

## Trabajo Fin de Grado

ANÁLISIS, ESTUDIO Y POSIBILIDADES QUE APORTA EL USO DE  
MICRO-UAV,s, EN UNIDADES TIPO PELOTÓN MECANIZADO  
EN COMBATE HÍBRIDO

Autor

C.A.C D. Alejandro Pérez Garrido

Directores

Directora académica: Dra. Dña. Silvia Vilariño Fernández

Director militar: Cap. D. Pablo Martín López

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar  
Año 2020



## **Agradecimientos**

A todos aquellos que han hecho posible la culminación de este trabajo, tanto los que me han aportado información, como aquellos que me han brindado su apoyo.

## Resumen

En la actualidad, la tecnología se ha vuelto un componente imprescindible en todos los ámbitos de la vida y, por tanto, se ha convertido en una herramienta muy útil para utilizar en el campo militar. La tecnología UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) ha ido evolucionando a la vez que la complejidad de los conflictos bélicos, evidenciando la necesidad de implementarlo en la función inteligencia del ejército.

Con el presente Trabajo de Fin de Grado se busca realizar un análisis de algunos de los sistemas micro-UAV que destacan en la actualidad, con el fin de comprender sus capacidades y las posibilidades de aplicación que brindan a una unidad tipo pelotón mecanizado en combate híbrido. El estudio de los micro-UAV,s se completará con un estudio más amplio de los UAV,s vigentes de la mayoría de las clases.

Para la realización del análisis del que se habla previamente ha sido necesario la búsqueda de información sobre este tipo de sistemas, tanto dentro de las fuentes accesibles del Ministerio de Defensa como materiales adicionales como son manuales, fichas técnicas o incluso noticias recogidas en diferentes páginas web.

Así mismo, se analizará resumidamente la orgánica del pelotón para determinar el elemento de este que sería apropiado para la dotación del micro-UAV, enunciando los diferentes tipos de misiones que se realizan en un ambiente de combate híbrido, y analizando las posibilidades de mejora de las funciones ISTAR que ofrecen estos sistemas.

Con el fin de ampliar el alcance de este trabajo y que no se limitase a un simple estudio de los sistemas micro-UAV's disponibles y sus posibles aplicaciones en una unidad tipo pelotón en combate híbrido se ha decidido analizar, entre las alternativas existentes, cuál sería la mejor opción para la adquisición de uno de estos sistemas.

La propuesta de adquisición planteada en este trabajo trata de ser lo más objetiva posible, evitando la toma de decisión en base a la experiencia de una única persona. Con el fin de buscar un método lo más objetivo posible para esta propuesta de adquisición se ha decidido implementar el método de decisión multicriterio AHP (*Analytic Hierarchy Process*) desarrollado por el profesor T. L. Saaty.

A través del empleo de la metodología AHP se resolverá un proceso de selección en el que, utilizando como alternativas los micro-UAV,s analizados y aquellos pertenecientes a la clase mini, se determinará cuál de ellos es el más adecuado para el empleo dentro de un pelotón mecanizado en combate híbrido. Esto será posible gracias al empleo del software *Superdecisions* que permite obtener los resultados a partir de las ponderaciones de una serie de criterios y subcriterios, sin necesidad de recurrir al cálculo manual de las matrices y vectores de ponderación en los que se basa este método.

Los criterios y subcriterios que se consideran en la implementación del método AHP son el resultado del análisis de las principales características que ha de poseer un micro-UAV para el empleo en una unidad tipo pelotón mecanizado en combate híbrido. Como es usual en este tipo de sistemas complejos, estas características (criterios/subcriterios) entran en conflicto entre sí, por lo que es fundamental establecer un peso a cada una de ellas.

Parar conseguir que tanto el listado de características como la importancia o ponderación de cada una de ellas siga un proceso lo más objetivo posible, se ha contado con la colaboración de un grupo de expertos que se ha constituido del modo más heterogéneo posible, teniendo en cuenta no solo la visión de expertos en sistemas micro-UAV, sino también la opinión de los futuros usuarios de estos sistemas en las unidades antes mencionadas. Gracias a la colaboración de los integrantes del grupo de expertos, y partiendo de una propuesta inicial de criterios y subcriterios elaborada a partir del estudio del estado del arte realizado, se ha llegado a un consenso

sobre las principales características que debe poseer un micro-UAV en el contexto que se analiza en este trabajo. Los diferentes pesos que son asignados a estos criterios y subcriterios se han obtenido a través de la difusión de encuestas tanto a personal experto como a personal de una unidad mecanizada, empleando para ello el proceso de comparación por pares.

Como paso final, aplicando el método AHP, se ha obtenido el modelo de micro-UAV que mejor se adapta a todos estos criterios y subcriterios, teniendo siempre en consideración el peso asignado por el grupo de expertos a cada uno de ellos.

## Abstract

Nowadays, technology has become an indispensable component in all areas of life and has therefore become a very useful tool for use in the military. The UAV technology has been evolving at the same time as the complexity of the warlike conflicts, evidencing the need to implement it in the intelligence function of the army.

With the present “Trabajo Fin de Grado”, we seek to carry out an analysis of some of the micro-UAV systems that stand out at present, in order to understand their capabilities and the possibilities of application that they provide to a mechanized squad type unit in hybrid combat. The study of the micro-UAV, s will be completed with a broader study of the current UAV, s of most categories.

In order to carry out the analysis mentioned above, it has been necessary to search for information on this type of systems, both within the accessible sources of the Ministry of Defence as well as additional materials such as manuals, technical data sheets or even news gathered from different websites.

Likewise, the organic of the squad will be analyzed to determine the pax that would be appropriate for the endowment of the micro-UAV, enunciating the different types of missions that are realized in an environment of hybrid combat, and analyzing the possibilities of improvement of the ISTAR functions that these systems offer.

In order to extend the scope of this work and not limit it to a simple study of the available micro-UAV systems and their possible applications in a mechanized squad type unit in hybrid combat, it has been decided to analyze, among the existing alternatives, which would be the best option for the acquisition of one of these systems.

The proposal of acquisition raised in this work tries to be as objective as possible, avoiding making a decision based on the experience of a single person. In order to seek a method as objective as possible for this acquisition proposal it has been decided to implement the Analytic Hierarchy Process (AHP method) developed by Professor T. L. Saaty.

Through the use of AHP methodology will resolve a selection process in which, using as alternatives the micro-UAV,s analyzed and those belonging to the mini class, will determinate which is best suited for use within mechanized squad in hybrid combat. This will be possible thanks to the use of the Superdecisions software that allows to obtain the results from the weightings of a series of criteria and sub-criteria, without the need to resort to the manual calculation of the matrixes and weighting vectors on which this method is based.

The criteria and sub-criteria considered in the implementation of the AHP method are the result of the analysis of the main characteristics that a micro-UAV must have for use in a mechanized squad type unit in hybrid combat. As usual in this type of complex systems, these characteristics (criteria/sub-criteria) are in conflict with each other, so it is essential to establish a weight to each of them.

In order to ensure that both the list of characteristics and the importance of weighting of each one of them follow a process that is as objective as possible, we have had the collaboration of a group of experts that has been constituted in the most heterogeneous way, taking into account not only the vision of experts in micro-UAV systems, nut also de opinion of future users of these systems in the units mentioned above. Thanks to the collaboration of the members of the group of experts, and starting from an initial proposal of criteria and sub-criteria elaborated from the study of the state of the art carried out, a consensus has been reached on the main characteristics that a micro-UAV should have in the context that is analyzed in this work. The different weights that are assigned to these criteria and sub-criteria have been obtained through the dissemination

of surveys to both expert personnel and personnel of a mechanized unit, using the process of comparison by pairs.

As final step, applying the AHP method, the micro-UAV model that best suits all these criteria and sub-criteria has been obtained, always taking into consideration the weight assigned by the group of experts to each of them.

# Índice

1.	Introducción .....	1
1.1.	Definición.....	1
1.2.	Objeto y alcance del trabajo .....	2
1.3.	Motivación .....	3
1.4.	Posibilidades de aplicación .....	4
1.5.	Metodología .....	6
1.6.	Estructura de la memoria.....	7
2.	Estado del arte: tecnología actual de micro-UAV, s .....	7
2.1.	Clasificación.....	7
2.2.	Ánálisis.....	9
2.2.1.	MicroB .....	9
2.2.2.	Wasp AE RQ-12.....	11
2.2.3.	Huginn-X1.....	14
2.2.4.	PD-100 Black Hornet .....	16
3.	Propuesta de adquisición.....	20
3.1.	Descripción de la metodología AHP .....	20
3.2.	Obtención de los criterios y subcriterios .....	21
3.3.	Jerarquización de criterios y subcriterios. ....	23
3.4.	Aplicación del método AHP. Empleo de la herramienta SuperDecisions. ....	24
3.5.	Ánálisis de los resultados .....	27
4.	Conclusiones .....	31
5.	Bibliografía .....	32
	Anexo A.....	36
	Anexo B .....	38
	Anexo C .....	39
	Anexo D .....	50
	Anexo E .....	52
	Anexo F.....	54
	Anexo G .....	68

## Índice de tablas

Tabla 1. Componentes generales de sistema UAV.....	2
Tabla 2. Clasificación UAV OTAN .....	9
Tabla 3. Características sistema MicroB. ....	11
Tabla 5. Características sistema Huginn-X1. ....	15
Tabla 6. Equipo auxiliar del Black Hornet 3. ....	17
Tabla 7. Características sistema Black Hornet. ....	19
Tabla 8. Subcriterios Físicos. ....	21
Tabla 9. Subcriterios operativos. ....	22
Tabla 10. Subcriterios formación. ....	22
Tabla 11. Subcriterios logísticos. ....	23
Tabla 12. Panel de expertos. ....	23
Tabla 13. Escala Saaty.....	24
Tabla 14. Ejemplo valoración de criterios.....	24
Tabla 15. Ejemplo de valoración de subcriterios. ....	24
Tabla 16. Resultados del proceso de selección.....	27
Tabla 17. Ponderación de los criterios.....	28
Tabla 18. Ponderación de subcriterios físicos. ....	28
Tabla 19. Ponderación de subcriterios operativos.....	28
Tabla 20. Ponderación de subcriterios de formación .....	29
Tabla 21. Ponderación de subcriterios logísticos. ....	29
Tabla 22. Características sistema Raven. ....	41
Tabla 23. Características sistema Mantis. ....	42
Tabla 24. Características sistema Fulmar X. ....	44
Tabla 25. Características sistema Orbiter 3. ....	46
Tabla 26. Características del sistema Orbiter 4. ....	47
Tabla 27. Características del sistema Pelícano. ....	48
Tabla 28. Valores de RI para matrices de diferentes órdenes. ....	53

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Orgánica del pelotón de infantería mecanizada.....	4
Ilustración 2. Catapulta de lanzamiento. ....	10
Ilustración 3. Estación base terrena (G.C.S).....	10
Ilustración 4. Payload: Cámara visión diurna o nocturna.....	11
Ilustración 5. Lanzamiento del WASP. ....	12
Ilustración 6. Recuperación mediante aterrizaje en agua del WASP. ....	12
Ilustración 7. Militares del Ejército Australiano operando el Wasp.....	13
Ilustración 8. Huginn-X1 .....	14
Ilustración 9. Mochila táctica Huginn-X1. ....	15
Ilustración 10. Monitor de video externo. ....	15
Ilustración 11. Sistema personal de reconocimiento del Black Hornet 3.....	16
Ilustración 12. Black Hornet 3.....	18
Ilustración 13. Controlador del Black Hornet 3. ....	18
Ilustración 14.Modularidad del Black Hornet 3. ....	18
Ilustración 15. Black Hornet PRS simulator. ....	19
Ilustración 16. Metodología empleada. ....	20
Ilustración 17. Método cualitativo para obtención de ponderaciones. ....	25
Ilustración 18. Diagrama de red de Superdecisions.. ....	26
Ilustración 19. Ejemplo 1 análisis de sensibilidad.....	29
Ilustración 20. Ejemplo 2 análisis de sensibilidad.....	30
Ilustración 21. Ejemplo 3 análisis de sensibilidad.....	30
Ilustración 22. Ejemplo 4 análisis de sensibilidad.....	31
Ilustración 23. Sistema Raven operado por militares españoles. ....	40
Ilustración 24. Sistema Mantis operado por militares españoles.....	42
Ilustración 25. Fulmar X.....	43
Ilustración 26. Orbiter 3.....	45
Ilustración 27. Diferentes imágenes acerca del Orbiter 3.....	45
Ilustración 28. Orbiter 4.....	47
Ilustración 29. UAV Pelícano.....	49
Ilustración 30. Emblema de la Dirección General de Armamento y Material. ....	50

## Listado de acrónimos

- AC.** *Alternating Current.* Corriente alterna.
- AGL.** *Above ground level.* Nivel por encima del suelo.
- AHP.** *Analytic Hierarchy Process.* Proceso de jerarquización analítico.
- AML.** Ametralladora ligera
- ANP.** *Analytic Network Process.* Proceso de red analítica
- BLOS.** *Beyond Line Of Sight.* Más allá de la línea de visión.
- CBT.** *Computed Based Training.* Entrenamiento basado por ordenador.
- COMINT.** *Communications Intelligence.* Inteligencia de las comunicaciones.
- COP.** *Command Operation Post.* Puesto de mando de operación.
- DC.** *Discontinuous Current.* Corriente discontinua.
- DDL.** *Digital Data Link.* Enlace de datos digitales.
- DGAM.** Dirección General de Armamento y Material.
- ECU.** *Emergency Control Unit.* Unidad de control de emergencia.
- ELINT.** *Electronic Intelligence.* Inteligencia electrónica.
- EO.** *Electro Optical.* Electroóptico
- FAS.** Fuerzas Armadas
- GCS.** *Ground Control Segment.* Estación base terrena.
- GPS.** *Global Positioning System.* Sistema de posicionamiento global
- HALE.** *High Altitude Long Endurance.* Resistencia de larga duración a alta altura.
- IED.** *Improvised Explosive Device.* Artefacto explosivo improvisado.
- INTA.** Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.
- IR.** *Infrared.* Radiación infrarroja.
- ISR.** *Intelligence, Surveillance and Reconnaissance.* Reconocimiento, vigilancia e inteligencia
- ISTAR.** *Intelligence Surveillance Target Acquisition and reconnaissance.* Inteligencia, vigilancia, adquisición de objetivos y reconocimiento.
- LOS.** *Line Of Sight.* Línea de visión.
- MALE.** *Medium Altitude Long Endurance.* Resistencia de larga duración a media altura.
- MAV.** *Micro Air Vehicle.* Vehículo aéreo micro
- MPL.** *Maximum Payload.* Peso máximo carga de pago.
- MPR.** *Medium Power Radar.* Radar de potencia media.
- MTI.** *Moving Target Indication.* Indicación de objetivo móvil.
- MTOW.** *Maximum Take-Off Weight.* Peso máximo al despegue.
- NATO/OTAN.** *North Atlantic Treaty Organization/* Organización del Tratado del Atlántico Norte.
- QRF.** *Quick Reaction Force.* Fuerza de reacción rápida.
- RPA.** *Remotely Piloted Aircraft.*
- RPAS.** *Remotely Piloted Aircraft System.* Sistema de aeronave pilotada a distancia.
- SAR.** *Syntethic Aperture Radar.* Radar de apertura sintética.
- SBS.** *Soldier Borne Sensor.* El sensor del soldado
- TI.** *Thermal Imagery.* Imágenes térmicas.
- UAS.** *Unmanned Aerial System.* Sistema aéreo no tripulado.
- UAV.** *Unmanned Aerial Vehicle.* Vehículo aéreo no tripulado.
- UCAS.** *Unmanned Combat Aerial System.* Sistema aéreo de combate no tripulado.
- USA / EEUU.** *United States of America.* Estados Unidos

**VCI.** Vehículo de combate de infantería.

**VTOL.** *Vertical Take-Off and Landing.* Despegue y aterrizaje verticales.

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

# **MEMORIA**

## **1. Introducción**

Los cambios producidos por el Nuevo Orden Mundial han traído consigo una ampliación en el espectro del conflicto que han llevado a nuestras Fuerzas Armadas a desenvolverse en novedosos escenarios a los que han tenido que adaptarse y comprender las incipientes necesidades que conllevan. El Ejército de Tierra es consciente de esta situación, por lo que a través del Proyecto Fuerza 35 (Ver Anexo A, “Proyecto Fuerza 35”) pretende modernizar tanto su estructura, como su material para satisfacer las necesidades que se prevén para el futuro. Como podemos observar en el Anexo B, “Combate Híbrido” la aplicación de los micro-UAV,s se presenta, a día de hoy, como una de las mejores herramientas para responder a las necesidades que exigen los conflictos en la actualidad. [1], [2]

### **1.1. Definición**

Un vehículo aéreo no tripulado, conocido por sus siglas en inglés UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), es una aeronave capaz de volar sin piloto a bordo.

