue: existen aeronaves que necesitan una pista que le permita acelerar hasta alcanzar la velocidad de despegue en condiciones de seguridad, al estilo de un avión convencional, mientras que otros sistemas pueden despegar sin ninguna pista: siendo lanzados o realizando un despegue en vertical.
- Peso: masa máxima que posee la aeronave en el momento del despegue, también conocido como MTOW (de *maximun take-off weight*).
- Carga útil: peso máximo de mercancías que puede transportar un dron. Aquí se incluyen los dispositivos que se pueden acoplar para cumplir una determinada misión: vigilancia, armamento, comunicaciones o simplemente una carga que se ha de transportar de un punto a otro.
- Posibilidad de acople de dispositivos: capacidad para conectar distintos tipos de cámaras en el visor de la aeronave. Los dispositivos infrarrojos, cámaras térmicas o las de alta precisión aportan gran superioridad y la capacidad de llevar a cabo misiones en cualquier entorno y en cualquier condición atmosférica.
- Coste: precio unitario de adquisición del sistema RPAS. Incluye el propio dron y el sistema de enlace entre el operador y el dispositivo.

### 3.2. CLASIFICACIÓN

En la Tabla 1 se muestra la clasificación de los RPAS de la OTAN. Se establecen dos categorías o tipos en cuanto a la certificación de los operadores. Además, los RPAS se dividen en tres clases en función del peso máximo al despegue. [7]

Tabla 1. Clasificación de RPAS según OTAN. [7]

Licencia	Clase	Categoría OTAN	Radio normal de emisión	Ejemplo de RPAS
TIPO I	Clase I (peso ≤ 150 kg)	Micro-RPA	2 km	Black Hornet
		Mini-RPA	10 km	Raven RQ-11 B
		Small-RPA	50 km (medio alcance)	Pelícano
TIPO II	Clase II (150 < peso ≤ 600 kg)	TUAV (táctico)	200 km (largo alcance)	Searcher MK-III
	Clase III (peso > 600 kg)	UCAV (combate)	Sin límite (enlace por satélite)	Reaper
		MALE (altitud media)		Heron TP
		HALE (gran altitud)		Global Hawk

### 3.3. SISTEMAS RPAS EN DOTACIÓN DEL EJÉRCITO DE TIERRA

Hoy en día, en el Ejército de Tierra existen varias unidades específicas que disponen de sistemas RPAS con el fin de dotar a las fuerzas propias de una superioridad aérea frente a las fuerzas terrestres enemigas. Los tres sistemas RPAS en dotación en el Ejército de Tierra que se van a estudiar son los siguientes: [8]

- Raven B: se encuentra en dotación en las compañías de inteligencia de las brigadas, encuadradas dentro del Cuartel General de las Brigadas. Estas compañías se encargan de recabar información del campo de batalla con el objetivo de facilitar el movimiento de la unidad de maniobra. Se trata de un sistema diseñado para el reconocimiento cercano, de ala fija, con lanzamiento manual y caracterizado por su fácil capacidad de planeo, sus grandes alas con respecto al fuselaje y su bajo peso. En la Ilustración 4 se muestra una imagen de este sistema.



*Ilustración 4. Sistema Raven B. [9]*

- Searcher Mk-III: en dotación en el Grupo de Obtención por Sistemas Aéreos (GROSA), cuya misión principal consiste en el reconocimiento y vigilancia de zonas pasivas, puntos de interés o elementos hostiles a través de la adquisición de imágenes en tiempo real mediante sistemas aéreos. Este RPAS también se conoce como PASI (de Plataforma Aérea Sensorizada de Inteligencia). Se trata de un sistema táctico de gran capacidad diseñado para vigilancia y reconocimiento, con gran alcance y enorme autonomía (ver Ilustración 5).



*Ilustración 5. Sistema Searcher MK-III. [10]*

- Atlantic: este novedoso sistema RPAS se está utilizando en el Grupo de Artillería de Información y Localización (GAIL). El GAIL se encarga del reconocimiento y la identificación de objetivos, y la evaluación de daños. Para ello utiliza medios radar, sistemas de localización remota mediante receptores de sonido y también el sistema RPAS Atlantic (ver Ilustración 6). Este sistema ha sido diseñado específicamente para desarrollar misiones ISTAR. Considerado como uno de los sistemas más fiables y robustos en dotación, se caracteriza por su alcance medio y alto rendimiento en los distintos contextos operacionales en los que se le ha puesto a prueba.



Ilustración 6. Sistema Atlantic. [11]

En la Tabla 2 se resumen las propiedades y características operacionales más importantes de estos tres sistemas.

	RAVEN B	SEARCHER MK III	ATLANTIC
<b>Autonomía</b>	90 min	14 horas	5 horas
<b>Alcance</b>	10 km	200 km	90 km
<b>Pista de despegue</b>	Lanzamiento manual	Pista de 1 km	Pista de 500 m
<b>Peso</b>	1,9 kg	435 kg	50 kg
<b>Carga útil</b>	200 g	100 kg	5 kg
<b>Dispositivos</b>	Cámara IR	Cámara IR	Cámara IR
<b>Coste</b>	31.266 €	5,3 M€	761.000 €

Tabla 2. Características de los RPAS en dotación en el ET. Fuente: elaboración propia. [9,10,11]

### 3.4. SISTEMAS RPAS COMERCIALES

El boom experimentado por los RPAS en los últimos años ha contribuido a la continua mejora de sus capacidades. Hoy en día decenas de empresas cuentan con drones para realizar labores diversas como vigilancia, entrega de paquetería o servir comida a domicilio. Es por ello que la actual oferta de RPAS en el mercado es muy elevada. Por tanto, para determinar unos candidatos acordes al estudio, se ha decidido centrar la búsqueda en el dispositivo más avanzado de tres marcas contrastadas, como son DJI, Alpha y SDLE.

- DJI MAVIC 3: este dron es el más avanzado de los fabricados hasta ahora por DJI. Ha sido diseñado prestando especial atención a su capacidad para captar imágenes y vídeo de calidad. Este sistema aéreo destaca especialmente por sus cuatro hélices plegables para un mejor transporte, su estabilidad en el vuelo proporcionada por sus cuatro rotores y su alta calidad de grabación de imágenes en tiempo real, gracias a su cámara capaz de girar en los 360°. Se puede ver una imagen de la aeronave en la Ilustración 7.



*Ilustración 7. Sistema Dji Mavic 3. [12]*

- ALPHA 900: diseñado por la empresa Alpha Unmanned Systems SL. El Alpha 900 (ver Ilustración 8) es su aeronave más avanzada hasta el momento. Se trata de un robusto helicóptero monorrotor con motor de gasolina. Se caracteriza por su gran rotor principal además de su bajo peso y maniobrabilidad. Por todo ello, destaca su flexibilidad de operación y su facilidad para integrar prácticamente cualquier tipo de sistema a bordo. Puede ser utilizado en misiones de vigilancia, reconocimiento, e incluso estudio topográfico gracias a sus sistemas de posicionamiento de gran precisión.



*Ilustración 8. Sistema Alpha 900. [13]*

- THYRA V1: la compañía SDLE es el fabricante de este sistema. Este dron destaca por ser un cuadricóptero fácilmente operable. Destaca por sus cuatro grandes rotores plegables, su facilidad de transporte y por su proyección debido a la estación de control en tierra portátil. Está especialmente diseñado para labores de vigilancia, por ello cuenta con cuatro silenciosos motores eléctricos. En la Ilustración 9 se muestra una fotografía de la aeronave.