Existen diferentes formas de referirse a estos sistemas y que se pueden usar indistintamente atendiendo a sus pequeñas diferencias. A continuación de describen estas diferentes denominaciones, las cuales se emplearán a lo largo del trabajo.

Como ya hemos definido anteriormente, un UAV es la definición que se le asigna a cualquier dispositivo que es capaz de volar sin tripulación. Un UAS (*Unmanned Aerial System*), es el conjunto del sistema en sí, más allá del dispositivo de vuelo, es decir, al utilizar las siglas UAS nos estamos refiriendo al sistema al completo, incluyendo la estación de control y la plataforma de vuelo. Se utiliza la palabra Drone como un sinónimo parcial de UAS. Un dron es un sistema aéreo no tripulado que se usa para una función concreta. La definición de UAS se convierte en Drone cuando le añadimos una cámara y la función de vigilar. RPA (*Remotely Piloted Aircraft*) define un vehículo aéreo operado de forma remota. RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) vuelve a referirse al sistema aéreo operado de forma remota, incluyendo el sistema de control. También existen denominaciones para designar la clase a la que pertenece un UAV; MAV (Micro Air Vehicle) se refiere a un micro-UAV.

Todos los RPAS son UAV, ya que son vehículos aéreos no tripulados, pero no todos los UAV son RPAS, ya que para ello deben estar controlados por un operador. [3]

Una vez realizada esta aclaración sobre las diferentes terminologías que se emplean en este campo es importante finalizar esta definición de UAV hablando de los componentes de este sistema. De manera general, los sistemas UAV se componen de diferentes elementos que se describen en la Tabla 1. Componentes generales de sistema UAV. Elaboración propia a partir de [10]:

Elemento	Descripción
Vehículo aéreo	La plataforma debe reunir unas características que le permitan explotar las capacidades de los sensores, armamento o carga de pago. El cuerpo del vehículo aéreo integra los motores o hélices.
Carga de pago	Elemento primario facilitador de la misión, se compone de sensores, armamento para las misiones asignadas y todo tipo de cargas útiles. Ya que la misión principal de los UAS ha sido hasta ahora las de tipo ISTAR, la mayor parte de los sensores se inscriben en alguna de estas categorías: <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> EO (<i>Electro Optical</i>) visible, y telémetro láser</li> <li><input type="checkbox"/> Radar SAR (<i>Synthetic Aperture Radar</i>), MTI (<i>Moving Target Indication</i>), MPR (<i>Medium Power Radar</i>)</li> <li><input type="checkbox"/> Guerra electrónica: principalmente ELINT (<i>Electronic Intelligence</i>) y COMINT (<i>Communications Intelligence</i>)</li> <li><input type="checkbox"/> Designadores de blancos</li> </ul>
Comunicaciones	Data links para control (LOS y BLOS) e intercambio de datos de misión
Estación de control	Compuesta de una estación base terrena (GCS) desde donde es operado y controlado por los operadores a través de un mando de control y un sistema de monitorización de imágenes
Equipos de apoyo	Lanzamiento y recuperación, kit de despliegue, etc.
Interfaz C2	Con los centros de operaciones

*Tabla 1. Componentes generales de sistema UAV. Elaboración propia a partir de [10]*

## 1.2. Objeto y alcance del trabajo

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado, tal como indica su título, es el de realizar un análisis y estudio de las posibilidades que los micro-UAV,s son capaces de aportar a una unidad tipo pelotón mecanizado en combate híbrido.

Con el fin de lograr este objetivo, se han planteado como subobjetivos los siguientes:

- Realizar un estado del arte sobre la tecnología actual de micro-UAV,s.
- Realizar una comparativa sobre las cualidades de estos micro-UAV,s.
- Realizar una propuesta sobre la posible mejor elección de un micro-UAV para una unidad tipo pelotón mecanizado en combate híbrido del Ejército de Tierra.

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

### **1.3. Motivación**

El empleo de la categoría “micro” frente a otro tipo de UAV,s supone ir un paso más allá en el campo de batalla. Capacitar a una unidad de entidad pelotón con este material les proporciona una gran ventaja en la función inteligencia, facilitando al jefe de unidad el comprender su cambiante entorno, informar de la situación a sus superiores y conseguir de esta manera el fin último, cumplir la misión.

A continuación, se enumerará una lista de ventajas que presenta el empleo de los micro-UAV,s frente a otras categorías en los diferentes ámbitos. [3], [4]

Como ventajas generales podemos señalar:

- Permite a las unidades un menor grado de exposición al enemigo, pues no se necesita instalar una plataforma de lanzamiento ni de recuperación, procedimientos que dejan al personal vulnerable.
- La firma radar de un micro-UAV va a ser siempre menor a la de otros UAV,s de mayor tamaño, haciéndolo más difícil de detectar y por tanto permitiendo realizar las misiones con mayor seguridad.
- Los sistemas de control de los MAV,s (*Micro Air Vehicle*) están generalmente diseñados para ser operados por personal con poca instrucción. A mayor tamaño de la aeronave, mayor grado de especialización es requerido por parte de los operadores.

Como ventajas de empleo en un pelotón mecanizado destacan:

- Su pequeño tamaño, lo que le permite ser transportado como equipo individual. Además, si ofrece la posibilidad de ser integrado en vehículo, como es el caso del pelotón mecanizado cuya embarcación es el Pizarro, este no necesita de modificaciones en la estructura de su barcaza.
- El tiempo de lanzamiento es notablemente inferior. Esto permite que el sistema sea desplegado en cuestión de minutos o segundos en el momento que las necesidades de la misión lo requieran. Un pelotón mecanizado puede aprovechar dicha ventaja y tener operativo el RPAS poco después de que el pelotón desembarque del vehículo y esté en disposición de realizar misión.

Como ventajas que presenta el uso de micro-UAV,s en combate híbrido destacan:

Satisfacer las necesidades de inteligencia que requiere el combate híbrido. La categoría micro es la categoría que permite dotar de un sistema que es capaz de mejorar las funciones de inteligencia y de mando y control de las unidades a la unidad de la menor entidad posible, el pelotón.

- Capacidad de proporcionar información lo más continua posible y, en el caso de las imágenes, que sea continua desde diferentes puntos de vista.

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

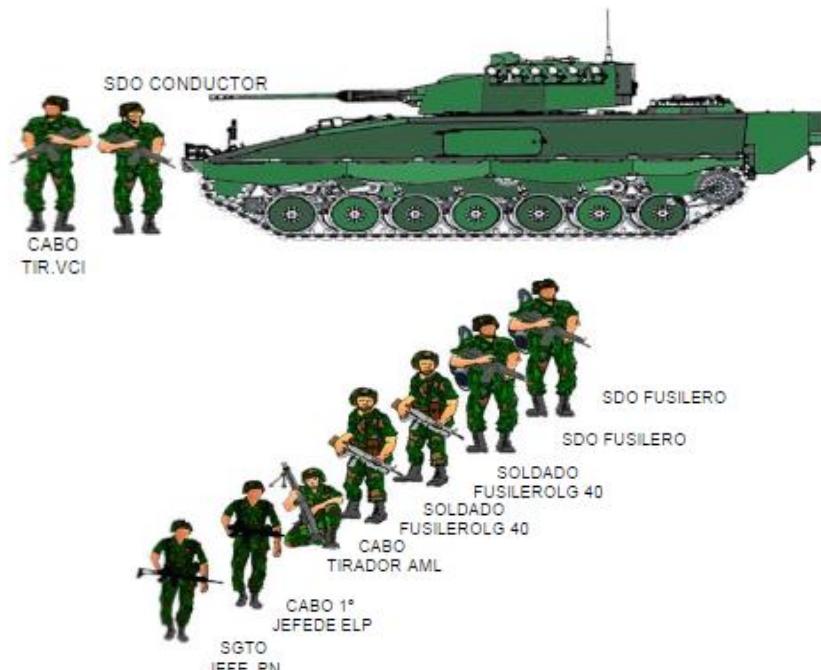
- Capacidad de satisfacer las necesidades de sensores que puedan moverse dentro y fuera de edificios y que tengan la capacidad de gestionar su movimiento evitando colisiones con paredes u objetos.

#### **1.4. Posibilidades de aplicación**

A continuación, se van a exponer las diversas posibilidades de uso que ofrecen los micro-UAV,s, poniéndolos en relación con una unidad tipo pelotón de infantería mecanizada y teniendo en cuenta los diferentes tipos de operaciones que se realizan en un ambiente de combate híbrido. En primer lugar, comenzaremos definiendo la orgánica del pelotón de infantería mecanizada.

El pelotón mecanizado se compone de tres elementos: Mando, tripulación y elemento de combate a pie. Todos ellos embarcados en un vehículo de combate de infantería (VCI) Pizarro.

La siguiente imagen muestra la orgánica de un pelotón de infantería mecanizada



*Ilustración 1. Orgánica del pelotón de infantería mecanizada. Fuente: [51]*

De los 9 componentes del pelotón, ni el conductor ni el tirador abandonarán en ningún momento el vehículo. Por ello, sería ineficaz dotar a alguno de ellos con el micro-UAV. El sargento jefe del pelotón, dependiendo de la situación y la misión es posible que también permanezca en el vehículo. Esto, sumado a las tareas que le corresponden como jefe de pelotón, obligándole a estar enlazado con su jefe inmediato y coordinación de su gente, hace que tampoco sea el elemento óptimo para dotar del RPAS.

El elemento de combate a pie se compone del cabo 1º jefe del elemento de combate a pie, un cabo tirador de ametralladora ligera (AML) y 4 soldados fusileros. El cabo 1º jefe del elemento de combate a pie sería el elemento óptimo para dotar del micro-UAV dado que es el elemento de enlace entre el elemento de combate a pie y su sargento. Además, dado su empleo de cabo 1º, tiene mayor experiencia y capacidad de realizar labores simultáneas (operar el micro-UAV y

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

coordinar a sus escuadras). Sin embargo, gracias a la escasez de dificultad a la hora de operar un sistema micro-UAV, cabría la posibilidad de designar la tarea de operar el sistema a un soldado fusilero, excluyendo al cabo tirador de AML. Esto permitiría al cabo 1º centrarse en la labor de coordinación de las escuadras, sin embargo, se estaría perdiendo una boca de origen de fuegos.

A nivel político y estratégico existe una falta de definición y la carencia de una doctrina generalmente aceptada. En cuanto a la variedad de misiones a nivel operacional en las que se puede ver involucrado un pelotón de infantería mecanizada en combate híbrido, suelen abarcar una amplia gama de tareas. Dentro de las que están razonablemente adaptadas a las capacidades militares destacan: la lucha contra la insurgencia, el asesoramiento y adiestramiento de las Fuerzas de Seguridad locales, imponer el mantenimiento de un alto el fuego pactado entre facciones hostiles, la contribución al desarrollo de los aspectos militares de la Reforma del Sector de la Seguridad, etc. [1]

Las actividades que generalmente se llevan a cabo para conseguir estos objetivos y que podrían sacar provecho de las capacidades que aportan los micro-UAV son: [5]–[7]

- Defensa de una COP (*Command Operation Post*): Los micro-UAV son idóneos para integrarse en el plan de defensa de una COP para aumentar las capacidades de vigilancia y seguridad de la misma. Facilitando la detección de amenazas y pudiendo activar el plan de seguridad con anterioridad, haciendo más fácil la labor de los morteros y la QRF (*Quick Reaction Force*).
- Realización de patrullas y *Checkpoints*: Ya sean patrullas de información, donde diferenciamos las patrullas de reconocimiento, en las que un convoy realiza un itinerario en movimiento, o las patrullas de observación, en las que se ocupan puestos fijos y también las patrullas de combate. El micro-UAV puede desplegar en cualquiera de estas situaciones anteriores (sea con el pelotón embarcado o a pie), proporcionando una mayor información del entorno a las unidades.
- Acciones en ambientes urbanos: La mayoría de las operaciones se realizan en ambientes urbanos donde la misión es recabar cualquier tipo de información, patrones de vida, comportamientos extraños, etc. Los micro-UAV, gracias a su versatilidad pueden operar en estos ambientes ofreciendo un punto de vista global de la población. Además, en acciones ofensivas permite obtener imágenes en vivo de las posiciones del enemigo, adentrándose incluso en edificaciones donde una persona se vería expuesta de manera total al enemigo.
- Acciones C-IED (*counter-Improvised Explosive Device*): Desplegar un micro-UAV que sea capaz de levantar indicios de IED e incluso confirmar la presencia de uno gracias a las diferentes cámaras de su carga útil. Esto posibilitará la mejora de las TTP,s (técnicas tácticas y procedimientos) que la unidad debe realizar en estos casos, ya sea el procedimiento de caja, 5/25, reconocimiento en “V” o mixto. Siempre ofreciendo a las unidades un mayor grado de seguridad al no exponerse al peligro.

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

### **1.5. Metodología**

Para la correcta realización del análisis, estudio y posibilidades que ofrecen los micro-UAV,s en una unidad de entidad pelotón mecanizado en combate híbrido, se va a realizar un Estado del Arte de la tecnología UAV vigente.

El estado del arte es una modalidad de investigación documental que permite el estudio del conocimiento acumulado. En definitiva, se trata de una metodología que permite la construcción de un análisis de tipo documental a través de diferentes fuentes, con el propósito de reunir la información más actualizada sobre un ámbito en concreto. En muchas ocasiones esta metodología también sirve para establecer un punto de partida para la posterior toma de decisiones.

Para la realización del mismo, se realizará una búsqueda y análisis de información interna en las FAS, a través de documentos proporcionados por personal interno en las unidades de la Fuerza, como de personal que ocupa puestos más específicos en relación con la prueba y adquisición de estos materiales.

Además, se establecerá contacto con distintas empresas fabricantes de los modelos de los que se hayan ido obteniendo información para obtener sus características con mayor detalle. [8]

Asimismo, se realizarán consultas por diferentes vías (llamadas telefónicas, encuestas, videoconferencias) a dicho personal interno en las FAS que tienen experiencia en unidades mecanizadas y también a personal con experiencia en operaciones utilizando sistemas UAV.

Además de este estado del arte, una parte adicional del trabajo consiste en la propuesta de adquisición de un micro-UAV para las unidades tipo pelotón en combate híbrido. Para realizar esta parte del trabajo de un modo objetivo y teniendo en cuenta que un sistema de este tipo debe satisfacer diferentes criterios que entran en conflicto entre sí, se ha decidido aplicar un método multicriterio de ayuda a la toma de decisiones. En particular que ha optado por la aplicación de la metodología AHP (Analytic Hierarchy Process). Para la aplicación de esta metodología se han empleado diferentes herramientas con el fin de tratar de obtener un resultado lo más objetivo posible y que atienda no solo los criterios de los expertos en los sistemas micro-UAV sino también de los usuarios finales de este sistema en el tipo de unidad que se considera en este trabajo. Con el fin descrito se han empleado, entre otras, los siguientes procesos y herramientas:

- Elaboración de un panel de expertos que valoren tanto las características que deben cumplir los sistemas micro-UAV como la importancia de cada uno de ellos respecto a los demás.
- Llamadas telefónicas, e-mails y videoconferencias con el fin de obtener el listado de características de interés, codificando este listado en diferentes criterios y subcriterios.
- Cuestionarios que mediante el proceso de comparación por pares permiten establecer el orden de prioridad entre los diferentes criterios y subcriterios.
- Software específico, en particular el software *SuperDecisions* que permite realizar los cálculos matemáticos relativos al método multicriterio AHP.
- Análisis y revisión de resultados, analizando la consistencia del método aplicado.

### **1.6. Estructura de la memoria**

A continuación, se expone una breve descripción de la estructura que adopta en adelante la memoria:

- Estado del arte: Método elegido para la recopilación de información, análisis y estudio de la tecnología micro-UAV actual. En este apartado se analizarán los diferentes modelos de micro-UAV,s seleccionados después de introducir la clasificación
- Propuesta de adquisición: En este apartado se pretende, a través de la metodología AHP, llegar a un resultado que nos indique cual sería el modelo de micro-UAV más adecuado para una unidad tipo pelotón mecanizado en combate híbrido. Los diversos subapartados explican más detalladamente las diferentes etapas desarrolladas y las distintas herramientas utilizadas para llevar a cabo esta metodología.
- Análisis de los resultados: En este apartado se analizan los resultados obtenidos de la metodología AHP y se realizar la comparación de las alternativas a partir de estos.
- Conclusiones: En este apartado se expondrá la conclusión una vez obtenidos los resultados y el sistema elegido a través de la metodología AHP.
- Bibliografía.

## **2. Estado del arte: tecnología actual de micro-UAV, s**

Debido a la novedad de esta tecnología, son pocos los modelos de micro-UAV,s que se están testando hoy en día en nuestras Fuerzas Armadas. Para realizar un análisis completo, este Estado del Arte se ampliará con el Anexo C, donde se añade información sobre UAV,s que destacan en la actualidad pero que quedan fuera de la categoría “micro”.