Ilustración 9. Sistema SDLE Thyra V1. [14]

En la Tabla 3 se muestran las características operacionales de los tres modelos comerciales anteriormente expuestos. Puede verse que todos estos sistemas comerciales no necesitan ningún tipo de pista porque son capaces de despegar y aterrizar en vertical. Además, se caracterizan por un precio mucho más contenido en comparación con los sistemas en dotación expuestos en la Tabla 2.

Tabla 3. Características de los RPAS comerciales. Fuente: elaboración propia. [15,16 y 17]

	DJI Mavic 3	Alpha 900	Thyra V1
<b>Autonomía</b>	0,75 horas	4,5 horas	0,7 horas
<b>Alcance</b>	15km	50km	12km
<b>Pista de despegue</b>	No necesaria	No necesaria	No necesaria
<b>Peso</b>	0,895kg	25kg	5kg
<b>Carga útil</b>	0,6Kg	6kg	2kg
<b>Dispositivos</b>	IR / Nocturna	IR/Nocturna	IR/Nocturna
<b>Coste</b>	Coste:2.099€	Coste:19.499 €	Coste:13.000€

## 4. ELECCIÓN DEL SISTEMA RPAS

Una vez detalladas las características y las capacidades de los sistemas RPAS, en este capítulo se va a hacer una selección del sistema más adecuado para poder cumplir las tareas del OAV. Para ello, en primer lugar, se van a analizar los requerimientos específicos para esta misión y, en segundo lugar, se elegirá el sistema que mejor se adapte a dichas necesidades.

### 4.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA RPAS PARA EL OAV

Con el objetivo de poder valorar de forma objetiva las características de los distintos sistemas RPAS, se realizó una encuesta a un total de 14 pilotos militares de UAV. Estos pilotos no son observadores avanzados, pero tienen gran experiencia en misiones de tipo ISTAR, que tienen gran similitud con la misión del OAV. Además, en el caso de incorporar el sistema RPAS al equipo de OAV serían ellos los que deberían realizar la misión. Para cuantificar los resultados se utilizó una escala Likert<sup>6</sup>, ya que permite medir reacciones y grados de conformidad de manera rápida y sencilla.

El formulario de la encuesta (disponible en el Anexo I) consistía en valorar del 1 al 5 (siendo 1 nada importante y 5 extremadamente importante) la importancia de las siguientes características:

- Autonomía.
- Alcance.
- Necesidad de pista de despegue.
- Peso.
- Carga útil.
- Posibilidad de añadir dispositivos.
- Coste de adquisición.

En la Tabla 4 se muestran las respuestas de los encuestados.

Tabla 4. Respuestas de la encuesta realizada al personal experto. Fuente: elaboración propia.

	1 Nada importante	2 Poco importante	3 Importante	4 Muy importante	5 Extremadamente importante	Media	Desviación
<b>Autonomía</b>	0	0	9	4	1	3,43	0,65
<b>Alcance</b>	0	1	9	4	0	3,21	0,58
<b>Pista de despegue</b>	0	0	0	10	4	4,29	0,47
<b>Peso</b>	0	1	3	8	2	3,79	0,8
<b>Carga útil</b>	4	7	3	0	0	1,93	0,73
<b>Añadir dispositivos</b>	0	1	7	6	0	3,36	0,63
<b>Coste</b>	0	0	1	7	6	4,36	0,63

<sup>6</sup> Es un método de medición empleado en investigación para conseguir valorar opiniones, actitudes y sentimientos personales. Es una escala basada en la medición del comportamiento humano.

Del tratamiento de los datos obtenidos en la encuesta realizada al personal experto en el manejo de sistemas RPAS se llega a la conclusión de que las características más importantes para la elección del RPAS son el coste de adquisición y la necesidad de una pista de despegue. El coste de adquisición es vital que sea lo más reducido posible para así poder dotar al mayor número de unidades con el dron elegido. Además, el hecho de que el OAV esté situado en vanguardia y se vea obligado a la rápida toma de decisiones, hace que el empleo que se haga del dron, en multitud de ocasiones, requiera su inmediato despegue en cualquier lugar y sin que exista una pista de despegue apropiada.

Las características más valoradas son el peso del aparato, la autonomía y la posibilidad de añadir dispositivos de visión. En cuanto al peso, suele estar íntimamente relacionado con su tamaño. Cuanto menor sea el tamaño de la aeronave, mayor será su capacidad de supervivencia pues la superficie susceptible de ser detectada por un radar será menor. Por tanto, desde este punto de vista, serían más convenientes UAV de clase I. Además, su menor peso potenciaría su movilidad y su maniobrabilidad.

La autonomía es una característica crítica, pues existe un mínimo por debajo del cual no se puede realizar la misión. El alcance está muy relacionado con la autonomía, por eso ha recibido una valoración similar, aunque ligeramente inferior. También debe haber un alcance mínimo que permita que el OAV se encuentre alejado de la zona enemiga. Por otra parte, tampoco es necesario un alcance excesivamente alto pues el alcance de las armas de artillería es limitado<sup>7</sup>.

Por último, respecto a la posibilidad de añadir dispositivos, hay que indicar que el disponer de varios medios de visión proporcionará superioridad en condiciones de mala meteorología y vuelos nocturnos.

## 4.2. ELECCIÓN DEL SISTEMA RPAS

Tras determinar las características más importantes que deben tener los sistemas RPAS, se ha procedido a elegir el sistema que mejores capacidades tenga para cumplir la misión del OAV. Para ello se ha realizado un análisis multicriterio ponderado normalizado basado en las características de los RPAS (ver Tabla 2 y Tabla 3).

Este tipo de análisis tienen como objetivo la toma de decisiones basándose en unos criterios de prevalencia previamente establecidos. En nuestro caso se han de valorar una serie de características o criterios. Para ello lo primero es calcular el peso de cada criterio ( $W_j$ ) según su orden de prioridad, lo cual se hace utilizando las valoraciones obtenidas en la encuesta realizada al personal experto (ver Tabla 4). [15]

Después, para cada característica se calcula la ponderación, que es un número entre 0 y 1. Para ello, para cada característica se determina la aeronave con el valor máximo, la que tiene el valor mínimo y se calcula el recorrido, es decir, la diferencia entre ambos valores. A la que tiene el mejor valor se le asigna un 0 y a la que tiene el peor valor se le asigna un 1 (unas veces el mejor es el más alto y otra es el más bajo, depende de la característica). Para las demás aeronaves se calcula la ponderación mediante las expresiones que se presentarán más adelante.

Finalmente, se multiplica la ponderación calculada de cada característica por el peso de cada criterio ( $W_j$ ) y se suman los valores obtenidos para cada una de las 7 características estudiadas. Aquella aeronave cuya suma total sea menor, será la más idónea para ser

---

<sup>7</sup> Los alcances máximos de las armas de artillería del ejército español van, desde los 17 kilómetros del obús remolcado L118 Light Gun, a los 30kilómetros del obús autopropulsado ATP M109 A5E.

empleada por los equipos de observadores avanzados.