Antes de analizar los diferentes sistemas se procederá a dar una clasificación de los diferentes modelos de UAV,s que existen en la actualidad.

### **2.1. Clasificación**

A diferencia de lo que sucede con otros tipos de sistemas (misiles, buques, vehículos o aeronaves tripuladas), para los UAS no existe una clasificación universalmente aceptada sino múltiples taxonomías que se acostumbra a entremezclar. [9], [10]

Esto se debe a la gran diversidad de UAS existente, a las múltiples misiones que estos pueden desempeñar y, sobre todo, al hecho de que un UAS no es únicamente una aeronave o dicho de otra manera, un UAV, en cuyo caso elaborar una métrica estándar sería mucho más fácil, sino que aúna en un mismo sistema una o varias aeronaves, un sistema de comunicaciones, un sistema de lanzamiento y recuperación, una o varias cargas de pago más o menos dispares entre sí, etc.

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

La necesidad de elaborar una taxonomía estándar para los UAS no responde a un mero capricho o a la búsqueda de un método que nos permita agrupar de forma simplificada los distintos tipos de sistemas, sino que está estrechamente ligada al desarrollo de una normativa específica para que los UAS puedan desempeñar sus misiones de forma fiable y segura, y un espacio aéreo compartido con las aeronaves tripuladas.

Algunos de los métodos típicos de clasificación, más o menos extendidos son:

**- Por las características físicas del UAV:**

Dentro de este tipo de ordenación, pueden encontrarse a su vez clasificaciones por masa, tamaño (mini, micro, etc.), método de generación de sustentación (ala fija, ala rotatoria, VTOL), autonomía en vuelo, velocidad, techo de vuelo, etc.

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

**- Por la misión específica del UAS:**

El corazón de un sistema aéreo no tripulado son las cargas de pago embarcadas, puesto que determinan las misiones desempeñadas por cada sistema en particular por ello en ocasiones estos sistemas se clasifican en funciones de las mismas. Tal es el caso, por ejemplo, de las categorías UCAS (UAS de combate) o UAS ISTAR.

**- Por el nivel de conducción de las operaciones militares:**

Otro tipo de clasificación, propio del ámbito militar, es aquel que clasifica los UAS en función del nivel al cual prestan servicio. De esta manera, puede encontrarse UAS de tipo Táctico, Operacional o Estratégico. Asociada a ésta, existe otra clasificación en función del tamaño de la unidad a la que presta servicio un determinado UAS apareciendo así categorías como “UAS de nivel Compañía” o “UAS de nivel Brigada”.

**- Otros tipos de clasificación:**

Además de los ya reseñados, pueden encontrarse categorías menos habituales, o al menos no tan excesivamente empleadas por sí solas sino como complementos a otros grupos de clasificación, como pueden ser las determinadas por el tipo de sistemas de comunicaciones (LOS, comunicaciones en línea de visión directa, o BLOS, comunicaciones vía satélite)

En cualquier caso, debe tenerse en cuenta que no existen barreras perfectamente delimitadas. Por ello cada ámbito hay que buscar una clasificación funcional adecuada. No puede hablarse de taxonomías más o menos ajustadas al uso que de ellas se quiera realizar.

La siguiente tabla, muestra el criterio adoptado por la OTAN en septiembre de 2011, que establece la siguiente clasificación:

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

Clase	Categoría	Empleo	Altitud Operacional	Radio de misión	Ejemplo
Clase I < 150 Kg	Micro < 2 Kg	Táctico (Sección, Pelotón)	Hasta 200 pies	5 Km	WASP, Black Hornet, Huginn-X1, Passer UAS
	Mini 2 - 20 Kg	Táctico (Compañía)	Hasta 1.000 pies	25 Km	Raven, Mantis
	Small > 20 kg	Táctico (Batallón)	Hasta 1.200 pies	50 Km	Orbiter 3, Fulmar X
Clase II 150 Kg - 600 Kg	Táctico	Táctico (Brigada)	Hasta 10.000 pies	200 Km	Pelicano
Clase III > 600 Kg	MALE (Medium Altitude Long Endurance)	Operacional	Hasta 45.000 pies	Sin límite	Reaper / Avenger
	HALE (High Altitude Long Endurance)	Estratégico	Hasta 65.000 pies	Sin límite	Global Hawk
	Combate	Estratégico	Hasta 65.000 pies	Sin límite	Predator

*Tabla 2. Clasificación UAV OTAN. Elaboración propia a partir de [9] y [10]*

## 2.2. Análisis

Atendiendo a la clasificación anterior, a continuación, se realiza un análisis sobre los UAV,s que se encuentran dentro de la Clase I, más específicamente, en la categoría micro, cuyo peso se encuentra por debajo de los 2 kg y su empleo es de tipo táctico y para unidades de entidad sección y pelotón.

Todos estos novedosos modelos se encuentran estrechamente relacionados con el Ejército, ya sea porque se encuentra en fase de prueba en alguno de los Ejércitos o por haber sido sistemas que han participado a lo largo del Proyecto Rapaz (ver Anexo D).

### 2.2.1. MicroB

El sistema MicroB [11]–[13] es un Micro-RPAS de aproximadamente 1 Kg de peso, maduro y con experiencia en operaciones reales. El MicroB está diseñado para una operativa totalmente autónoma, fácil manejo y mantenimiento, equipado con una única carga de pago estabilizada que puede lanzarse de modo autónomo en unos pocos segundos, incluso en ambientes urbanos poblados, y entregar vídeo de calidad con información GIS y seguimiento de objetivos. Estos sistemas RPAS disponen de capacidades de inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR), soportan escenarios de campo abierto y urbano.

Se trata de un UAS de ala fija y el lanzamiento se realiza mediante catapulta fijada al suelo. También permite el lanzamiento manual, lo que hace que la puesta en vuelo del avión sea de pocos segundos e incluso lanzarlo en entornos poblados. Una única persona es necesaria para operar el sistema, desde el lanzamiento a la recuperación, esta se realza a través de un paracaídas

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

desplegado desde la GCS o a través del sistema de emergencia (ECU). El RPAS puede preprogramarse para volver a una localización específica y desplegar su paracaídas, calculando de modo autónomo la velocidad del viento y la dirección para un aterrizaje seguro. Mientras el paracaídas esté abierto, el MicroB se invierte para proteger la carga de pago y otras partes principales de la aviónica durante el impacto del aterrizaje.



*Ilustración 2. Catapulta de lanzamiento. Fuente [11]*

El sistema MicroB puede ser transportado en dos únicas maletas. Una maleta contiene la Estación Base que es el centro de control remoto terrestre (GCS) junto con una base de comunicaciones y la catapulta. La segunda maleta incluye el sistema UAV MicroB preparado y listo para volar. Cada maletín tiene un peso aproximado de 7 kg.



*Ilustración 3. Estación base terrena (G.C.S) Fuente [11]*

Para realizar el ensamblado del avión, anterior a la misión, serán necesarios solo 5 minutos. Después de realizada una misión, el sistema MicroB puede volver a estar operativo en un plazo inferior a 5 minutos al incluirle nuevas baterías totalmente cargadas. Un equipo formado por dos personas es suficiente para realizar las preparaciones pre-vuelo, el lanzamiento y la ejecución de las operaciones de la misión.

Entre los beneficios que presenta se puede destacar:

- Alta rentabilidad: plataforma de bajo coste.
- Eficacia en las misiones: Gracias al estabilizador de vídeo y la alta resolución.
- Eficacia sobre el terreno: Puede ser lanzado y realizar vuelos en áreas urbanas restringidas.
- Rápido despliegue sobre el terreno: Puede ser ensamblado y estar listo para operar en menos de 5 minutos.
- Alta fiabilidad: Al encontrarse toda la aviónica en una sola placa con redundancia en los enlaces.

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

- Operación bajo todo tipo de circunstancias meteorológicas: Siendo operacional incluso bajo lluvia.
- Bajo ruido y visibilidad: Difícilmente detectable a 150 metros.
- Diseño modular: Permite un cambio rápido de componentes sin necesidad de herramientas.
- De fácil transporte: Mediante mochila o maletas.
- Paracaídas integrado: Tanto para la recuperación al finalizar la misión, como para cualquier caso de emergencia.

Posee cámara diurna con zoom y movimiento sobre dos ejes, cámara IR con movimiento sobre dos ejes, estabilizador digital con multi-sensores y cámara diurna de alta definición.



*Ilustración 4. Payload: Cámara visión diurna o nocturna. Fuente [11]*

Envergadura:	0,99 m
Peso:	Aproximadamente 1 kg
Velocidad:	45 – 85 km / h
Autonomía:	1 h
Tiempo estimado lanzamiento:	< 5 min
Rango de operación:	10 km
Tamaño maletín transporte:	70 x 45 x 22 cm
Peso maletín transporte:	7 kg

*Tabla 3. Características sistema MicroB. Elaboración propia a partir de [11], [12]*

### **2.2.2. Wasp AE RQ-12**

El sistema de pequeñas aeronaves no tripuladas Wasp AE de AeroVironment (empresa ya conocida por el Ejército español por ser el fabricante del UAV Raven RQ-11B) es una de las plataformas no tripuladas más avanzadas del mercado para operaciones marítimas y terrestres. Es la variante para todo tipo de ambientes del UAS Wasp III probado en combate. [14]–[18]

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido



*Ilustración 5. Lanzamiento del WASP. Fuente [14]*

Se trata de un sistema que ya ha sido probado por la Armada española que, en el marco del Programa Rapaz llevado a cabo a través de la DGAM, proporcionó a las unidades de la fuerza de Infantería de Marina la posibilidad de conseguir la certificación aeronáutica otorgada por el Instituto Nacional de Tecnología Aeroespacial (INTA) para operar este sistema. [17]

El UAS está diseñado para realizar satisfactoriamente misiones de inteligencia, vigilancia, reconocimiento y adquisición de objetivos (ISTAR). Su diseño robusto y fácilmente transportable hace que esté cualificado para su empleo tanto en ámbito terrestre como marítimo. Ofrece una autonomía un 20% mayor que su predecesor, ofreciendo unas 50 horas de vuelo. Su sistema modular permite al WASP AE utilizar repuestos comunes a los otros UAV,s de la empresa AeroVironment.

El WASP AE está equipado con una aviónica moderna y una navegación GPS precisa que le permite operar en modo manual y preprogramado. El UAS tiene capacidad de lanzamiento remoto y también puede ser lanzado a mano en espacios limitados, posibilitando su empleo en ambientes urbanos. Su método de recuperación es mediante planeamiento lento, aunque generalmente se realiza sobre agua, donde puede aterrizar sin problemas.



*Ilustración 6. Recuperación mediante aterrizaje en agua del WASP. Fuente [14]*

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

El motor del WASP AE es eléctrico y está alimentado por baterías recargables de ion litio. Dada su estructura de ala fija y su sistema de propulsión de baja acústica, hace que el sistema sea muy difícilmente detectable por parte de fuerzas hostiles.

El vehículo aéreo no tripulado está controlado por un sistema de control en tierra probado en combate (GCS). El GCS posee una interfaz común con otros vehículos aéreos no tripulados tácticos, lo que reduce al mínimo los requisitos de entrenamiento y ahorra tiempo y coste en la instrucción del personal que lo opera.

El piloto automático personalizado del UAV integra un enlace de datos digitales (DDL), que es interoperable con el GCS de los otros UAV,s tácticos ISR de AeroVironment. El Wasp AE ofrece una comunicación segura. Puede transmitir datos de forma encriptada, voz, video, texto y datos desde un rango de línea de visión (LOS) de hasta 5 km. El DDL a bordo del vehículo asegura la transmisión de datos más allá de 5km de alcance.

El WASP AE tiene una velocidad de crucero de 43 km/h y una velocidad máxima de 83 km/h. Puede volar a una altitud máxima de 300 pies sobre el nivel del suelo (AGL).

Un ejemplo de la fiabilidad de este sistema es el voto de confianza depositado por el departamento de defensa australiano, que seleccionó este sistema de pequeñas aeronaves no tripuladas para su uso en las Fuerzas de Defensa Australianas. El contrato firmado tiene un valor de 101 millones de dólares australianos (74,6 millones de dólares americanos), siendo el mayor pedido de WASP hasta la fecha. [18]



*Ilustración 7. Militares del Ejército Australiano operando el Wasp.  
Fuente [16]*

### 2.2.3. Huginn-X1

El Sky-Watch Huginn X1 ([19]–[22]) es un micro-UAV cuadricóptero diseñado y manufacturado en Dinamarca. Su diseño le permite realizar vuelos de reconocimiento en el exterior como en el interior de edificios, permitiéndole llegar a las zonas más peligrosas. Su pequeño tamaño hace que sea posible su transporte acoplado en un vehículo o incluso como equipaje de mano portado por un individuo. Es capaz de despegar y aterrizar verticalmente (VTOL) sin necesidad de ningún mecanismo de lanzamiento o plataforma de aterrizaje. Combinado con un tiempo de despliegue de unos 30 segundos, hace al Huginn-X1 una gran herramienta para proporcionar a la pequeña unidad que lo opera, de una visión general táctica en cuestión de pocos minutos.

El Huginn-X1 fue incluido dentro del programa Rapaz de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) del Ministerio de Defensa, el Mando de Operaciones Especiales (MOE) del Ejército de Tierra (ET) operó con él en su fase de prueba. Este MAV también fue operado en 2016 por la Armada española. Infantes del Tercio de Armada y de la Fuerza de Guerra Naval Especial se formaron en técnicas de manejo del Huginn-X1 para equipar a las unidades de la Fuerza de Infantería de Marina. [21] [22]

La aviónica avanzada del Huginn-X1 ha sido diseñada teniendo en cuenta la facilidad de uso, permitiendo a su operador centrarse en su misión, sin necesidad de un largo proceso de entrenamiento o conocimientos técnicos previos.



*Ilustración 8. Huginn-X1. Fuente [20]*

El Sky-Watch Huginn-X1 se basa en un avanzado sistema “plug-n-play”<sup>1</sup> que utiliza GPS, navegación waypoint, láser IR y sonar, permitiéndole reconocer el entorno que lo rodea y evitando cualquier colisión. Incluye un sistema de retención de altura, una cámara de 12 megapíxeles con giro estabilizado de inclinación y balanceo para realizar fotografías de máxima precisión. Es capaz de proporcionar imágenes detalladas y video de alta definición. El Huginn-X1 utiliza un sistema multiplataforma que permite al usuario cambiar de fuselaje y actualizar el sistema sin necesidad de reajustar el piloto automático. Sus cuatro motores eléctricos sin escobillas le proporcionan una aptitud de vuelo muy favorable.

Además, el Huginn-X1 fue desarrollado para la creación de mapas muy detallados de áreas de campos de minas.

---

<sup>1</sup> Es la tecnología o cualquier avance que permite a un dispositivo informático ser conectado a una computadora sin tener que configurar, mediante *jumpers* o software específico proporcionado por el fabricante, ni proporcionar parámetros a sus controladores.

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

El Huginn-X1 incluye una mochila de transporte basada en la CamelBak BFM. La mochila contiene el kit estándar del sistema y cuenta con espacio extra para disposición del usuario.



*Ilustración 9. Mochila táctica Huginn-X1. Fuente [19]*

El sistema cuenta además con un monitor externo con una resolución de 1024\*600 pixels [19]



*Ilustración 10. Monitor de video externo.  
Fuente [19]*

Envergadura:	760 * 560 * 260 mm
Peso:	0,94 kg
Velocidad máxima:	21,6 km / h
Autonomía:	25 min
Tiempo estimado lanzamiento:	4-6 min
Alcance máximo:	2 km
Altitud máxima:	10.000 pies
Peso máximo al despegue:	1,3kg + carga de pago

*Tabla 4. Características sistema Huginn-X1. Elaboración propia a partir de [19]*

## 2.2.4. PD-100 Black Hornet

El Sistema de Reconocimiento Personal (PRS) PD-100 Black Hornet 3 ([23]–[25]) es una aeronave diseñada para la orgánica de un pelotón con capacidades de reconocimiento, vigilancia y adquisición de objetivos, desarrollada especialmente para el soldado a pie y equipos de pequeña entidad. El sistema puede ser fácilmente transportado y operado por una sola persona y es igualmente efectivo tanto si el operador está estático como en movimiento.

El Black Hornet permite al usuario la capacidad de “*eyes-on-target*”, proporcionando una mayor conciencia de la situación y un menor riesgo operacional. El extremadamente pequeño tamaño del Black Hornet permite operar en áreas reducidas, incluso en interiores, siendo una utilidad significativa para el uso encubierto. El Black Hornet ha sido utilizado en operaciones de combate por las fuerzas de la OTAN desde su primera introducción en 2012.