A continuación, se explican con más detalle los pasos para realizar el análisis multicriterio ponderado normalizado:

Ordenar las características a evaluar por orden de prioridad

En nuestro caso se ha utilizado el criterio de los expertos, recogido en los resultados de la encuesta. Se han ordenado las características por orden de importancia y se le ha asignado a cada una de ellas un valor entre 1 y 7, siendo 1 la propiedad más valorada y 7 la menos valorada (ver Tabla 5).

Tabla 5. Valoración y orden de importancia de las características. Fuente: elaboración propia.

	Autonomía	Alcance	Pista de despegue	Peso	Carga útil	Añadir dispositivos	Coste
Valoración	3,43	3,21	4,29	3,79	1,93	3,36	4,36
Importancia	4	6	2	3	7	5	1

Calcular el peso de cada criterio según su orden de prioridad

Para un criterio cualquiera  $j$ , el peso ( $W_j$ ) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$W_j = \frac{\frac{1}{r_j}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

siendo  $r_j$  el nivel de prioridad de la opción  $j$  y  $r_i$  el nivel de prioridad de la opción  $i$ . A continuación, se muestra el cálculo realizado para cada característica:

$$W_{\text{Coste}} = \frac{1/1}{1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7}} = 0,386$$

$$W_{\text{Pista}} = \frac{1/2}{1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7}} = 0,193$$

$$W_{\text{Peso}} = \frac{1/3}{1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7}} = 0,129$$

$$W_{\text{Autonomía}} = \frac{1/4}{1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7}} = 0,096$$

$$W_{\text{Dispositivos}} = \frac{1/5}{1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7}} = 0,077$$

$$W_{\text{Alcance}} = \frac{1/6}{1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7}} = 0,064$$

$$W_{\text{CargaÚtil}} = \frac{1/7}{1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7}} = 0,055$$

Asignar una ponderación para cada característica

En la Tabla 6 se muestran las características de los seis sistemas que van a ser evaluados en este análisis multicriterio. Para cada característica se ha identificado el valor mejor y el valor peor. También se calcula el recorrido, que es la diferencia entre ambos valores.

Tabla 6. Características de los RPAS, máximos, mínimos y recorridos. Fuente: elaboración propia.

Aeronave	Autonomía	Alcance	Pista de despegue	Peso	Carga útil	Añadir dispositivos	Coste
RAVEN	1,5 h	10 km	NO	1,9 kg	0,2 kg	Sí	31.266 €
SEARCHER MK III	14 h	200 km	SÍ	435 kg	100 kg	Sí	5,3m €
ATLANTIC	5 h	130 km	SÍ	50 kg	5 kg	Sí	761.000€
DJI MAVIC3	0,75 h	15 km	NO	0,895 kg	0,6kg	Sí	2.099 €
ALPHA 900	4,5 h	50 km	NO	25 kg	6 kg	Sí	19.499 €
THYRA V1	0,7 h	12 km	NO	5kg	2 kg	Sí	13.000 €
MÁXIMO	14 h	200 km	SÍ	435 kg	100kg	Sí	5,3 m €
MÍNIMO	0,7 h	10 km	NO	0,895kg	0,2 kg	Sí	2.099 €
RECORRIDO	13,3 h	190km	---	434,1kg	99,8 kg	---	5,297.901 €

A continuación, se ha asignado una ponderación a cada una de las características de cada aeronave. Como se ha explicado antes, al mejor valor de cada característica se le asigna un 0 y al peor valor se le asigna un 1. Para el resto se calcula la ponderación con dos expresiones que se explican a continuación.

Si para una característica interesa un valor bajo, como el precio o el peso, se utiliza esta ecuación:

$$Ponderación = \frac{Valor\ opción - Mínimo}{Recorrido} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Por otra parte, si el valor más interesante es el menor, este es el caso de autonomía, alcance y carga útil, la ponderación se calcula de la siguiente forma:

$$Ponderación = \frac{Máximo - Valor\ Opción}{Recorrido} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Por último, es necesario considerar el caso de la necesidad de pista de despegue y la posibilidad de añadir dispositivos. Existe una gran diferencia entre aquel dron capaz de ponerse en vuelo de manera rápida y en cualquier lugar, y aquel que necesita una pista de asfalto. Es por ello que esta característica se ha valorado únicamente con un 0 para las aeronaves de despegue vertical o manual y con un 1 para aquellas que necesiten la construcción de una pista de aterrizaje. Para la posibilidad de añadir dispositivos de visión, como todos los sistemas tienen esta capacidad se ha asignado una ponderación de 0 en todos los casos.

A continuación, se muestran los cálculos realizados para calcular las ponderaciones de las características de los seis sistemas RPAS analizados.

Ponderaciones calculadas para el sistema Raven.

$$-P_{\text{Autonomía}} = \frac{14-1,5}{13,3} = 0,940$$

$$-P_{\text{Peso}} = \frac{1,9-0,895}{434,1} = 2,32 \cdot 10^{-3}$$

$$-P_{\text{Coste}} = \frac{31.266-2099}{5,297.901} = 5,51 \cdot 10^{-3}$$

Ponderaciones calculadas para el sistema Atlantic:

$$-P_{\text{Autonomía}} = \frac{14-5}{13,3} = 0,677$$

$$-P_{\text{Alcance}} = \frac{200-130}{190} = 0,368$$

$$-P_{\text{Peso}} = \frac{50-0,895}{434,1} = 0,113$$

$$-P_{\text{CargaÚtil}} = \frac{100-5}{99,8} = 0,952$$

$$-P_{\text{Coste}} = \frac{761.000-2.099}{5,297.901} = 0,143$$

Ponderaciones calculadas para el sistema DJI Mavic 3:

$$-P_{\text{Autonomía}} = \frac{14-0,75}{13,3} = 0,996$$

$$-P_{\text{Alcance}} = \frac{200-15}{190} = 0,974$$

$$-P_{\text{CargaÚtil}} = \frac{100-0,6}{99,8} = 0,996$$

Ponderaciones calculadas para el sistema Alpha 900:

$$-P_{\text{Autonomía}} = \frac{14-4,5}{13,3} = 0,714$$

$$-P_{\text{Alcance}} = \frac{200-50}{190} = 0,789$$

$$-P_{\text{Peso}} = \frac{25-0,895}{434,1} = 0,056$$

$$-P_{\text{CargaÚtil}} = \frac{100-6}{99,8} = 0,942$$

$$-P_{\text{Coste}} = \frac{19.499-2.099}{5,297.901} = 3,28 \cdot 10^{-3}$$

Ponderaciones calculadas para el sistema Thyra V1:

$$-P_{\text{Alcance}} = \frac{200-12}{190} = 0,989$$

$$-P_{\text{Peso}} = \frac{5-0,895}{434,1} = 9,46 \cdot 10^{-3}$$

$$-P_{\text{CargaÚtil}} = \frac{100-2}{99,8} = 0,982$$

$$-P_{\text{Coste}} = \frac{13.000-2.099}{5,297.901} = 2,06 \cdot 10^{-3}$$

Calcular la valoración de cada sistema

La valoración final de cada sistema RPAS se calcula haciendo el sumatorio de los productos de la ponderación de cada característica por su peso correspondiente. Cuanto menor sea el sumatorio, mejores cualidades tendrá el sistema RPAS. En la Tabla 7, se muestran las ponderaciones asignadas a todas las características de los seis sistemas.

Tabla 7. Ponderaciones de las características de los RPAS. Fuente: elaboración propia.

	RPAS	RAVEN	SEARCHER MK III	ATLANTIC	DJI MAVIC 3	ALPHA 900	THYRA V1
Característica	PESO	PONDERACIONES					
Autonomía	0,096	0,940	0	0,677	0,996	0,714	1
Alcance	0,064	1	0	0,368	0,974	0,789	0,989
Pista de despegue	0,193	0	1	1	0	0	0
Peso del UAV	0,129	$2,32 \cdot 10^{-3}$	1	0,113	0	0,056	$9,46 \cdot 10^{-3}$
Carga útil	0,055	1	0	0,952	0,996	0,942	0,982
Añadir dispositivos	0,077	0	0	0	0	0	0
Coste	0,386	$5,51 \cdot 10^{-3}$	1	0,143	0	$3,28 \cdot 10^{-3}$	$2,06 \cdot 10^{-3}$
Valoración	---	<b>0,212</b>	<b>0,708</b>	<b>0,404</b>	<b>0,213</b>	<b>0,179</b>	<b>0,215</b>

#### 4.3. RESULTADO DEL ANÁLISIS

Como se puede observar, el resultado de este análisis sitúa al RPAS Alpha 900 en primer lugar, por tanto, este sería el sistema más adecuado para ser utilizado por los equipos de observadores avanzados.

Hay que destacar el hecho de que los sistemas Atlantic y Searcher (quinta y sexta aeronave, respectivamente) han obtenido unas notas muy deficientes en comparación con el idóneo. Su mayor peso, coste y la necesidad de uso de aeródromos para despegar ha terminado por alejar a estos sistemas de ser firmes candidatos. Sus elevadas capacidades parecen exceder la necesidad que tendría un simple observador avanzado. Las características propias de estos sistemas les orientan hacia un uso estratégico de observación y obtención de objetivos e inteligencia en profundidad, tras las líneas enemigas.

Por el contrario, los sistemas Raven, Mavic 3 y Thyra V1 han obtenido unas buenas calificaciones, muy parecidas entre sí, y próximas a la obtenida por el sistema Alpha 900. Todos ellos se caracterizan por ser sistemas económicos, ligeros y que no necesitan el uso de pista de aterrizaje para despegar y tomar tierra.

Habría que hacer mención especial al sistema Raven, pues de las aeronaves disponibles en dotación es la que mejor calificación ha obtenido. Además, de entre todos los sistemas evaluados, cuenta con la segunda mejor calificación. Como ya se avanzó en el apartado 3.3, la aeronave se encuentra encuadrada en las compañías de inteligencia de las brigadas. En las mismas brigadas donde se encuentran los grupos de artillería, con cometido de apoyo directo, a los cuales se trata de buscar un RPAS idóneo para su empleo por parte de sus observadores avanzados. Su actual disponibilidad en las unidades del ejército de tierra evitaría tener que realizar inversión alguna y teniendo en cuenta la buena calificación obtenida, sería un gran acierto el empleo de los sistemas Raven por parte de los equipos de observadores avanzados.

En conclusión, el mejor sistema según el análisis es el Alpha 900 pero, puesto que cada sistema tiene un coste económico de 19.500 euros, mientras no haya recursos

suficientes, el Raven es una buena alternativa a corto plazo, ya que tiene una calificación muy buena y no necesitaría inversión alguna. Eso sí, de cara a una futura adquisición para renovar estos sistemas habría que apostar por el Alpha 900, eso sería lo ideal.

## 5. ANÁLISIS DAFO

Para la viabilidad de la propuesta de implementación de un RPAS en el equipo OAV de artillería se ha realizado un análisis DAFO, en el que se analizan las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de los RPAS.

Tabla 8. Conclusiones del análisis DAFO. Fuente: elaboración propia.

Análisis DAFO	
<p><b>Debilidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitadas prestaciones.</li> <li>- <i>Playtime</i>.</li> <li>- Elevado coste.</li> </ul>	<p><b>Amenazas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Riesgo de pérdida.</li> <li>- Técnicas anti-drones.</li> <li>- Vulnerabilidad por guerra electrónica.</li> <li>- Afectado por condiciones climatológicas.</li> </ul>
<p><b>Fortalezas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor capacidad de observación.</li> <li>- Seguridad del equipo de OAV.</li> <li>- Conocimiento en tiempo real.</li> <li>- Reducida huella logística.</li> </ul>	<p><b>Oportunidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mercado emergente.</li> <li>- Flexibilidad en el despliegue.</li> </ul>

### Debilidades

Las debilidades internas de los RPAS vienen, en esencia, motivadas por sus limitadas prestaciones y capacidades. Su limitado alcance supone que el radio de acción de la aeronave se vea reducido, acotando la distancia entre el dron y el operador. Además, su autonomía limita enormemente el *playtime*<sup>8</sup> que entrega el aparato al equipo que lo opera. Asimismo, adquirir un sistema completo y su posterior mantenimiento conlleva un elevado coste.

### Amenazas

Las técnicas anti drones han avanzado enormemente, llegando a imposibilitar el uso de estos ante la presencia de determinadas armas de defensa. Son fácilmente hostigables, pues la dependencia del enlace mediante radiofrecuencia y el uso de GPS puede verse fácilmente vulnerado a través de guerra electrónica, imposibilitando su uso. Además, resulta bastante sencillo para el enemigo derribar la aeronave una vez la ha localizado, pues es un blanco aéreo que se mueve a velocidades reducidas. Igualmente, las malas condiciones climatológicas pueden afectar gravemente a la integridad y supervivencia del UAV.

<sup>8</sup> Se traduce literalmente como “tiempo de juego”. Indica el tiempo que posee el operador para realizar la misión encomendada en el lugar donde se desarrolla. El *playtime* es lo que queda al restarle a la autonomía el tiempo de vuelo de ida y de vuelta hasta el lugar donde ha de cumplirse la misión encomendada.

### **Fortalezas**

Las fortalezas son aquellos elementos internos de los RPAS que aportan unas capacidades distintas y suponen una ventaja frente a otros sistemas utilizados. La perspectiva aérea permite la observación de zonas ocultas para el OAV y proporciona mayor flexibilidad y movilidad para la observación en las áreas de interés asignadas. Su principal fortaleza radica en la seguridad, al no ponerse en riesgo la integridad del personal encargado de las tareas de observación. El uso de drones supone un salto de nivel en cuanto al conocimiento del campo de batalla y del enemigo, gracias al envío de información en tiempo real. Su reducido tamaño y bajo peso, en comparación con una aeronave tripulada, hacen que su sección radar equivalente sea mínima, limitando la capacidad de detección de los radares antiaéreos enemigos. Por último, es necesario considerar el poco personal necesario para su manejo y su fácil transporte. Todo ello hace que sea fácilmente desplegable en cualquier lugar sin grandes esfuerzos logísticos para ello.

### **Oportunidades**

Las oportunidades son aquellos aspectos positivos que hay en el entorno y que pueden ser aprovechados para pasar a ser fortalezas. Entre ellas, es de considerar el mercado emergente que suponen estos sistemas, gozando cada vez más de mayores inversiones en tecnología que se ven traducidas en grandes avances de sus capacidades y prestaciones. También, el uso de estas tecnologías supone una mayor flexibilidad de despliegue ya que, en su mayoría, no es necesaria la creación de aeródromos.