La empresa fabricante FLIR Unmanned Aerial System AS (FLIR UAS) es una subsidiaria noruega de FLIR Systems Inc, USA. La empresa posee importantes capacidades de I+D y mercantiles y produce todos los sistemas en sus propias instalaciones de producción en Noruega.

FLIR Systems ha ganado un contrato de 20,6 millones de dólares para suministrar al Ejército de EEUU sus Black Hornet 3 como parte del programa Sensor del Soldado del Ejército (SBS). [25]

El sistema completo se compone del vehículo aéreo no tripulado Black Hornet 3 y una estación de control terrestre (GCS) que incluye la estación base con dos compartimentos integrados, un controlador que se maneja a una sola mano y una pantalla de 7 pulgadas legible a la luz del sol. El sistema se puede configurar con cualquier número total de MAV,s Black Hornet 3. El peso total del sistema completo incluyendo dos Black Hornet 3 es inferior a 1,5 kg.

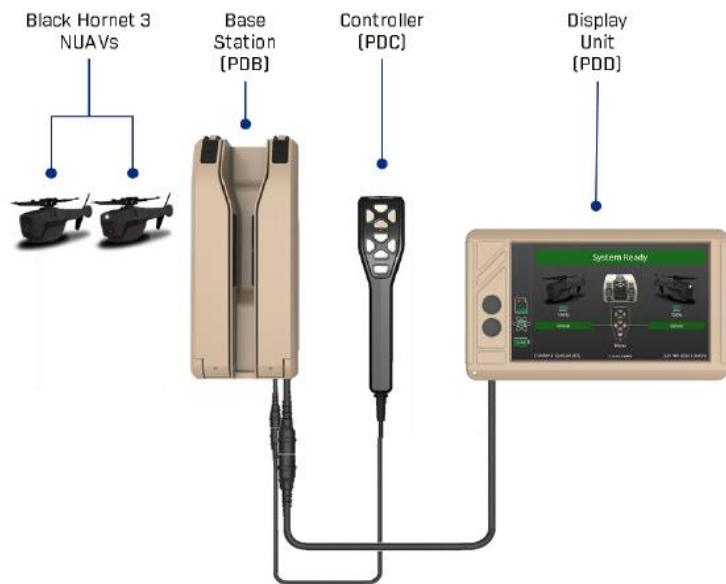


Ilustración 11. Sistema personal de reconocimiento del Black Hornet 3. Fuente [24]

El GCS tiene funciones integradas que permiten la planificación, la ejecución y el análisis posterior de la misión, así como la descarga de datos y la capacidad de actualización del software. Los MAV,s Black Hornet se activan mientras están dentro de la estación base y luego se liberan a mano después de una corta secuencia de arranque. El Black Hornet se controla con simples

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

comandos de botón y proporciona al operador video estabilizado e instantáneas de las cámaras EO y TI. La navegación y guía avanzadas proporcionan modos de vuelo automáticos y manuales. Las misiones pueden ser planificadas de antemano o ejecutadas *ad-hoc* sin ninguna preparación.

La autonomía para las misiones es de 20-25 minutos, y el alcance de datos es de 2 km de línea de visión (LOS). El enlace de datos también proporciona una importante capacidad no relacionada con la línea de visión (es decir, a través de obstáculos). Debido a su tamaño, el Black Hornet tiene una firma visual y auditiva extremadamente bajas, lo que permite una operación encubierta y una mayor seguridad para sus operadores.

Tal y como se ha descrito el sistema, es el mínimo requerido para realizar misiones operativas. Sin embargo, puede configurarse con equipo auxiliar que incluye: una bolsa táctica, una antena externa, una fuente de alimentación, cables, un maletín para transporte y rotores reemplazables.

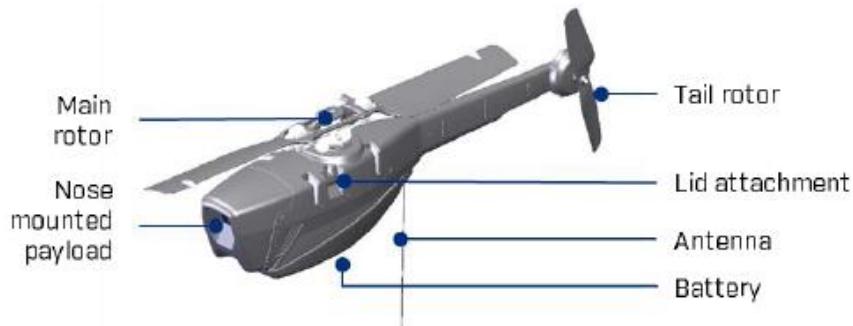
<b>Maletín de transporte</b> Proporciona una solución robusta para el transporte y almacenamiento. En él se incluye la antena externa.	
<b>Bolsillo táctico</b> Proporciona un acceso fácil y un uso eficaz para operar el Black Hornet. Puede ser montado en el chaleco de combate o usado con correa atado al cuello.	
<b>Antena externa</b> Mejora el rendimiento del enlace de datos y permite operaciones desde áreas ocultas como zonas interiores.	
<b>Fuente de alimentación AC (110/230 V)</b> Proporciona energía y recarga al sistema. Salidas en corriente alterna (AC)	
<b>Cable de batería externa (tipo 5590)</b> Permite que el sistema se alimente/cargue desde una batería estándar 5590	
<b>Fuente de alimentación DC</b> Permite que el sistema se alimente/cargue desde un enchufe estándar de 12 para el encendedor de cigarrillos. Para corriente continua (DC)	
<b>Rotores de repuesto</b> Rotores principales y de cola reemplazables por el usuario. Incluye contenedores de protección	

Tabla 5. Equipo auxiliar del Black Hornet 3. Elaboración propia a partir de [24]

El Black Hornet es un MAV de despegue y aterrizaje vertical (VTOL) alimentado eléctricamente con una configuración de helicóptero convencional, es decir, un rotor principal y un rotor de cola, que lo hacen menos distinguible en un entorno operativo que los pequeños

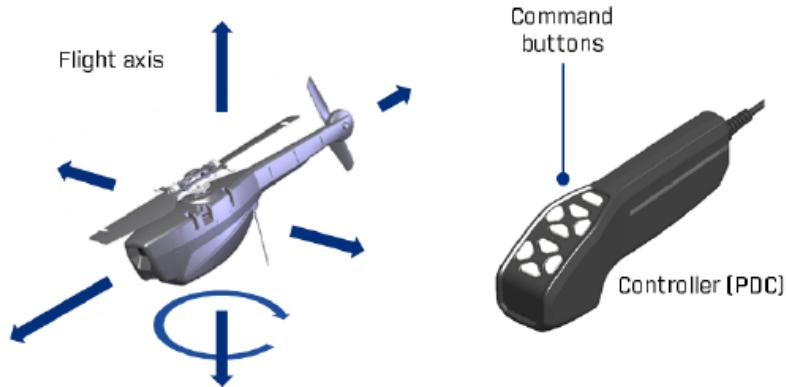
Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

aviones teledirigidos comunes de varios rotores. Está disponible tanto en versión diurna (Black Hornet 3) como en versión térmica diurna/nocturna (Black Hornet 3T).



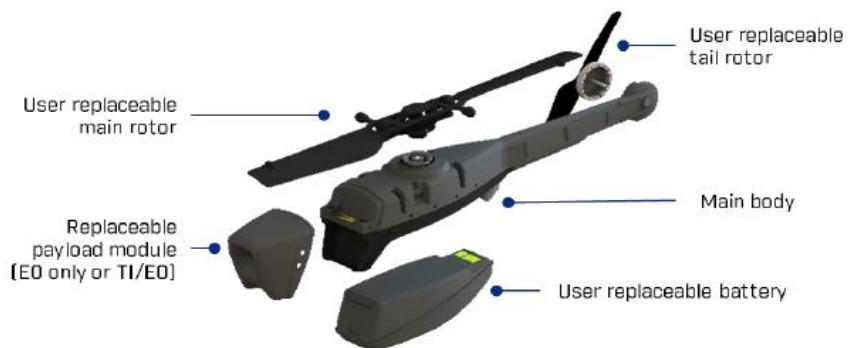
*Ilustración 12. Black Hornet 3. Fuente [24]*

El control del Black Hornet se realiza a través de un piloto automático avanzado que genera comandos a los rotores principal y de cola. La aeronave puede ser maniobrada hacia adelante/atrás, hacia el lado izquierdo/derecho, arriba/abajo y rotación izquierda/derecha por medio de simples comandos a través del controlador. También se dispone de modos automáticos.



*Ilustración 13. Controlador del Black Hornet 3. Fuente [24]*

El Black Hornet tiene un diseño modular que permite al usuario reemplazar las baterías y los rotores en el campo. La carga útil también es reemplazable, pero requiere un entrenamiento especial y un ambiente más limpio.



*Ilustración 14.Modularidad del Black Hornet 3. Fuente [24]*

Además, incorpora un sistema de simulación que ofrece un paquete de entrenamiento completo y se basa en la experiencia de la aviación militar y civil, así como en otras experiencias

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

militares. La empresa ofrece instructores altamente experimentados en el manejo del UAS en operaciones de combate. También ofrece la posibilidad del concepto *train-the-trainer*, ampliamente utilizado en nuestro ejército actualmente para la instrucción de un mayor volumen de personas. El entrenamiento de vuelo utiliza una combinación de CBT (*computer-based training*), simulación y prácticas de vuelo. La mayor parte de la instrucción se centra en maximizar las aptitudes operacionales necesarias para aprovechar plenamente el potencial del sistema. El periodo de instrucción se realiza en cuestión de días, pues el sistema es intuitivo, fácil de usar y no requiere de ningún equipo especial extra.

El simulador PRS de Black Hornet es un sistema autónomo que se utiliza en una computadora estándar con Windows, un software de simulación FLIR UAS y un controlador USB. El controlador es similar al utilizado en el sistema operacional, sin embargo, no contiene ni GPS ni datalink.



*Ilustración 15. Black Hornet PRS simulator. Fuente [24]*

Longitud:	168 mm
Altura:	22 mm
Ancho:	36 mm
Peso:	33 g base + carga útil/de pago
Velocidad:	Hacia delante: 21 km/h
Hacia detrás:	3,5 km/h
Lateral:	3,5 km/h
Vertical:	3,5 km/h
Rotación:	0-30 °/seg.
Autonomía:	Hasta 25 min
Tiempo estimado lanzamiento:	< 30 seg
Rango de operación:	Hasta 2 km
Altitud máxima:	8,000 pies

*Tabla 6. Características sistema Black Hornet. Elaboración propia a partir de [24]*

### 3. Propuesta de adquisición

Con el objetivo de evitar que este Trabajo de Fin de Grado sirva únicamente como un estudio y análisis sobre los micro-UAV,s y las posibilidades que pueden ofrecer en una unidad tipo pelotón mecanizado en combate híbrido, se ha decidido ampliar el contenido del mismo planteando cuál sería la mejor elección para una unidad tipo pelotón mecanizado en combate híbrido. Con la idea de realizar este estudio desde un punto de vista riguroso y no basarse únicamente en la experiencia del decisor se va a aplicar un método multicriterio de apoyo a la toma de decisiones basado en la metodología AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para llegar a conocer cuál sería el modelo de UAV (según esta metodología) más adecuado para utilizar en una unidad tipo pelotón mecanizado en combate híbrido. Esta metodología es ampliamente utilizada a día de hoy tanto en el ámbito científico como en el ámbito de la Defensa y Seguridad en procesos de adquisición de material.

En este proceso se van a tener en cuenta los modelos de micro-UAV anteriormente analizados y también los modelos de la clase mini que se incluyen en el “Anexo B”.

#### 3.1. Descripción de la metodología AHP

En este apartado se describe muy brevemente la metodología AHP que se ha aplicado para esta propuesta de adquisición, indicando los pasos que se han seguido en la aplicación del método multicriterio AHP.

La siguiente ilustración muestra un esquema del proceso de la metodología AHP. En el Anexo E se explica con mayor detalle esta metodología.

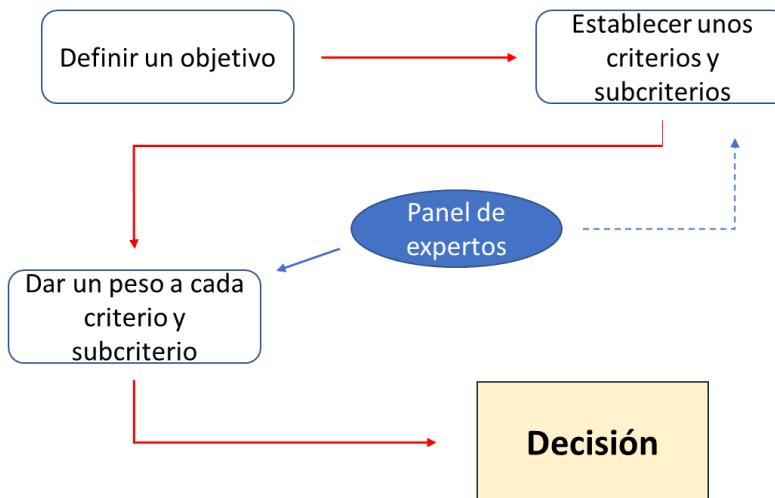


Ilustración 16. Metodología empleada. Fuente: Elaboración propia a partir de [52]

Para la correcta implementación de esta metodología es necesario establecer, en primer lugar, los criterios y subcriterios relevantes para la selección de la mejor alternativa entre diferentes UAV,s, así como la prioridad de los mismos mediante el método de comparación por pares. El primer paso ha consistido en el análisis de las características que se consideran relevantes para el uso de micro-UAV,s en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido. Posteriormente, se ha seleccionado un grupo de expertos que serán los encargados de la supervisión y validación de la recopilación de los criterios y subcriterios que son necesarios tener en cuenta para la

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAVs  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido**  
**TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

definición de estos sistemas. Además, podrán proporcionarnos más información para completar el estudio del estado del arte realizado.

Una vez que el grupo de expertos ha llegado a un consenso sobre los criterios y subcriterios que se consideran relevantes es necesario establecer un orden de prioridades en los mismos, este orden se consigue mediante la aplicación de la comparación por pares, realizada de nuevo con la colaboración del grupo de expertos. Finalmente, el método AHP permite comparar las diferentes alternativas proporcionando la mejor de ellas según el peso que el grupo de expertos ha establecido a los diferentes criterios a considerar.

### **3.2. Obtención de los criterios y subcriterios**

Para la implementación de la metodología AHP, inicialmente es necesario establecer una lista de criterios que engloben las características que ha de poseer nuestro UAV. Dentro de cada uno de estos criterios, existirá una serie de subcriterios que terminarán por completar la definición de aquellas características que se consideran importantes para nuestro UAV.

La lista inicial de los criterios y subcriterios se ha realizado por elaboración propia a través de la consulta de diferentes fuentes de información. Véase [10], [26] y [27]

Tras la elaboración de un primer borrador, éste ha sido distribuido al personal experto principalmente mediante correos electrónico en diferentes tandas, realizándose con alguno de ellos mediante videoconferencia, de manera que el *feedback* recibido permitiera completar el borrador. Este proceso ha sido repetido tantas veces hasta que cada individuo del grupo de expertos consideraba que la recopilación de criterios y subcriterios englobaba las características más importantes para nuestro sistema.

A continuación, se expone la lista definitiva de criterios y subcriterios que se obtuvo como consenso de todos los usuarios que realizaron la valoración de estos. Todos los subcriterios se agrupan en un total de 4 criterios generales denominados como criterio físico, operativo, formación y logístico. En cada uno de estos criterios se exponen los diferentes subcriterios, así como una breve descripción de cada uno de ellos.