En conclusión, los RPAS cuentan con una tecnología en pleno proceso de mejora. A pesar de sus limitadas prestaciones en alcance y autonomía, su capacidad de despliegue y observación aérea suponen una ventaja frente al método tradicional de observación. Además, como principal fortaleza de estos sistemas se encuentra la capacidad de asegurar la supervivencia del equipo de observadores, disminuyendo el riesgo y su exposición a vanguardia del despliegue.

## 6. ANÁLISIS DE RIESGOS DEL USO DE RPAS

En este capítulo se presenta un análisis de riesgos de la implantación del RPAS. Este análisis tiene como objetivo cuantificar el riesgo que pueden implicar una serie de sucesos, sobre los cuales podemos actuar evitándolos o tomando unas decisiones distintas. Para llevar a cabo el análisis se debe evaluar la probabilidad de que ocurra una determinada amenaza y, por otra parte, se debe determinar el nivel de importancia que dicha amenaza supondría, es decir, la gravedad del daño que causaría. Se han seguido los siguientes pasos: [16]

- Identificación de todos los riesgos potenciales que supone el uso de RPAS.
- Determinación de la probabilidad de que esas amenazas potenciales, previamente identificadas, tengan lugar. Para ello, se asigna un valor entre 1 y 4; siendo 1 la probabilidad más baja de que ocurra un suceso determinado y 4 la probabilidad más alta.
- Clasificación de cada amenaza potencial por orden de magnitud del daño que ocasionaría su aparición. Para ello se asignan cuatro valores: 1, 3, 5 y 7; siendo 7 el que mayor severidad supone.
- Cálculo del grado de riesgo mediante la siguiente expresión:

$$\text{Grado de Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Severidad} \quad (\text{Ecuación 4})$$

- Determinación del tipo de riesgo. Si el grado de riesgo es mayor o igual a 12 se considera tipo alto (rojo). Si el grado de riesgo es menor o igual a 3 se considera tipo bajo (verde). Los valores mayores de 3 y menores de 12 se consideran tipo intermedio (amarillo). En la Tabla 9 se pueden observar los grados de riesgo con sus respectivos colores. Después se presentan los riesgos detectados en una tabla donde se representa la probabilidad de que suceda la amenaza potencial en el eje Y, y la magnitud del daño en el eje-X. En cada casilla se pone el número de riesgos encontrados.

Tabla 9. Escala de grado de riesgo. Fuente: elaboración propia. [16]

PROBABILIDAD	GRADO DE RIESGO			
4	4	12	20	28
3	3	9	15	21
2	2	6	10	14
1	1	3	5	7
SEVERIDAD	1	3	5	7

### 6.1. RIESGOS POTENCIALES

En primer lugar, siguiendo el orden descrito previamente, se tratarán de identificar los riesgos potenciales que supone el uso de RPAS. Serían los siguientes:

#### Colisiones durante el vuelo

Las colisiones accidentales suponen un elevado riesgo para la integridad del UAS. Este tipo de situaciones pueden verse causadas por fallos en el funcionamiento de la aeronave, errores de pilotaje o simplemente por choques fortuitos contra aves que comparten el espacio aéreo con el sistema. El hecho de tener una colisión con otra aeronave, contra un edificio o contra el terreno podría ocasionar una pérdida de control, en el mejor de los casos, o directamente dejar inservible el dron. Si este suceso ocurre en territorio enemigo, no podrá recuperarse el sistema y, además, sería posible que el enemigo obtuviera datos sobre las fuerzas propias mediante el análisis de los restos.

Si bien, no parecen sucesos muy recurrentes y que puedan suceder con cierta frecuencia. Las unidades dotadas con sistemas RPAS contarán con personal experto en el mantenimiento de estos sistemas, evitando posibles fallos gracias al mantenimiento preventivo de la aeronave, y con personal instruido con capacidades adecuadas para no cometer este tipo de errores de pilotaje.

Por todo ello, se ha determinado asignar una probabilidad de suceso de 1 y una evaluación de la amenaza de 5.

$$GR_{\text{Colisión}} = 1 \cdot 5 = 5$$

Según la tabla de grados de riesgo, le corresponde con un riesgo medio.

### **Condiciones meteorológicas**

Las malas condiciones meteorológicas pueden ocasionar grandes problemas a los RPAS. El viento puede producir un desvío de la ruta de la aeronave o incluso la pérdida en condiciones muy adversas. Las condiciones de viento pueden ir desde una ligera brisa a la presencia de fuertes vientos que hacen de la utilización del sistema una mera quimera. Asimismo, se considera que la peor situación meteorológica que puede afrontar una aeronave es volar en condiciones de engelamiento<sup>9</sup>. Ambas situaciones, el viento y las condiciones de engelamiento, no son sobrevenidas, sino que van haciéndose visibles de manera gradual, siendo de especial importancia la pericia del piloto para valorar los riesgos a los que expone al sistema y conocer las capacidades de la aeronave que pilota.

Las malas condiciones meteorológicas son factores a los cuales los RPAS de las Fuerzas Armadas se van a enfrentar de manera recurrente. Por ello, el planeamiento de la misión tiene gran importancia, pues, a pesar de contar con personal correctamente instruido en el pilotaje de estos sistemas, no siempre se podrán evitar estas condiciones.

Por todo ello, se ha determinado asignar una probabilidad de suceso de 3 y una evaluación de la amenaza de 3.

$$GR_{\text{Cond.Meteo}} = 3 \cdot 3 = 9$$

Según la tabla de grados de riesgo, corresponde con un riesgo medio.

### **Localización de aeronave por el enemigo**

La localización de enemigos aéreos realizada por los sistemas contra drones ha evolucionado rápidamente en los últimos años. Los drones son controlados remotamente a través de enlace GPS o mediante radiofrecuencia. Esto los hace especialmente vulnerables, pues las coordenadas GPS y el envío de datos de control de la aeronave por radiofrecuencia pueden verse fácilmente alterados mediante ataques de guerra electrónica enemigos.

El hecho de que nuestro RPAS sea localizado puede implicar, casi de manera automática, su eliminación, pues un blanco situado en la plataforma aérea que se mueve a velocidades no muy elevadas es un blanco realmente sencillo para cualquier sistema de armas. Asimismo, la localización de la aeronave puede hacer que el enemigo sepa qué objetivos

---

<sup>9</sup> El engelamiento es un fenómeno a partir del cual se deposita hielo sobre la aeronave al entrar en contacto la humedad del ambiente frío con las superficies de la aeronave. Este hielo ocasiona un cambio en el perfil alar de las superficies aerodinámicas del RPAS, produciendo una menor sustentación y un aumento de peso llegando en ocasiones a provocar la pérdida de la aeronave.

prioritarios estamos estudiando para poder acometer posteriormente un ataque sobre ese lugar. Para tratar de evitar esta situación, deberíamos equipar al sistema aéreo con contramedidas<sup>10</sup> electrónicas que limiten la emisión de radiación electromagnética que pueda ser localizada por las defensas antiaéreas enemigas.

Por todo ello, se ha determinado asignar una probabilidad de suceso de 3 y una evaluación de la amenaza de 5.

$$GR_{\text{Localización}} = 3 \cdot 5 = 15$$

Según la tabla de grados de riesgo, corresponde con un riesgo alto.

#### **Pérdida de enlace**

La pérdida de enlace puede ocurrir por múltiples factores. Se considerará la pérdida de enlace por sobrepasar el alcance máximo de la aeronave, por agotar la autonomía del sistema o por la escarpada orografía. No se considera la pérdida de enlace por perturbación mediante guerra electrónica, pues este riesgo ya ha sido evaluado en el apartado de localización.

La pérdida de contacto de la aeronave no debe suponer, en ningún caso, arriesgar su supervivencia, pues hoy en día el mercado RPAS ofrece sistemas con la capacidad de retornar a un punto previamente fijado por los operadores. De esta manera, la pérdida de enlace no supondrá la pérdida del dron, con el consiguiente impacto que supondría.

Por todo ello, se ha determinado asignar una probabilidad de suceso de 3 y una evaluación de la amenaza de 1.

$$GR_{\text{Pérdida enlace}} = 3 \cdot 1 = 3$$

Según la tabla de grados de riesgo, corresponde con un riesgo bajo.

#### **Avería durante el vuelo**

Durante el vuelo, el UAV podría experimentar algún tipo de problema mecánico que impidiera el cumplimiento de la misión encomendada. Además, en función de la gravedad de la falla surgida, se podría llegar a la necesidad de efectuar un aterrizaje de emergencia o incluso a perder el contacto con la aeronave. Fallos en la generación de energía o en las superficies aerodinámicas son fallos graves que pueden acarrear que la aeronave se golpee contra el suelo tras efectuar una toma de emergencia, provocando averías difícilmente reparables.

La probabilidad de aparición de averías durante el vuelo puede ser reducida mediante la programación de un sistema de mantenimiento preventivo.

Por todo ello, se ha determinado asignar una probabilidad de suceso de 2 y una evaluación de la amenaza de 3.

$$GR_{\text{Avería en vuelo}} = 2 \cdot 3 = 6$$

Según la tabla de grados de riesgo, corresponde con un riesgo medio.

---

<sup>10</sup> Contramedidas electrónicas (ECM) son aquellas medidas que emplean energía electromagnética para impedir o reducir el uso eficaz del espectro electromagnético por parte del enemigo. Según los efectos que se quieran obtener se puede utilizar la perturbación, decepción o neutralización.

### Fatiga del material

El fenómeno de la fatiga afecta a la resistencia de las piezas cuando se las somete a un número de cargas o deformaciones. Esas cargas son las que sufre la aeronave por el simple hecho de volar. La diferencia de presiones entre las superficies aerodinámicas que provoca la sustentación provoca lo que conocemos como ciclo de fatiga. Si bien, la fatiga no solo se debe a esos ciclos de presión-depresión, sino que las condiciones de la atmósfera (contraste de temperaturas y humedad) también provocan el desgaste del material. Los efectos de la fatiga pueden ser mínimos si existe un control sobre ella, o desastrosos si no se les presta atención, pues la fatiga de material degenerará en multitud de averías.

La fatiga del material es inevitable, si bien, podremos medir el número de ciclos de fatiga necesarios hasta la aparición de fallas estructurales críticas. Con ello, sabremos en qué momento sucederá en todas las aeronaves de nuestra flota, pudiendo adelantar y prevenir posibles averías que pudieran surgir.

Por todo ello, se ha determinado asignar una probabilidad de suceso de 3 y una evaluación de la amenaza de 1.

$$GR_{\text{Fatiga material}} = 3 \cdot 1 = 3$$

Según la tabla de grados de riesgo, corresponde con un riesgo bajo.

## 6.2. ANÁLISIS

A pesar de que el surgimiento de riesgos es inevitable en una implantación de estas características, es vital para el éxito de la misma el conseguir detectar y minimizar las amenazas que puedan surgir.

En el apartado anterior se han detectado y analizado un total de seis situaciones de riesgo. Cada situación ha presentado un nivel de riesgo propio en función de la probabilidad de aparición (P1, P2, P3 y P4) y de la severidad que puede tener (S1, S3, S5, y S7). En la Tabla 10 se resume el número de riesgos de cada tipo que se han encontrado.

Tabla 10. Matriz de riesgos de la implementación de sistemas RPAS. Fuente: elaboración propia.

GRADO DE RIESGO	NÚMERO DE RIESGOS
ALTO	1
MEDIO	3
BAJO	2
TOTAL	6

La parte positiva que destacar es el bajo grado de riesgo que suponen dos amenazas concretas como son la pérdida de enlace y la fatiga del material del aparato. Ambos son riesgos completamente asumibles que apenas tienen impacto alguno en el buen cumplimiento de la misión encomendada.

En cuanto a los riesgos clasificados como medios, nos encontramos: colisión durante el vuelo, condiciones meteorológicas y avería durante el vuelo. Las amenazas clasificadas con un grado de riesgo medio suponen que la misión encomendada al sistema RPAS pueda llegar a verse gravemente afectada.

Por último, cabe destacar que el mayor riesgo al que se enfrenta la unidad dotada con medios aéreos no tripulados es la localización de la aeronave por parte del enemigo. De llegar a materializarse, sería una situación crítica pues el adversario podría derribar el dron fácilmente y obtener datos del mismo, así como avances tecnológicos. Por ello, se trata de un riesgo que

debe ser evitado siempre que sea posible, ya que sus consecuencias son incompatibles con el cumplimiento de la misión encomendada al sistema RPAS.

Tabla 11. Cuadro resumen del análisis de riesgo. Fuente: elaboración propia.

Amenaza	Causa de la amenaza	Probabilidad	Severidad	Grado de riesgo	Efectos	Medidas
Colisiones durante el vuelo	-Otra aeronave -Aves	1	5	5-Medio	-Pérdida de control -Aparato inservible	-Mantenimiento preventivo -Instrucción de pilotos
Condiciones meteorológicas	-Viento -Lluvia -Engelamiento	3	3	9-Medio	-Incumplimiento de la misión -Pérdida de control	-Instrucción de pilotos -Planeamiento de la misión
Localización de aeronave por el enemigo	-Defensas antiaéreas	3	5	15-Alto	-Derribo del aparato -Extracción de datos del sistema	- Empleo de contramedidas
Pérdida de enlace	-Limitadas prestaciones del aparato -Orografía	3	1	3-Bajo	-Pérdida de contacto con la aeronave	-Modo "volver a casa"
Avería durante el vuelo	-Desgaste del material -Mal mantenimiento	2	3	6-Medio	-Pérdida de control -Pérdida de contacto con la aeronave	-Mantenimiento preventivo
Fatiga del material	-Ciclos de fatiga	3	1	3-Bajo	-Pérdida del aparato	-Control de ciclos de vuelo y desgastes

## 7. CONCLUSIONES

Los equipos de observadores avanzados son una pieza clave para la artillería. Sin embargo, realizan una tarea bastante complicada y sujeta a un elevado riesgo. Por este motivo surge la necesidad de evaluar la viabilidad de dotar a los equipos de observadores avanzados de medios RPAS. El uso de drones supondría un aumento de la movilidad, del alcance y de la seguridad táctica por parte de los equipos de observadores avanzados, consiguiendo al mismo tiempo un aumento significativo de sus capacidades.

Con el propósito de analizar la viabilidad de la implementación de estos sistemas, se han estudiado las misiones del observador avanzado, los sistemas RPAS presentes en dotación y también los disponibles en el mercado. Se ha llevado a cabo la elección del sistema RPAS más adecuado a las funciones de los OAV mediante un análisis multicriterio ponderado normalizado. Además, la evaluación de la viabilidad de la propuesta se ha completado elaborando un análisis DAFO y un análisis de riesgos.