#### **Físicos**

SUBCRITERIO FÍSICO	DESCRIPCIÓN
Dimensiones	Dimensiones del MAV
Peso	Peso del MAV
Resistencia a la climatología adversa	Capacidad de operar en un ambiente con climatologías desfavorable, lluvia, temperaturas extremas, viento, etc.
Resistencia ante colisión	Resistencia de la estructura del MAV ante un choque
Capacidad de carga	Capacidad de llevar una carga útil/de pago)
Resistencia a medios contra-RPAS	Resistencia a interferencias, armas contra-RPAS y sistemas de denegación GPS
Techo de vuelo	Altura máxima de vuelo
Tipo de MAV	De ala fija, simulador de insecto/pájaro, de ala rotatoria

*Tabla 7. Subcriterios Físicos. Elaboración propia*

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

### Operativos

SUBCRITERIO OPERATIVO	DESCRIPCIÓN
Autonomía de batería	Duración de la batería tanto del dron como del equipo de control
Equipo necesario y peso	Material necesario tanto para lanzamiento, transporte y control y su peso
Sigilo y firma radar	Tamaño de la huella y capacidad de no ser detectado por sistemas de captación y radar
Alcance	Alcance máximo de control del micro-UAV
Capacidad de captación de cámaras	Calidad de imagen y posibilidades que ofrece, cámara nocturna, cámara IR, resolución, designador de objetivos, 360º, etc.
Porcentaje de fallo	Tasa de error que tiene cualquiera de los componentes del sistema
Tiempo de lanzamiento	Tiempo necesario para su puesta en acción (Montaje, prevuelo y carga de misión)
Capacidad de vuelos automatizados	Capacidad que tiene el micro-UAV de trabajar de manera automática y con diferentes tipos de vuelo
Capacidad de integración a vehículo	Capacidad de integrarse a un vehículo sin necesidad de realizar modificaciones en la barcaza
Tipo de sistema de geolocalización	Qué sistema de geolocalización utiliza: Galileo, GPS, Glonass ... y si tiene capacidad de utilizar más de uno
Sistema de lanzamiento manual y recuperación automática	El MAV no necesita de plataforma de lanzamiento ni de sistema de recuperación
Capacidad de operar junto a otros MAV	Tanto el UAV como el GCS no interfieren con el uso de otros MAV cercanos

*Tabla 8. Subcriterios operativos. Elaboración propia*

### Formación

SUBCRITERIO FORMACIÓN	DESCRIPCIÓN
Dificultad de la instrucción individual	Grado de dificultad del proceso de formación
Posibilidad de formación en las UCO,s	Posibilidad de que se instruya al personal en la misma unidad evitando grandes desplazamientos a otras unidades
Tiempo necesario para la formación	Tiempo necesario para formar a un individuo
Nivel de preparación previo necesario	Conocimientos que debe poseer el individuo para formarse
Capacidad de simulación	Posibilidad de instruirse mediante ejercicios simulados y dificultad de poseer el material de simulación
Coste de formación	Coste asociado al proceso de formación

*Tabla 9. Subcriterios formación. Elaboración propia*

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

### Logísticos

SUBCRITERIO LOGÍSTICO		DESCRIPCIÓN
Coste de adquisición		Coste de adquisición del MAV y su equipo asociado
Requerimientos de almacenaje		Infraestructura necesaria para su almacenaje
Coste y mantenimiento necesario		Mantenimiento que es necesario realizar y su coste asociado
Coste de almacenaje		Coste asociado a su almacenaje
Capacidad de recambios		Facilidad con la que se es capaz de conseguir repuestos de piezas específicas

*Tabla 10. Subcriterios logísticos. Elaboración propia*

### 3.3. Jerarquización de criterios y subcriterios.

Posteriormente, este grupo de expertos a través de unos cuestionarios (ver Anexo F) elaborados *ad hoc* para tal fin, evaluarán la importancia de cada uno de los criterios y subcriterios anteriormente seleccionados mediante el método de comparación por pares. El grupo de expertos está formado por el siguiente personal:

NOMBRE Y APELLIDOS	EJÉRCITO	EMPLEO	EXPERIENCIA
Antonio Manuel Martínez Heredia	Tierra	Capitán	Jefatura de Ingeniería del Male. Sección de Ingeniería de Plataformas y Equipamiento Especial / Plataformas Aéreas
Javier Pérez de la Rosa	Armada	Subteniente	Especialista en electrónica y comunicaciones. Controlador de tránsito aéreo
Yago Moreno Carrasco	Tierra	Sargento 1º	Jefe de Equipo UAV
Paco Tarazaga	Tierra	Sargento 1º	Miembro de Equipo UAV
Juan Luque González	Tierra	Cabo 1º	Miembro de Equipo UAV
Álvaro Gómez	Tierra	Cabo 1º	Miembro de Equipo UAV

*Tabla 11. Panel de expertos. Fuente: Elaboración propia*

La valoración de los criterios y subcriterios se realizará empleando la escala de Saaty con el fin de realizar una comparación por pares de todos ellos. La siguiente tabla muestra la escala empleada en este trabajo.

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

VALOR	SIGNIFICADO
1	Igual importancia.
3	Bastante más importante.
5	Mucho más importante.
7	Extremadamente más importante.

*Tabla 12. Escala de Saaty. Elaboración propia a partir de [53]*

A continuación, se muestran ejemplos de valoración de criterios y subcriterios:

FÍSICO	OPERATIVO	VALOR
	X	7

*Tabla 13. Ejemplo de valoración de criterios. Elaboración propia*

En este caso el entrevistado considera que el criterio “operativo” es extremadamente más importante que el criterio “físico”.

DIMENSIONES	PESO	VALOR
X	X	1

*Tabla 14. Ejemplo de valoración de subcriterios. Elaboración propia*

En este segundo caso el entrevistado considera que el subcriterio físico “dimensiones” es igualmente importante que el subcriterio físico “peso”.

### **3.4. Aplicación del método AHP. Empleo de la herramienta SuperDecisions.**

Para la aplicación de la metodología AHP se ha hecho uso de la herramienta Superdecisions. Superdecisions es un software educativo gratuito que es capaz de implementar las metodologías AHP y ANP (*Analytic Network Process*) y fue desarrollada por el equipo del creador del método, Thomas Saaty. En lugar de proporcionarnos la decisión “correcta” este programa nos ayuda en la toma de decisiones para encontrar la solución que mejor se adapta a nuestro objetivo (en nuestro caso “UAV óptimo” [Ver Ilustración 17]), para estructurar nuestro problema, representar y cuantificar sus elementos, relacionándolos entre sí y evaluar las diferentes alternativas. [28]

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAVs  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

Una vez recopiladas todas las respuestas de los cuestionarios [Ver Anexo F], se han recogido en una tabla Excel para obtener cuál es el criterio o subcriterio que se considera de mayor importancia en cada una de las comparativas por pares a través de un conteo y obtener el promedio de las valoraciones asignadas. El criterio cualitativo que se ha seguido para la obtención de las ponderaciones finales para introducir en el software *Superdecisions* es el siguiente.

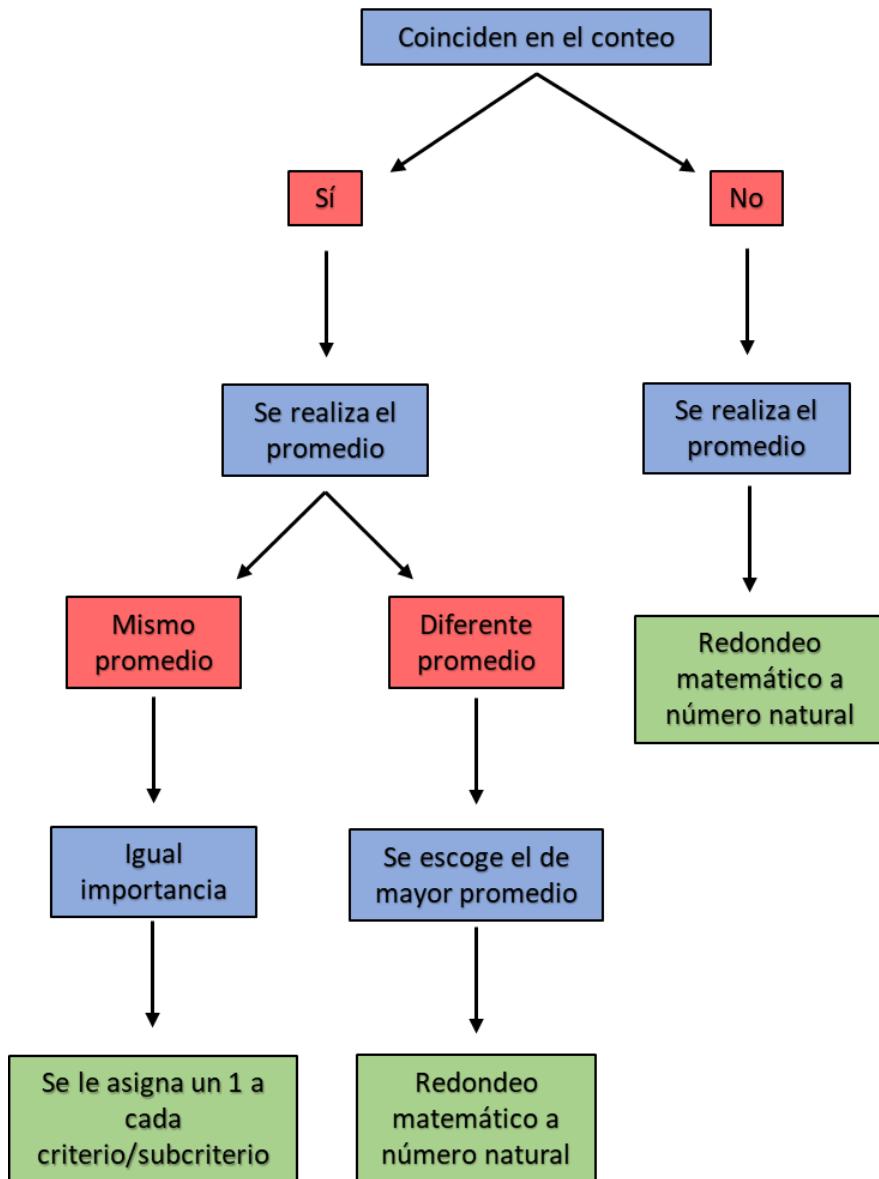


Ilustración 17. Método cualitativo para obtención de ponderaciones. Fuente: Elaboración propia

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

La siguiente imagen muestra el diagrama de red que presenta nuestro problema de toma de decisiones utilizando la herramienta *Superdecisions*.

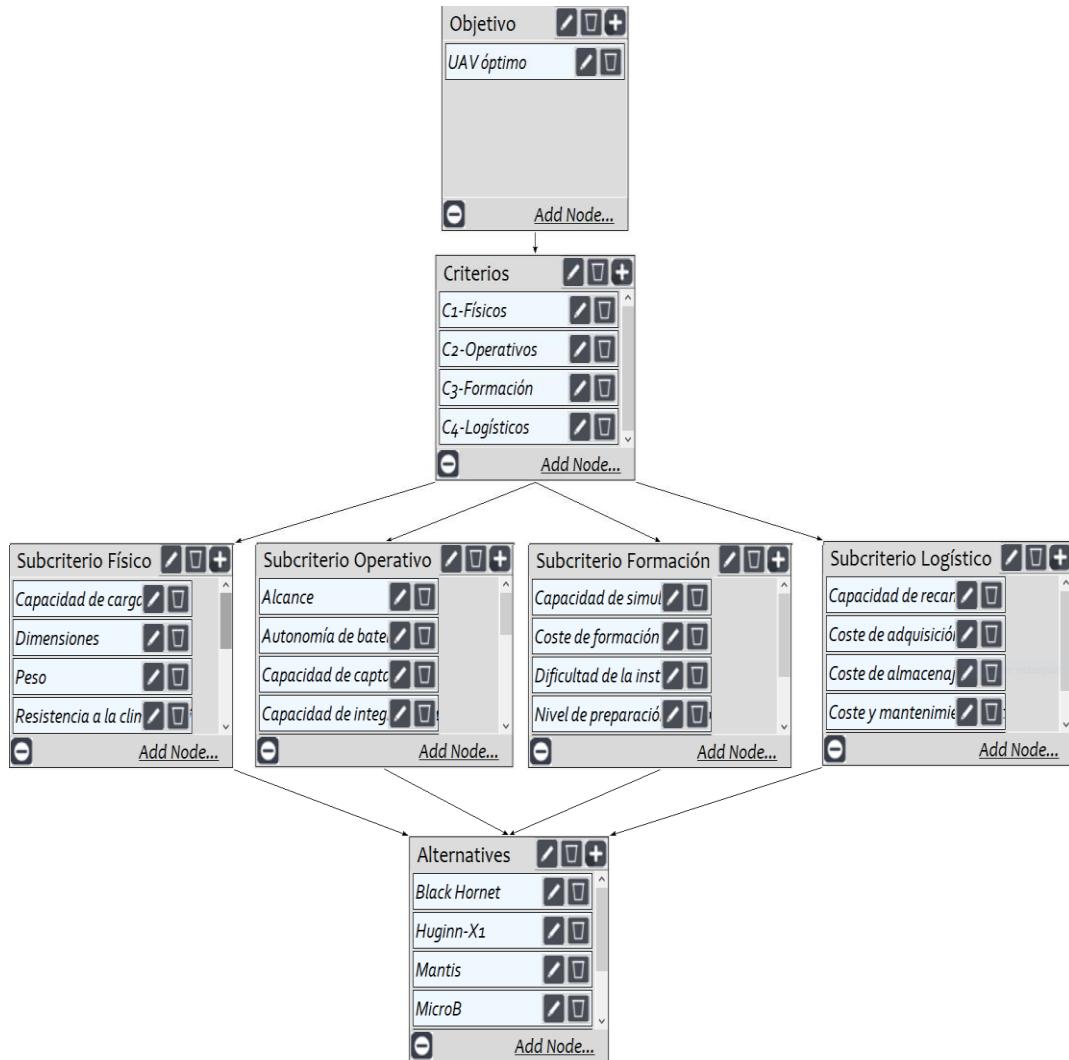


Ilustración 18. Diagrama de red de *Superdecisions*. Fuente: Elaboración propia a través de *Superdecisions*.

Podemos observar en el diagrama como nuestro objetivo es conseguir el UAV óptimo. Ese objetivo se relaciona con los criterios (físicos, operativos, formación y logísticos) y cada uno de ellos se relaciona con sus correspondientes subcriterios. A su vez, todos los subcriterios se relacionan con todas las alternativas, que son los micro-UAV,s Black Hornet, Huginn-X1, MicroB y Wasp. Además, se han incluido los UAV,s pertenecientes a la clase mini, el sistema Mantis y el Raven.

Una vez el diagrama de red está completo, solo queda introducir en el software *Superdecisions* las ponderaciones correspondientes a cada criterio, subcriterio y las alternativas.

### 3.5. Análisis de los resultados

Una vez introducidos todas las ponderaciones, podemos pedir al programa que, a través de los algoritmos del software, nos proporcione cual sería la solución óptima para nuestro problema.

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Black Hornet		1.000000	0.245365	0.077837
Huginn-X1		0.609720	0.149604	0.047459
Mantis		0.521486	0.127954	0.040591
MicroB		0.649064	0.159257	0.050521
Raven		0.611998	0.150163	0.047636
Wasp		0.683302	0.167658	0.053186

*Tabla 15. Resultados del proceso de selección. Elaboración propia a través de Superdecisions*

Como podemos observar en la Tabla 16, el sistema Black Hornet es el sistema UAV que mejor puntuación obtiene en el cómputo de todos los criterios y subcriterios según las ponderaciones asignadas a estos y por tanto el sistema óptimo según la metodología empleada para dotar a un pelotón de infantería mecanizada en un escenario de combate híbrido. La segunda opción sería el sistema Wasp, seguido del MicroB. El Raven, que pertenece a la clase mini se sitúa por delante del micro-UAV Huginn-X1 y el sistema Mantis se presenta como la peor opción.

Atendiendo al Estado del Arte, podemos concluir que los diferentes micro-UAV,s poseen características operativas similares, sin embargo, las pequeñas diferencias en su estructura hacen que el Black Hornet sea la opción mejor valorada. Su estructura de helicóptero convencional con un tamaño excepcionalmente pequeño hace que sea el sistema más discreto a la hora de desplegar y a su vez el más rápido. El Huginn-X1 sería el otro VTOL que podría asimilarse a estas capacidades, sin embargo, con un mayor tamaño y tiempo de despliegue.

Las principales características que hacen que los sistemas micro de ala fija (Wasp y MicroB) aventajen a los anteriormente citados, es que su mejor aerodinámica les proporciona un vuelo más estable, aumentando generalmente el techo de vuelo, la autonomía, la resistencia a ráfagas de viento y el alcance. Sin embargo, estas ventajas no han sido consideradas suficientes para hacer de un sistema de ala fija el óptimo para el empleo en una unidad tipo pelotón mecanizado en combate híbrido.

Además, el factor que ha sido clave para la diferenciación del sistema Black Hornet del resto de sistemas, ha sido las posibilidades que ofrece para la instrucción del personal en el empleo del mismo, pues a través de la simulación posibilita un importante abaratamiento del costo de formación, dando la oportunidad de formar al personal en las mismas unidades.

A continuación, se van a exponer las ponderaciones asignadas a los criterios y se destacarán dentro de estos cuales son los subcriterios con un mayor peso. La columna de la izquierda contiene los criterios o subcriterios. En el centro se muestra una pequeña gráfica y a la derecha observamos el peso global que tiene cada criterio y el peso de cada subcriterio dentro de su criterio correspondiente.

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

C1-Físicos		0.11699
C2-Operativos		0.50730
C3-Formación		0.26897
C4-Logísticos		0.10674

*Tabla 16. Ponderación de los criterios. Elaboración propia a través de Superdecisions*

El criterio “operativos” ha sido valorado considerablemente más importante que el resto de los criterios, dándosele así un mayor peso a aquellas características relacionadas con el uso operativo del UAV. El segundo criterio más importante ha sido el criterio “formación”, seguido del criterio “físicos” y por último el criterio “logísticos”.

Dentro del criterio “físicos” destacan los siguientes subcriterios:

Resistencia a la climatología adversa		0.22848
Resistencia a medios contra-RPAS		0.27856
Resistencia ante colisión		0.13386

*Tabla 17. Ponderación de subcriterios físicos. Elaboración propia a través de Superdecisions*

Como podemos observar en la Tabla 18, los subcriterios del criterio físico con una mayor ponderación son “resistencia a medios contra-RPAS”, “resistencia a la climatología adversa” y “resistencia ante colisión”, en este mismo orden.

Dentro del criterio “operativos” destacan los siguientes subcriterios:

Autonomía de batería		0.13439
Capacidad de captación de cámaras		0.19252
Sigilo y firma radar		0.13791
Tiempo de lanzamiento		0.12418

*Tabla 18. Ponderación de subcriterios operativos. Elaboración propia a través de Superdecisions*

El subcriterio operativo que más peso se le ha dado es “capacidad de captación de cámaras”, recalando las funciones ISTAR que son encargados de realizar los UAV. En segundo lugar, se encuentra el subcriterio “sigilo y firma radar” muy igualado con el subcriterio “autonomía de batería”. En cuarto lugar, encontramos el subcriterio “tiempo de lanzamiento”

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

Dentro del criterio “formación” destacan los siguientes subcriterios:

Capacidad de simulación	0.26124
Posibilidad de formación en las UCO,s	0.26002

*Tabla 19. Ponderación de subcriterios de formación. Elaboración propia a través de Superdecisions*

Observamos en la Tabla 20, como los subcriterios del criterio “formación” con una mayor ponderación son los subcriterios “capacidad de simulación” y “posibilidad de formación en las Unidades de Combate”. Entre los dos subcriterios ocupan más del 50% de la ponderación de los subcriterios del criterio “formación” por lo que se puede observar la importancia de la posibilidad de abaratamiento del proceso de formación con la aplicación de estos subcriterios.

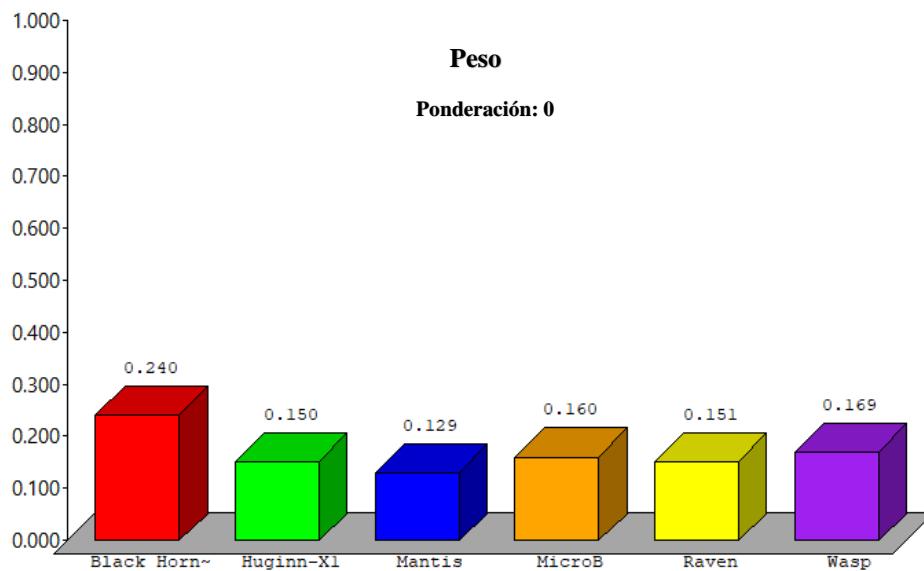
Dentro del criterio “logísticos” destacan los siguientes subcriterios:

Capacidad de recambios	0.38055
Coste de adquisición	0.23478

*Tabla 20. Ponderación de subcriterios logísticos. Elaboración propia a través de Superdecisions*

El subcriterio “capacidad de recambios” es notablemente el que posee un mayor peso dentro del criterio “logísticos”, seguido de “coste de adquisición”.

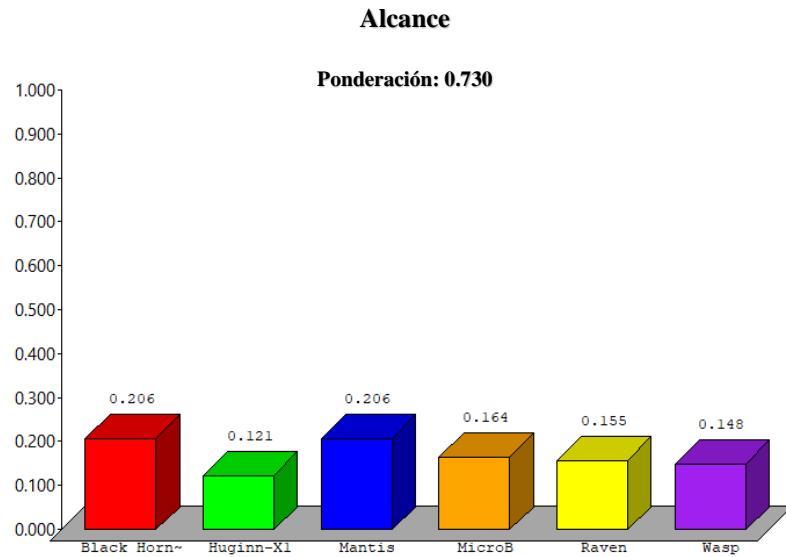
Finalmente, se realizará un análisis de sensibilidad sobre alguno de los criterios y subcriterios que se consideran más interesantes para así observar las variaciones en el resultado final si el peso de las ponderaciones hubiera sido diferente. Hemos de tener en cuenta que la gran cantidad de subcriterios dentro del estudio hace que la variación únicamente en uno de ellos difícilmente realice modificaciones en el resultado.



*Ilustración 19. Ejemplo 1 análisis de sensibilidad. Fuente:Elaboración propia a través de superdecisions*

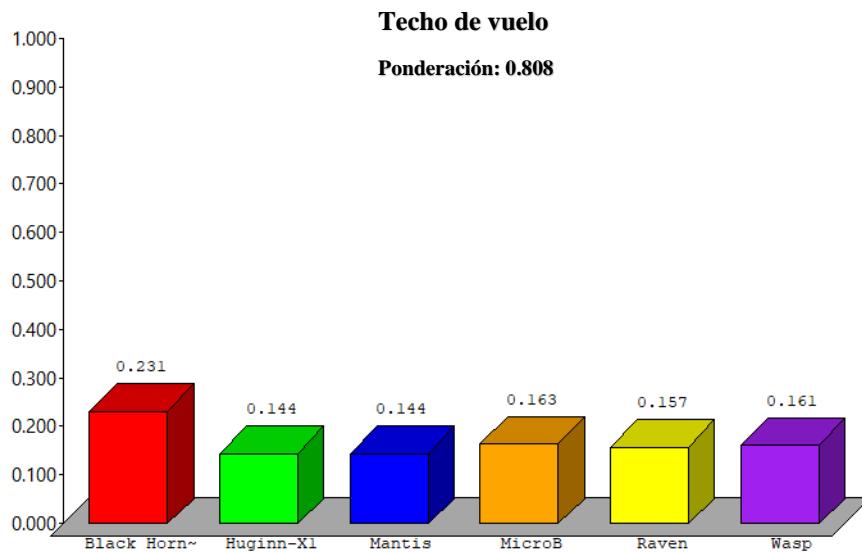
**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

Como se ha comentado anteriormente, podemos observar en la Ilustración 19, cómo el resultado permanece prácticamente invariable con respecto a la Tabla 16, a pesar de anular por completo la importancia del subcriterio físico “peso”, siendo este el subcriterio en el que el sistema Black Hornet más aventaja a los diferentes modelos.



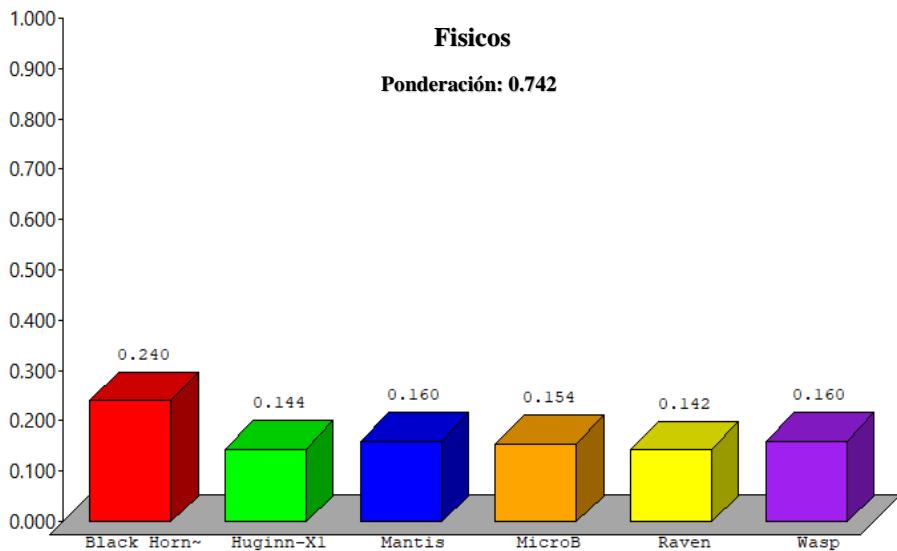
*Ilustración 20. Ejemplo 2 análisis de sensibilidad.*

La Ilustración 20 muestra el punto en el que el sistema Mantis se presenta igual de atractivo que el sistema Black Hornet en función del alcance. Para alcanzar esta situación se ha tenido que aumentar la ponderación del subcriterio alcance hasta 0,730.



*Ilustración 21. Ejemplo 3 análisis de sensibilidad. Fuente: Elaboración propia a través de Superdecisions*

Observamos en la Ilustración 21 , como para un valor mayor de 0.808 al subcriterio techo de vuelo, el micro-UAV Huginn-X1 pasa a ser la peor opción para nuestro problema de selección.



*Ilustración 22. Ejemplo 4 análisis de sensibilidad. Fuente: Elaboración propia a través de Superdecisions*

En la Ilustración 22 observamos cómo al darle al criterio “físicos” una ponderación superior a 0.742 el sistema Mantis pasaría a ser la segunda mejor opción por delante del sistema Wasp.

#### 4. Conclusiones

A pesar de los resultados obtenidos a través de la metodología AHP, la experiencia en el empleo de diferentes sistemas de UAV,s en el Ejército nos ha enseñado cómo aquellas características que se nos describen en las diferentes fichas técnicas de los diversos UAV,s son para situaciones ideales. Todas las empresas tratan de mostrar sus productos como la “panacea”, sin embargo, a la hora de la verdad, podemos observar cómo es posible que muchas de las características que se les asocia a los diferentes sistemas sean demasiado optimistas.

Como hemos dicho anteriormente, la metodología AHP es una herramienta para emplear ante un proceso de selección en el que llegaremos a un resultado a través de la valoración de un grupo de expertos de una lista de criterios y subcriterios previamente elaborada. No obstante, algunos de los criterios son de carácter cualitativo, por lo que a través de la comparación de las diferentes alternativas fueron cuantitativamente valorados.

Estas dos razones son suficientes para entender que el resultado de este estudio no es suficiente para afirmar que el micro-UAV Black Hornet es el sistema que debería integrarse de inmediato a la estructura de las Fuerzas Armadas, sino que es el más indicado para adquirir, en principio, para someterlo a las pruebas pertinentes y determinar si cumple con los requisitos. Podemos observar en el Anexo G un ejemplo de las pruebas que se realizaron en este caso al micro-UAV Huginn-X1, cuyas conclusiones dejan claro que existe un amplio margen de mejora para el sistema, pero, que, a su vez, se presenta como una herramienta con un gran potencial para las operaciones que realizan las unidades del Ejército de Tierra.

## 5. Bibliografía

- [1] CESEDEN, "El enfoque multidisciplinar en los conflictos híbridos", may 2012.
- [2] J. M Luque Juárez, "Programa de doctorado en ciencias sociales", Univ. Católica de Murcia, oct 2019
- [3] A. Palmero Romero, "Un 'RPAS' Clase I para el Tercio de Armada. ¿Tipo 'Small' o Mini?", 2017.
- [4] CESDEN, "Tecnologías Asociadas a Sistemas De Enjambresde Muav", vol. 53, no. 9, jul 2012.
- [5] Departamento de táctica. Academia General Militar. "S17 T13 U4 SIL-SILP COMBATE HÍBRIDO OPERACIONES DINÁMICAS PATRULLAS", 2019 .
- [6] Departamento de táctica. Academia General Militar. "S16 T12 U4 SIL Y SILP COMBATE HIBRIDO\_OPERACIONES ESTATICAS", 2019 .
- [7] Departamento de táctica Academia General Militar. "S15 T11 U4 COMBATE HIBRIDO, AMENAZA\_IED\_COVID19", 2019.
- [8] Alpha Unmanned Systems. "Guía de empresas del sector UAV en España", En 2020
- [9] Agencia Estatal de Seguridad Aérea, "Marco regulatorio para operaciones con Drones", 2017.
- [10] C. Calvo González-Regueral, F. Herranz, and P. Calvo Aguilar, "De los UAV a los RPAS", *Perfiles IDS*, p. 12, 2014.
- [11] H. S. Solutions, "Micro B Sistema táctico aéreo no tripulado ( UAV )," no. 34, 2014.
- [12] Blue Bird Aerosystems Ltd, "Micro UAV, Great Capabilities"
- [13] Blue Bird Aerosystems Ltd, "MicroB", Disponible en: <http://www.bluebird-uav.com/microb/> [Accedido: 8-oct-2020]
- [14] AeroVironment "Wasp AE all environment // RQ-12A."
- [15] Air Force Technology, "Wasp AE Small Unmanned Aircraft System." .
- [16] B. Hartigan "ADF buys Wasp UAS" Disponible en: <https://www.contactairlandandsea.com/2017/06/01/adf-buys-wasp/>. [Accedido: 8-oct-2020]
- [17] Noticias infodefensa España "El Tercio de la Armada recibe la certificación para su sistema RPAS 'Wasp-Ae'", Disponible en : <http://www.infodefensa.com/es/2016/11/21/noticia-tercio-armada-recibe-certificacion-sistema-waspae.html>. [Accedido: 8-oct-2020]
- [18] Australian Goverment. Department of Defence "Contract awarded for Wasp small unmanned aerial systems fleet" . Disponible en: <https://www.minister.defence.gov.au/minister/melissa-price/media-releases/contract-awarded-wasp-small-unmanned-aerial-systems-fleet> [Accedido: 14-oct-2020]
- [19] Sky-Watch A/S, "Huginn X1 technical specifications", jun 2015
- [20] Geo-matching "ING Robotic Aviation Huginn X1" . Disponible en: <https://geomatching.com/uas-for-mapping-and-3d-modelling/huginn-x1> [Accedido: 3-oct-2020]
- [21] Noticias Infodron "El MOE del Ejército de Tierra opera los UAV Huggin X1 y Blackhornet", disponible en: <http://infodron.es/id/2018/01/18/noticia-ejercito-tierra-opera-huggin-blackhornet.html> [Accedido: 10-sept-2020]
- [22] E. Villarejo, "Infantería de Marina prueba su primer dron: el danés Huginn X-1," *Abc Blogs*. 2016. Disponible en: <https://abcblogs.abc.es/tierra-mar-aire/industria-de-defensa/huggin-infanteria-marina-dron.html> [Accedido: 11-sept-2020]
- [23] Flir Systems, "Personal Reconnaissance Systems", 2019.
- [24] Flir Systems, "PD-100 Black Hornet 3 Personal Reonnaissance System", 2018.
- [25] El Español. "Un dron de bolsillo: el 'gadget' táctico para los soldados del futuro", 2020. Disponible en: [https://www.elespanol.com/omicrono/hardware/20200522/dron-bolsillo-gadget-tactico-soldados-futuro/491701668\\_0.html](https://www.elespanol.com/omicrono/hardware/20200522/dron-bolsillo-gadget-tactico-soldados-futuro/491701668_0.html) [Accedido: 21-sept-2020]
- [26] Dirección General de Armamento y Material, "Plan Director de RPAS (RemotelyPilotedAircraftSystems).", feb 2015.