Las conclusiones más importantes que se pueden extraer de este Trabajo Fin de Grado son las siguientes:

A través del análisis multicriterio se concluye que el mejor de los sistemas estudiados es el Alpha 900. Si bien, puesto que no requiere inversión inicial alguna, el empleo del Raven sería una buena alternativa a corto plazo. Eso sí, de cara a una futura adquisición para renovar estos sistemas habría que apostar por el Alpha 900, eso sería lo ideal.

Mediante el análisis DAFO se ha puesto de manifiesto la ventaja que supone el empleo de medios de observación aérea frente al método tradicional de observación. Además, como conclusión de este análisis se puede destacar que la implementación del sistema RPAS aumentaría la seguridad del equipo de observadores, disminuyendo su exposición a vanguardia del despliegue.

Gracias al análisis de riesgos elaborado, se ha determinado que el riesgo mayor para la implantación sería que la aeronave fuera localizada por el enemigo, pues se trataría de una situación crítica, ya que el adversario podría derribar el dron fácilmente y obtener información del mismo.

De manera general, se puede concluir que la adquisición de medios RPAS para los equipos de observadores avanzados de artillería es viable y supondría una gran mejora de sus capacidades, así como un avance significativo en cuanto a la seguridad de los equipos.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio de Defensa. Brigadas polivalentes, 03 Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://ejercito.defensa.gob.es/actualidad/2012/12/2041.html>.
- [2] Mando de Adiestramiento y Doctrina, Empleo de la Artillería de Campaña. PD4-304, Granada, 2018.
- [3] Mando de Adiestramiento y Doctrina, Equipo de observador de Artillería de campaña MI-304, Granada, 2015.
- [4] Mando de Adiestramiento y Doctrina, «Operación R/A Afganistán. Lecciones aprendidas de la participación del observador de fuego aéreo,» Granada, 2015.
- [5] Centro superior de estudios de la defensa nacional, «Los sistemas no tripulados. Documentos de seguridad y defensa,» Marzo 2012. [En línea]. Available: <https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/P/D/PDF223.pdf>.
- [6] O. d. A. C. Internacional., «Circular 328. Sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS).,» 2011. [En línea]. Available: [https://www.icao.int/Meetings/UAS/Documents/Circular%20328\\_es.pdf](https://www.icao.int/Meetings/UAS/Documents/Circular%20328_es.pdf).
- [7] Mando de Adiestramiento y Doctrina, Empleo táctico de la unidad de RPAS. PD4-013, Granada, 2016.
- [8] (DGAM), Dirección general de armamento y material, «Plan director de RPAS,» Febrero 2015. [En línea]. Available: <https://www.defensa.gob.es/Galerias/dgamdocs/plan-director-RPAS.pdf>.
- [9] AeroVironment. Raven b, 2022 Marzo 03. [En línea]. Available: <https://www.ceta.aero/raven-ddl-rq11b>.
- [10] Israel Aerospace Industries. Searcher MK-III, 03 Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://www.iai.co.il/p/searcher-mk-iii>.
- [11] Sistemas de Control Remoto. Atlantic I, 03 Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://scrdrone.com/producto-item/atlantic-i/>.
- [12] DJI. DJI Mavic 3, 03 Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://m.dji.com/es/product/dji-mavic-3/>.
- [13] Alpha Unmanned Systems. Alpha 900, 03 Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://alphaunmannedsystems.com/a900/>.
- [14] Aeronáutica SDLE. Thyra V1, 03 Marzo 2022. [En línea]. Available: <http://www.aeronauticasdle.es/thyra-v1/>.
- [15] F. D. d. I. P. Esteban, Técnicas de optimización de sistemas industriales, Madrid: Centro de Estudios Financieros, 2021.
- [16] Y. Gutierrez y A. Sanchez, Diseño de un modelo de gestión de riesgos basado en ISO 31.000:2012 para los procesos de docencia, Chile: Formación universitaria, 2017.
- [17] SCR., Departamento de RPAS de la empresa, Manual de operación del sistema Atlantic, Madrid, 2017.

- [18] Mando de Adiestramiento y Doctrina, «NOP del Empleo del UAV Raven B en operaciones,» Granada, 2010.
- [19] Mando de Adiestramiento y Doctrina, Equipo mini-UAV Raven B. MI-100, Granada, 2015.
- [20] Mando de Adiestramiento y Doctrina, «Lecciones aprendidas de la participación de la unidad PASI en la operación R/A,» Granada, 2014.

## 9. ANEXOS

### 9.1. ANEXO I: ENTREVISTA A PILOTOS DE RPAS

Evalúe del 1 al 5, donde 1 es menos importante y el 5 es el más importante, las características de un RPAS que se expresan a continuación con relación a cumplir la misión de un OAV.

a) Autonomía.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

b) Alcance.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

c) Necesidad de pista de despegue.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

d) Peso.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

e) Carga útil.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

f) Acople de dispositivos (visión IR, telémetros...).

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

g) Coste económico.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 9.2. ANEXO II: RESULTADOS DEL CUESTIONARIO

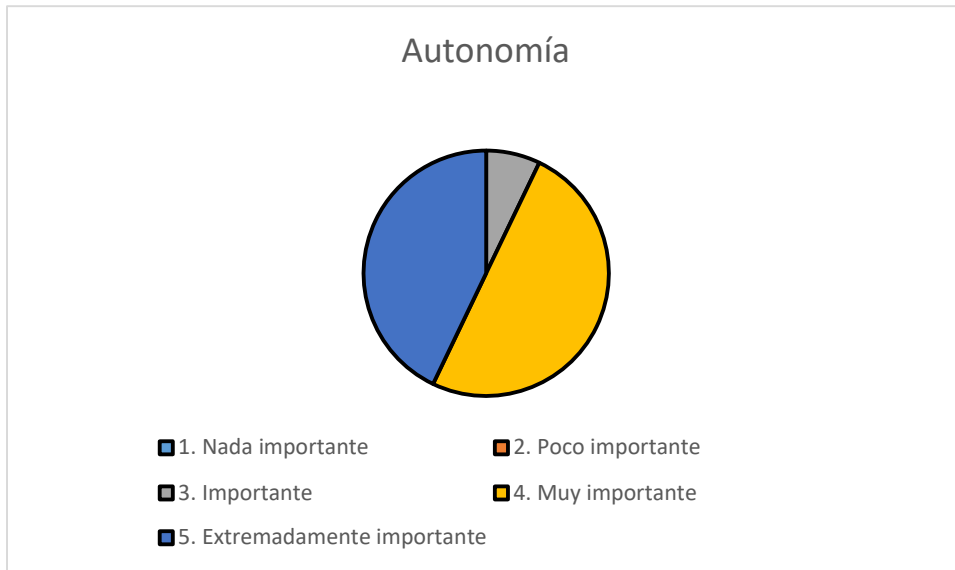
En el siguiente anexo se recogen de manera gráfica los resultados obtenidos del cuestionario realizado al personal de la unidad. En primer lugar, se mostrarán los resultados globales obtenidos y a continuación las respuestas de las 14 encuestas realizadas.