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

- [27] Dirección General de Armamento y Material. Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica, "Proyecto Rapaz y tecnologías anti-RPAS," 2016.
- [28] L.Saaty, "Super Decisions | Homepage," Disponible en: <http://www.superdecisions.com/> [Accedido: 4-oct-2020]
- [29] MINISDEF, "Ejército de tierra - BRIGADA 2035. Brigada experimental", Disponible en: [https://ejercito.defensa.gob.es/estructura/briex\\_2035/index.html](https://ejercito.defensa.gob.es/estructura/briex_2035/index.html) [Accedido: 7-oct-2020]
- [30] La voz de Almería, "Drones, nuevos vehículos y robótica en la Legión para la revolución del Ejército", en 2019. Disponible en: <http://galaxiamilitar.es/drones-nuevos-vehiculos-y-robotica-en-la-legion-para-la-revolucion-del-ejercito/> [Accedido: 7-oct-2020]
- [31] MINISDEF, "Sistemas autónomos y robóticos", mar 2019. Disponible en: [https://ejercito.defensa.gob.es/reportajes/2019/77\\_autonomos\\_roboticos.html](https://ejercito.defensa.gob.es/reportajes/2019/77_autonomos_roboticos.html) [Accedido: 7-oct-2020]
- [32] M. Sanz, "El papel del uso de los drones de combate en la perpetuación y el aumento de terrorismo en Pakistán," *Univ. Pontif. ICAI ICADe*, 2014.
- [33] Ejército de Tierra. Mando de Adiestramiento y Doctrina, "Equipo Mini-UAV RAVEN B," *[Documento uso interno]*, 2015.
- [34] Ejercito de TIerra, "Norma operativa empleo del mini uav RAVEN en operaciones," p. 40, 2010.
- [35] AeroVironment, "Raven RQ-11B" *Datasheet*
- [36] Noticias Infodron, B. Carrasco "El Ejército español pone a prueba el RPAS Mantis de Indra", 2019. Disponible en: <http://infodron.es/id/2019/11/25/noticia-ejercito-espanol-prueba-mantis-indra.html#:~:text=El%20Ej%C3%A9rcito%20de%20Tierra%20ha,Extremadura%20XI%20durante%20un%20a%C3%B3n>. [Accedido: 12-oct-2020]
- [37] Indra, "Mantis, Sistema de mini aeronaves no tripuladas de inteligencia"
- [38] Thales Group, "Sistema aéreo no tripulado Fulmar X," 2018.
- [39] Noticias Hispaviación, "Thales España consigue para su UAV Fulmar X dos contratos con la DGAM", jun 2018. Disponible en: <http://www.hispaviacion.es/thales-espana-consigue-uav-fulmar-x-dos-contratos-la-dgam/> [Accedido: 12-oct-2020]
- [40] E. Villarejo "Defensa adjudica a la israelí Aeronautics un contrato de avión no tripulado." . *Abc Blogs*, oct 2018. Disponible en: <https://abcblogs.abc.es/tierra-mar-aire/industria-de-defensa/israeli-avion-no-tripulado.html> [Accedido: 12-oct-2020]
- [41] J. M. Navarro.G, "El Orbiter 3, nueva adquisición del Ministerio de Defensa" en 2019. Disponible en: <https://www.defensa.com/espana/orbiter-3-nueva-adquisicion-ministerio-defensa>. [Accedido: 17-sept-2020]
- [42] Aeronautics Ltd, "UAS Táctico Pequeño Orbiter 3".
- [43] J. M. Navarro.G, "El UAV Orbiter crece", jul 2019 Disponible: <https://www.defensa.com/industria/el-uav-orbiter-crece>. [Accedido: 17-sept-2020]
- [44] Aeronautics Ltd / Orbiter 4. Disponible en: <https://aeronautics-sys.com/home-page/page-systems/page-systems-orbiter-4/> [Accedido: 17-sept-2020]
- [45] Aeronautics Ltd "Orbiter ® 4 Small Tactical UAS".
- [46] Indra "Pelícano. Sistema de Aeronaves No Tripuladas ( RPAS ) de Despegue y Aterrizaje Vertical Automático ( AVTOL )."
- [47] J. M. Navarro.G, "El nuevo Pelícano de Indra listo para entrar en servicio", Disponible en: <https://www.defensa.com/industria/nuevo-pelicano-indra-listo-para-entrar-servicio>. [Accedido: 18-sept-2020]
- [48] Departamento de Seguridad Nacional Presidencia del Gobierno, "Estrategia de Seguridad nacional Un proyecto compartido", 2013.
- [49] J. Aznar Bellver, F. Guijarro Martínez, "Nuevos métodos de valoración, modelos multicriterio", 2<sup>a</sup> Edición. *Univ. Politécnica de Valencia*, 2012.
- [50] A. TAOUIFIKALLAH, "El método AHP," *Capítulo 4, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla, Univ. de Sevilla*, pp. 46–49, 1990.
- [51] Tte. Quesada, "CIMA-BÁSICO Curso básico integral de mando de unidades acorazadas

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

- y mecanizadas”, 2020
- [52] E. A. Nantes, “El método Analytic Hierarchy Process para la toma de decisiones.,” vol. 27, no. 46, pp. 54–73, nov 2019.
- [53] P. G. Dávila Pinto, M. A. García Salazar, “Identificación de criterios relevantes para la toma de decisión multicriterio con aplicación del modelo AHP y escala de Saaty,” *FIGEMPA Investig. y Desarro.*, vol. 1, no. 2, pp. 91–98, 2017.

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

## **ANEXOS**

## **Anexo A**

### **Proyecto Fuerza 2035**

En los próximos años, el Ejército de Tierra deberá actuar en entornos impredecibles, dinámicos, inestables y de creciente complejidad. Esto, unido a los rápidos avances tecnológicos, la posibilidad de acceso a tecnologías de uso civil y militar, por parte de los potenciales adversarios y amenazas, así como la hiperconectividad, gran influencia y omnipresencia de los medios de comunicación y redes sociales, obliga a una evolución en el concepto de sus brigadas, unidad de combate referente de las fuerzas operativas terrestres. En este sentido, las futuras Brigadas se dotarán de las capacidades necesarias como un Sistema de Combate Integral, es decir, adquiriéndose todas ellas de forma global.

La Brigada 2035 es el modelo que se está diseñando para la adaptación del Ejército español al entorno operacional que se prevé en el horizonte de ese año. [29]

En este nuevo modelo, la definición de las tecnologías a integrar, la organización, las tácticas o los procedimientos para el combate requieren un proceso de experimentación. Para ello se ha designado a la Brigada “Rey Alfonso XIII”, II de la Legión, como Brigada Experimental (BRIEX) 2035, responsable de ejecutar las actividades de experimentación que faciliten el diseño de la brigada de ese año. Además del vehículo 8x8, con relación a este Trabajo de Fin de Grado, La Brigada “Rey Alfonso XIII” es la responsable de la experimentación de algunos de los micro UAV,s que se han presentado en este estudio, caso del Black Hornet y del Huginn-X1. [30]

La característica principal de la Brigada 2035 es que estará basada en la tecnología, lo que le permitirá disponer de una mayor potencia de combate con menor número de personal, unos 2800 militares aproximadamente. [29]

Uno de los objetivos del proyecto Fuerza 2035 trata sobre sistemas autónomos y robóticos y los define de la siguiente manera:

[Combatientes a pie dotados de exoesqueletos, convoyes logísticos sin tripulación alguna o máquinas de Ingenieros que trabajan solas pueden parecernos hoy en día ciencia ficción, pero no lo son. Simplemente, representan la aplicación al ámbito militar de las mismas tecnologías (robótica, inteligencia artificial, big data, etc.) que ya están transformando el mundo en el ámbito civil. La revolución de los sistemas autónomos y robóticos (RAS, en inglés) es absolutamente imparable y el Ejército de Tierra español solo tiene una opción: sumarse al cambio.

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

Con la mirada puesta en el horizonte 2035, los principales campos de aplicación de estos sistemas son el Apoyo Logístico, la Inteligencia, el Mando y Control, y la Protección.] [31]



*Ilustración 23. Logo Brigada Experimental 2035. Fuente [29]*

Atendiendo a los diferentes campos, podemos observar cómo los sistemas autónomos y drones con capacidades ISTAR son los principales protagonistas en casi todos ellos:

[Por lo que respecta al área de Inteligencia, la Brigada Experimental (BRIEX) 2035 contará con vehículos y aeronaves autónomos con sensores del campo de batalla de todo tipo, como es el caso de los aviones no tripulados con misiones de obtención de información y de ataque puntual. Como ejemplo más inmediato, tenemos el Orbiter 3...] (el cual se expone en “Anexo C”) [...] un Sistema Aéreo Pilotado de forma Remota (RPAS) de tipo small, que el Ejército de Tierra está recepcionando y que próximamente será desplegado en zona de operaciones. Tiene un peso de 30 kilos y un radio de acción superior a los 100 kilómetros. El tipo small es el mismo al que pertenece, entre otros, el RPAS Fulmar, ya en dotación] [31] (También analizado en “Anexo C”)

[En el ámbito de Mando y Control, son numerosas las aplicaciones de los RAS: sistemas autónomos de reencaminamiento de tráfico por redes múltiples (diseñado para el apoyo a la toma de decisiones con inteligencia artificial de generaciones avanzadas), sistemas de análisis de big data en los diferentes puestos de mando para agilizar sus procesos y sistemas de reconfiguración de redes en ambientes saturados utilizando inteligencia artificial.

Otras posibles herramientas a disposición de la BRIEX 2035 serían los sistemas autónomos de guerra electrónica contra RPAS, sistemas autónomos generadores de *jamming* (interferencias intencionadas) basados en algoritmos de inteligencia artificial y, por último, sistemas de análisis avanzados de redes mediante técnicas de *battle mapping* (sistemas de inteligencia artificial que permiten el análisis en tiempo real del estado del campo de batalla, asignando objetivos y acciones de guerra electrónica). También se plantea el empleo de la inteligencia artificial para acciones de supresión de defensas y acciones de ataque]. [31]

## Anexo B

### Combate Híbrido y drones

En la actualidad se usa el concepto de “guerra híbrida”. En principio se refiere a la desarrollada por un bando teóricamente débil, que utiliza una mezcla de acciones guerrilleras y terroristas clásicas, pero también controla zonas del territorio desde las que lleva a cabo operaciones de guerra convencional y hace uso de las nuevas tecnologías para ciberataques, propaganda y captación de adeptos en los territorios nacionales de sus adversarios más avanzados. Todo ello dentro de un diseño de conflicto de larga duración y baja intensidad, en el que los métodos de la guerra tecnológica se muestran poco eficaces pues el enemigo no tiene una estructura de mando clásica, los combatientes se mezclan con la población civil y no existen objetivos de alto valor que puedan ser batidos con armas de precisión. Si se recurre a la fuerza, es muy probable que se produzcan bajas civiles, convenientemente aprovechadas por el enemigo en los medios de comunicación. Pero, si no se responde, será inevitable un goteo de bajas propias que conduzca a la desmoralización de la sociedad y al repliegue militar. Dos ejemplos del carácter multifacético de este concepto son los protagonizados por los prorrusos en Ucrania y el Daesh en Siria e Irak. [1] [2]

Los drones han demostrado ser una herramienta clave para operar en este tipo de escenarios. Desde 2004, el gobierno de Estados Unidos lleva a cabo una campaña antiterrorista basada en el uso de drones en las áreas fronterizas del noroeste de Pakistán. Esta estrategia, basada en el empleo de la tecnología para combatir el fenómeno terrorista, además de responder a las nuevas necesidades del escenario que se presenta, es fruto del cambio de mentalidad propio de las sociedades post-modernas posteriores a la Guerra Fría y de la sociedad estadounidense tras la Guerra de Vietnam, en particular. En este contexto, los drones son el resultado de una sociedad que se muestra intolerante hacia las bajas en combate, tanto civiles como militares, neutrales y adversarias, puesto que esta tecnología reduce notablemente los riesgos militares, sin embargo, también ha de enfrentarse a los nuevos inconvenientes que origina esta nueva estrategia. [32]

## Anexo C

Para la correcta comprensión del Estado del Arte realizado en la memoria, en este “Anexo B” se va a completar con información que tratará sobre sistemas de UAV,s que no entran dentro de la categoría de “micro” sobre la que se centra este Trabajo de Fin de Grado.

Muchos de estos sistemas han sido incluidos en este anexo por haber servido en alguno de los ejércitos y por tanto forman parte de los antecedentes del uso de UAV,s. Otros de los sistemas serán analizados por destacar entre los sistemas UAV,s actuales.

### 1. Clase I

#### 1.1. Mini

##### Raven

[33]–[35]

El sistema aéreo pilotado remotamente (RPAS: *Remotely Piloted Aircraft System*) Raven RQ-11B es una herramienta de reconocimiento y vigilancia lanzada manualmente que se encuentra actualmente en uso por el Ejército de Tierra y ha sido utilizado en las misiones de Letonia e Irak.

El sistema transmite en directo imágenes de vídeo, rumbo magnético e información de localización a una estación de control de tierra (GCS: *Ground Control Station*), ordenador portátil (si está conectado) y terminal de vídeo remoto (RVT: *Remote Video Terminal*). Esta capacidad permite a los operadores navegar, buscar objetivos, reconocer el terreno y grabar toda la información para su posterior análisis. El Raven B SUAS (*Small Unmanned Aerial System*, sistema aéreo no tripulado) dota a la unidad en beneficio de la que actúa de capacidad operacional en las áreas de reconocimiento y vigilancia a control remoto, protección de tropas, seguridad de convoyes, adquisición de objetivos y valoración de daños.

El Raven B puede ser lanzado y recuperado en minutos, sin equipos especiales y en cualquier terreno. El sistema emplea una configuración del avión autoestabilizada, es de fácil manejo y proporciona imágenes estacionarias de vídeo. Los componentes aéreos y de tierra son de bajo peso y fácilmente transportables en una mochila. El UAV Raven B funciona con baterías y tiene una baja firma visual, acústica y térmica. El sistema incluye dos tipos de cargas útiles: una contiene cámaras a color electroópticas (EO) (vista frontal y lateral); la otra, una cámara lateral de infrarrojos (IR) con iluminador láser. El UAV tiene una autonomía de vuelo de 60-90 minutos con una batería recargable de ión-litio. El sistema, normalmente, será operado por dos equipos compuestos por dos sirvientes: un operador de vuelo (OV) y un operador de misión (OM)

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

El UAV del sistema Raven B está dividido en ocho componentes, que se empaquetan para su almacenaje y transporte en la bolsa de transporte. Esta bolsa está formada por una estructura de espuma que soporta y evita daños en el vehículo y sus accesorios y una bolsa estanca, resistente al agua, que mantiene el sistema seco aunque se sumerja (aguanta una profundidad de 2 metros durante 2 horas). En la bolsa de transporte se puede llevar un UAV, dos baterías, dos morros de carga útil y un kit de reparación de campo (FRK: *Field Reparation Kit*).

Aunque en la estructura ISR del ET siglo XXI establece que los mini UAV son sistemas de dotación en el nivel Batallón, en el caso del Raven B, el nivel de descentralización y empleo del sistema podrá llegar hasta nivel Compañía/Escuadrón e incluso en ZO hasta nivel Sección. Por ello, es de vital importancia la existencia de operadores instruidos al menos hasta el nivel Compañía/Escuadrón.



*Ilustración 23. Sistema Raven operado por militares españoles. Fuente [33]*

La formación inicial de los operadores del sistema fue contractual, impartida por la empresa fabricante de la ACINF (Toledo), formándose a los instructores en el sistema, a razón de 2 por Sistema adquirido. A partir de ese momento, la formación debe incluirse en los programas de instrucción y adiestramiento de las unidades. Inicialmente el personal formado en los cursos contractuales será quien tendrá a cargo la instrucción de los operadores que necesite cada unidad, evolucionando la instrucción en lo sucesivo en base al personal de mayor experiencia en el manejo del sistema y en operaciones. Debe tenerse en cuenta que la formación básica de operadores requiere unos plazos de tiempo mínimos de dos a tres semanas, dependiendo de las habilidades del personal seleccionado. Dicha formación deberá incluir los aspectos mínimos necesarios de conocimiento de la legislación aérea aplicable al sistema y su operación en TN y ZO.

El sistema Raven B está compuesto por:

- Tres plataformas aéreas.
- Dos estaciones de control en tierra idénticas.

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAVs  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido**  
**TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

- Tres sensores diurnos, cada uno con dos cámaras en color (una frontal y otra lateral).
- Dos sensores nocturnos (con una cámara térmica sin refrigerar) de visión lateral con iluminador láser.
- Un ordenador portátil rugerizado para planificación y seguimiento de la misión, con un GIS incorporado.
- Un simulador software, que se ejecuta en el ordenador portátil, reproduciendo la secuencia de los chequeos prevuelo del avión y otras tareas rutinarias.
- Un cargador de baterías con adaptadores vehiculares y para la red eléctrica.
- Un lote de repuestos de nivel orgánico por sistema.
- Caja de transporte (embalaje logístico), que permita contener todos los elementos del sistema.
- Manual de usuario y mantenimiento de 1º y 2º escalón.
- Documentación y software:
  - o Software propio del sistema Raven.
  - o Sistema operativo.
  - o Software FalconView con licencias de instalación.