	1. Nada importante	2. Poco importante	3. Importante	4. Muy importante	5. Extremadamente importante	Media	Desviación
Autonomía	0	0	9	4	1	3,43	0,65
Alcance	0	1	9	4	0	3,21	0,58
Pista de despegue	0	0	0	10	4	4,29	0,47
Peso	0	1	3	8	2	3,79	0,8
Carga útil	4	7	3	0	0	1,93	0,73
Añadir dispositivos	0	1	7	6	0	3,36	0,63
Coste	0	0	1	7	6	4,36	0,63



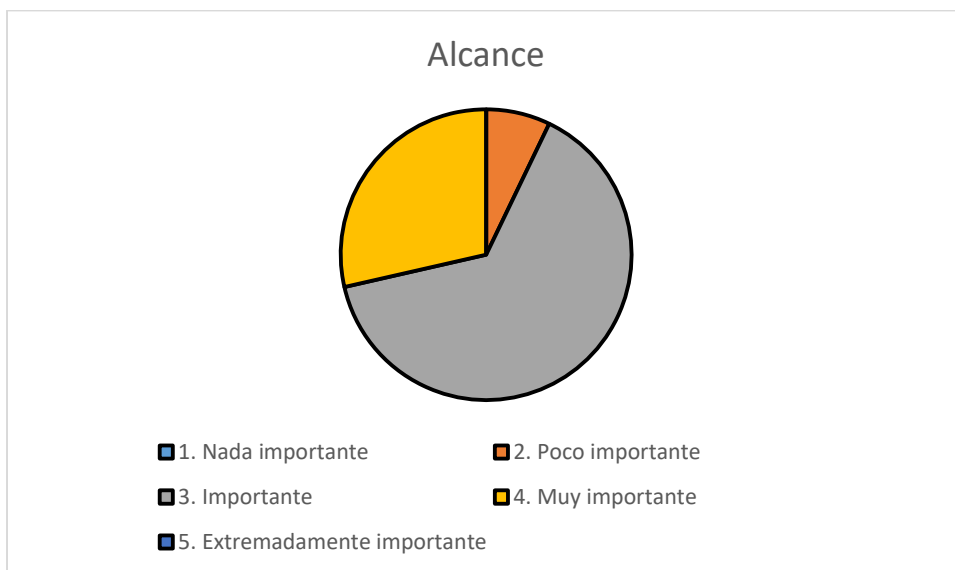
- Autonomía:

1. Nada importante	2. Poco importante	3. Importante	4. Muy importante	5. Extremadamente importante	Media
0	0	9	4	1	3,43



▪ Alcance:

1. Nada importante	2. Poco importante	3. Importante	4. Muy importante	5. Extremadamente importante	Media
0	1	9	4	0	3,21



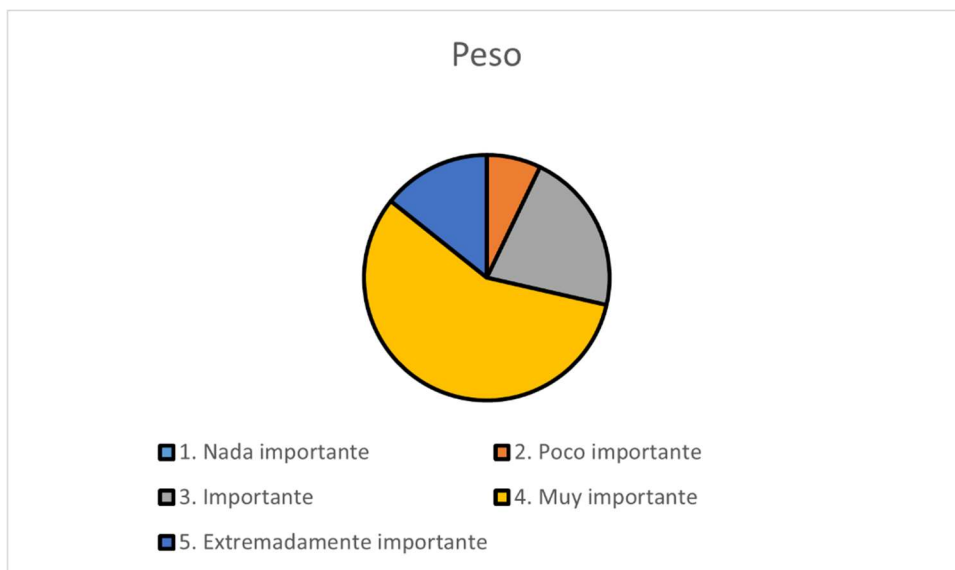
▪ Pista de Despegue:

1. Nada importante	2. Poco importante	3. Importante	4. Muy importante	5. Extremadamente importante	Media
0	0	0	10	4	4,29



▪ **Peso:**

1. Nada importante	2. Poco importante	3. Importante	4. Muy importante	5. Extremadamente importante	Media
0	1	3	8	2	3,79



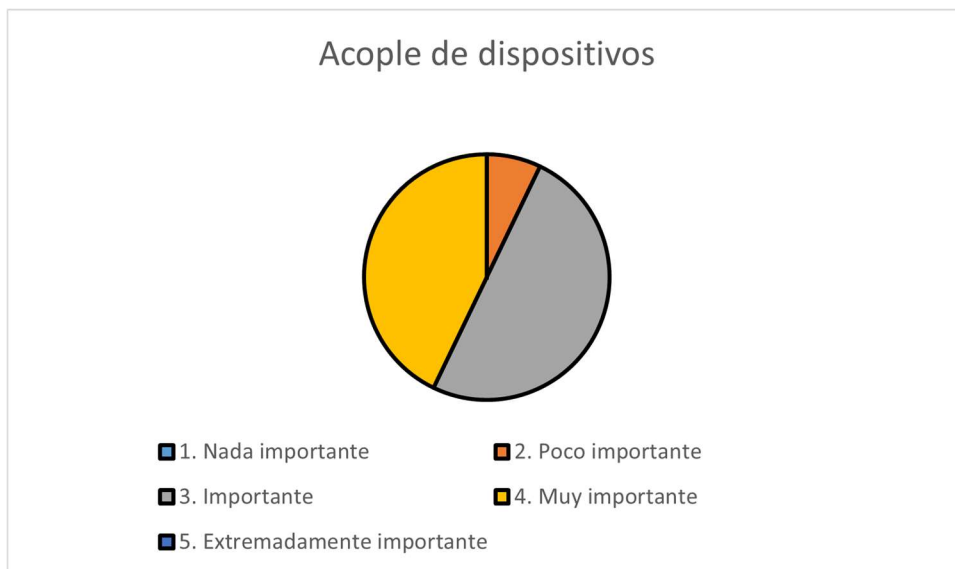
▪ **Carga útil:**

1. Nada importante	2. Poco importante	3. Importante	4. Muy importante	5. Extremadamente importante	Media
4	7	3	0	0	1,93



▪ Acople de dispositivos:

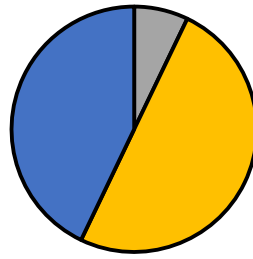
1. Nada importante	2. Poco importante	3. Importante	4. Muy importante	5. Extremadamente importante	Media
0	1	7	6	0	3,36



▪ Coste económico:

1. Nada importante	2. Poco importante	3. Importante	4. Muy importante	5. Extremadamente importante	Media
0	0	1	7	6	4,36

### Coste económico



- 1. Nada importante
- 2. Poco importante
- 3. Importante
- 4. Muy importante
- 5. Extremadamente importante