Características

Envergadura:	1,4 m
Longitud:	0,9 m
Estructura:	Modular de kvarl
Peso (con carga útil):	1,9 kg
Altitud normal de operación:	45-300 m sobre el terreno
Velocidad de crucero:	56 km / h
Alcance:	10 km
Autonomía:	60-90 min
Lanzamiento / aterrizaje:	Manual / Automático
Baterías:	Recargables de ión-litio

Tabla 21. Características sistema Raven. Elaboración propia a partir de [33]–[35]

## **Mantis**

[36], [37]

Se trata de un sistema de mini aeronaves no tripuladas de bajo coste para misiones de inteligencia, vigilancia, adquisición de objetivos y reconocimiento (ISTAR) en operaciones tácticas de corto alcance, diurnas o nocturnas, que requieran un despliegue rápido.

Mantis es un sistema robusto, modular y ligero, lo que facilita su portabilidad. La recuperación se realiza mediante planeo a baja velocidad. El sistema tiene capacidad de despegue y aterrizaje automáticos (ATOL). Cuenta con una avanzada aviónica y navegación de precisión (GPS/INS), que permite el vuelo en modo manual, asistido mediante *Flight Director* (sistema de navegación de la aviónica de la aeronave que calcula y muestra los ángulos de cabeceo y de alabeo requeridos para que la aeronave siga una trayectoria seleccionada) o con navegación completamente automática. Su capacidad de control lateral y direccional le permite realizar giros

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

coordinados, pudiendo fijar y seguir objetivos y personas en movimiento de forma automática más fácilmente. Tiene un alcance (*Line-Of-Sight*) superior de 25 Km y hasta 2 horas de autonomía.

Mantis transmite en tiempo real imágenes en color o infrarrojos a su estación de piloto remota (RPS), empleando cámaras giroestabilizadas en tres ejes (estabilización hardware) combinada y apoyada por una estabilización software. Cuenta con interfaces para su integración en el Sistema de Mando y Control de la Fuerza operante.

En 2018 la Subdirección General de Adquisiciones de Armamento y Material firmó un contrato con Indra para comprar un RPAS Mantis para evaluación operativa de la fase II 2018 por un valor de 125.000 euros. El Ejército de Tierra recibió en 2019 su primer RPAS Mantis, que fue puesto a prueba en el Regimiento de Infantería Saboya nº6 de la Brigada Extremadura XI durante un periodo de un año. El RPAS fue adquirido en febrero del mismo año a través de la DGAM en el marco del programa RAPAZ.

Características

Longitud:	1,48 m
Envergadura:	2,10 m
Velocidad:	50 – 92 km / h
Peso máximo al despegue:	6,5 kg
Autonomía:	2 h
Alcance:	25 km
Montaje/desmontaje:	5-10 min

Tabla 22. Características sistema Mantis. Elaboración propia a partir de [36], [37]



Ilustración 24. Sistema Mantis operado por militares españoles. Fuente [36]

## Small

### Fulmar X

[38], [39]

El Fulmar X es un sistema aéreo no tripulado diseñado por la empresa THALES para uso civil y militar. Se trata de un mini UAV de ala fija con capacidades de inteligencia, vigilancia y reconocimiento de alta calidad en un amplio margen de aplicaciones. Su diseño le permite operar en entornos exigentes bajo condiciones meteorológicas adversas. Las misiones por las que principalmente está diseñado son, entre otras, misiones de vigilancia de fronteras, misiones de inteligencia, monitorización de tráficos ilegales, seguridad de infraestructuras críticas, etc.



Ilustración 25. Fulmar X. Fuente [38]

Por su diseño de ala fija consigue una baja huella sonora y un sistema fácil de desplegar que, sin embargo, requiere de unos 30 minutos desde el inicio al despegue con un sistema de catapulta, capaz de repetir el vuelo posteriormente con una preparación reducida de 10 minutos.

La empresa THALES anunció en 2018 haber firmado dos nuevos contratos mediante la Dirección General de Armamento y Material para proporcionar unidades del Fulmar X a Infantería de Marina y Ejército de Tierra durante las misiones que realicen en zona de operaciones. El Fulmar X ha participado en el programa RAPAZ en varias evaluaciones y más específicamente con la Armada en la fragata Santa María, ya que la versión marítima del Fulmar

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

X es muy versátil, pues permite que el sistema despegue y aterrice mientras la nave se está moviendo en el mar, una habilidad que le da una ventaja competitiva inigualable sobre otros sistemas disponibles en el mercado. Su versatilidad sobre las aguas llevó a que la Infantería de Marina seleccionara el Fulmar X para realizar pruebas y evaluaciones del sistema en entornos de experimentación marítimos.

Además, la DGAM seleccionó este sistema de clase I RPAS para ser desplegado por el Ejército de Tierra español en zonas de operaciones. La capacidad para detectar objetivos e identificar amenazas gracias a la carga electroóptica/infrarroja dual de alto rendimiento, proporcionará la información necesaria para garantizar la seguridad de las tropas sobre el terreno.

**Características**

Longitud:	1,2 m
Envergadura:	3 m
Altura:	0,5 m
Velocidad de crucero:	100 km/h
Techo de vuelo:	400 m
Peso máximo al despegue:	20 kg
Carga útil:	8kg
Autonomía:	6-12 h
Alcance:	800 km

*Tabla 23. Características sistema Fulmar X. Elaboración propia a partir de [38], [39]*

**Orbiter 3**

[40]–[42]

El Sistema Aéreo No Tripulado Táctico Pequeño (STUAS) Orbiter 3, es parte de la familia UAS Orbiter de la empresa israelí Aeronautics. El ministerio de Defensa confirmó en 2019 la selección de este RPAS como el nuevo sistema de protección para las tropas desplegadas en el exterior.

La adquisición se ha gestionado como un procedimiento de tramitación urgente para cubrir la necesidad inaplazable para cubrir requisitos de las Fuerzas Armadas.

La versión previa, el Orbiter 2, ya fue conocido por superar en 2016 el primer corte del programa RAPAZ de la DGAM, siendo en 2018 cuando se evaluó el Orbiter 3 por parte de la Brigada de la Legión.

Este STUAS de ala fija ha presentado gran fiabilidad en zonas de conflicto en todo el mundo. Operativo para un máximo de 7 horas, a más de 100 km de su estación de control llevando cargas útiles multisensores. El sistema y la interfaz de control propios son compatibles con estándares OTAN STANAG tales como 4586 y 4609.

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

Este sistema ofrece capacidades ISTAR en ámbito terrestre y marítimo, posibilidades de gestión de fuegos de artillería, adquisición de blancos para armas guiadas de precisión, protección de fuerzas estacionarias y de convoyes, inteligencia de comunicaciones (COMINT) y misiones HLS (vigilancia de fronteras y respuesta de emergencias).



*Ilustración 26. Orbiter 3. Fuente [40]*

Su sistema de despliegue es mediante catapulta, necesitando únicamente 7 minutos para el lanzamiento. Su despegue y recuperación son automáticos, siendo el aterrizaje en red para operación marítima. Su propulsión eléctrica hace que el sistema sea silencioso y gracias a su baja silueta radar convierte al Orbiter 3 en una gran herramienta para operaciones encubiertas.

La carga útil del sistema se compone de un sensor triple estabilizado, diurno y nocturno con designación láser. Posee unas cámaras de gran resolución, rastreador de video automático, detección de movimiento en video, composición de mosaico de video, D-Roll y estabilización de imagen, etc.



*Ilustración 27. Diferentes imágenes acerca del Orbiter 3. Fuente [42]*

Características

Envergadura:	4,40 m
Velocidad máxima:	130 km / h
Peso máximo al despegue:	30 kg
Carga útil:	5, 50 kg
Autonomía:	7 h
Enlace de datos:	LOS, hasta 150 km
<u>Tiempo de montaje:</u>	<u>20 minutos aproximadamente</u>

*Tabla 24. Características sistema Orbiter 3. Elaboración propia a partir de [40]–[42]*

## Orbiter 4

[43]–[45]

La aeronave no tripulada anteriormente analizada, Orbiter 3 de la compañía israelí Aeronautics es conocida en España por su adquisición para dotar al Ejército de Tierra desplegado en Iraq.

En 2019, la misma compañía ha evolucionado esta aeronave no tripulada incrementando sus prestaciones configurando la nueva versión Orbiter 4. Igual que los modelos anteriores, es fácilmente identificable por su particular configuración alar, sin embargo, ahora las capacidades crecen significativamente.

Mientras la autonomía del Orbiter 3 en sus últimas versiones era de 7 horas, la nueva versión puede volar durante 24h. El peso del Orbiter 4 se mantiene en los 50 kg de la versión anterior, igual que el alcance, que se mantiene en 150 km. Su envergadura alar es de 5,5 metros, algo mayor que su versión anterior, su velocidad máxima es de 70 km / h y su techo de servicio es de 5.400 metros.

Sin embargo, el nuevo modelo incrementa su capacidad para portar cargas de pago hasta los 11 kg, pudiendo operar dos sistemas simultáneamente. Así a los habituales sistemas electroópticos se suman los de guerra electrónica (EW), inteligencia electrónica (ELINT), de señales (SIGINT), de comunicaciones (COMINT), radares de apertura sintética o específicos para operar en entorno naval, incluyendo también un sistema de identificación automática de buques (AIS).

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

El Orbiter 4 mantiene sus características de simpleza de uso, discreción, operación con tres personas, sin utilizar pista para el despliegue y reducida firma logística. Puede volar de forma autónoma sin necesidad de señales GPS y Vigilancia, Reconocimiento y Designación de Objetivos (ISTAR), la adquisición de objetivos y valoración de fuego para la artillería o vigilancia de fronteras entre otras.



*Ilustración 28. Orbiter 4. Fuente [44]*

Envergadura:	5,40 m
Velocidad máxima:	70 km / h
Peso máximo al despegue:	50 kg
Carga útil:	12 kg
Autonomía:	Hasta 24 h
Enlace de datos:	LOS, hasta 150 km
Techo de vuelo:	5400 m

*Tabla 25. Características del sistema Orbiter 4. Elaboración propia a partir de [43]–[45]*

## **2. Clase II**

### **Pelícano**

[46], [47]

El RPAS Pelícano, se trata de un sistema de Despegue y Aterrizaje Vertical Automático (AVTOL). Su empresa fabricante, INDRA, es una de las primeras empresas que dispone de un helicóptero no tripulado preparado para responder a las necesidades operativas de las Fuerzas Armadas.

El sistema Pelícano está formado por tres o cuatro helicópteros no tripulados y una estación de control, que proporciona capacidad para operar las 24h del día durante periodos

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

prolongados. La capacidad de despegue y aterrizaje vertical y pequeño tamaño del Pelícano, le convierte en la solución perfecta para respaldar cualquier tipo de operación naval.

En 2014, la DGAM contrató a Indra el desarrollo de un UAV de Ala Rotatoria. Concretamente se trataba de un “demostrador de un sistema aéreo tripulado remotamente de Ala Rotatoria de Clase II, para su uso en misiones terrestres y navales”, contrato valorado en 5,5 millones de euros.

El sistema de RPAS Pelícano de Indra está pensado para prestar apoyo en tareas de vigilancia, control del tráfico marítimo, control de fronteras, en la lucha contra actividades de inmigración ilegal, narcotráfico, tráfico de armas, piratería y apoyo en operaciones de rescate, pudiendo desplegarse desde una plataforma naval o desde una base en tierra.

Así mismo, está preparado para dar apoyo tanto en misiones de inteligencia como en gestión de emergencias, tales como desastres naturales o medioambientales, que impliquen el seguimiento, vigilancia y reconocimiento de amplias superficies, eliminando así pérdidas humanas.

El sistema se basa en un helicóptero de tamaño medio e incorpora los sistemas tecnológicos más avanzados adaptados a las necesidades operativas, militares y civiles.

Entre los sensores con que se dota la aeronave figuran sistemas electroópticos de visión diurna e infrarroja, capaces de tomar imágenes de muy alta resolución a gran altura. También está preparado para que pueda aportar un rada SAR ligero, sistemas de inteligencia electrónica, sensores de detección de amenazas de explosivos, químicas, biológicas, radioactivas y nucleares (NRBQe) y armamento ligero entre otros.

Asimismo, dispone de un segmento terreno que controla el helicóptero y que recibe en tiempo real las imágenes, habilitando para ello el enlace de comunicaciones necesario.

El sistema operacional de RPAS de Indra podrá integrarse completamente con sistemas de mando y control C4I, convirtiéndose en una extensión del propio sistema de vigilancia terrestre/naval, complementando al resto de radares y sensores embarcados.

Respecto a la logística que requiere, podrá transportarse por tierra mediante contenedores de 6 metros y en aviones / helicópteros de transportes.

#### Características

Diámetro de las palas del roto principal:	3,94 m
Longitud fuselaje:	3,58 m
Longitud rotores girando:	4,64 m
Ancho máximo:	1,06 m
Altura total:	1,27 m
Peso máximo al despegue:	220 kg
Peso máximo carga útil:	50 kg
Capacidad combustible máxima:	70 litros
Velocidad máxima:	166 km / h
Autonomía:	4h – 6h
Alcance máximo:	80 km
Altitud máxima:	3600 m

Tabla 26. Características del sistema Pelícano. Elaboración propia a partir de [46], [47]

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido



*Ilustración 29. UAV Pelícano. Fuente [46]*

## Anexo D

### Proyecto Rapaz

El Proyecto RAPAZ ha sido una de las iniciativas llevadas a cabo por el Ministerio de Defensa para aumentar el desarrollo de la industria nacional en materia de RPAS.

El proyecto RAPAZ evalúa sistemas RPAS pertenecientes a la Clase I (aeronaves con un peso inferior a 150kg) que sean desarrollados preferentemente por empresas de origen nacional, con el objetivo de probar las capacidades de inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR) comprobando su estado de madurez tecnológico y si satisface las necesidades demandadas por las FF. AA.

Esta iniciativa fue presentada en marzo de 2015 por parte de la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDGPLATIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGMAM) y está recogida en el Plan Director de RPAS (Ver [26]).



Ilustración 30. Emblema de la Dirección General de Armamento y Material. Fuente [27]

El proyecto RAPAZ sigue las líneas de acción marcadas con la Estrategia de Seguridad Nacional de 2013 (Ver [48]) relacionadas con el <<fortalecimiento del tejido industrial español de defensa mediante las acciones de fomento, proyección y colaboración con las capacidades nacionales que, salvaguardadas las necesidades operativas propias, se estimen necesarias>>.

El sector RPAS es considerado por la DGAM como estratégico por su importante componente tecnológico, así como por el objetivo de fortalecer la industria nacional de este sector que sea capaz de satisfacer las necesidades de las FF. AA.

Este interés se materializó en 2015 con la publicación del primer Plan Director de RPAS, donde se marcan las pautas temporales de las necesidades de las FF. AA en relación con el uso

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

de los sistemas RPAS en el corto, medio y largo plazo, además de planificar y coordinar la obtención y desarrollo del material.

En materia de I+D+i el Ministerio de Defensa publicó a finales de 2015 la revisión de la ETID (Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa), que aspira a coordinar y orientar tecnológicamente a los diferentes actores tanto internos como externos al Ministerio de Defensa implicados en el desarrollo de la tecnología vinculada a las necesidades actuales y futuras de las FF. AA.

La Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa cuenta con un total de 79 metas tecnológicas relacionadas con la tecnología RPAS en los que concentran los esfuerzos en I+D+i. Entre ellos están:

- Desarrollo de plataformas aéreas de nueva generación. Estas plataformas aéreas militares incluyen sistemas RPAS de clase III.
- Desarrollo e investigación de tecnologías para sistemas RPAS militares de clase I y clase II.
- Desarrollo e investigación de tecnologías para la aviónica de plataformas aéreas tripuladas y no tripuladas con sistemas integrados y modulares.
- Desarrollo e investigación de tecnologías asociadas a sistemas de propulsión de plataformas aéreas.
- Desarrollo de sistemas necesarios para la integración de los RPAS en el espacio aéreo no segregado.
- Protección de bases e instalaciones terrestres, considerando los RPAS como principal amenaza.

## Anexo E

### Metodología AHP

El Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP) fue propuesto por el Profesor Thomas. L Saaty (1980), como respuesta a problemas concretos de toma de decisiones en el Departamento de Defensa de los EEUU, siendo actualmente un clásico en el mundo de la empresa donde se aplica en casi todos los ámbitos donde es necesario tomar una decisión de cierta complejidad.

El potencial del método, como distintos autores han evidenciado, se debe a que se adapta a distintas situaciones, su cálculo es sencillo por el software existente y puede utilizarse tanto individualmente como en grupo. En esencia, puede afirmarse que AHP es un método de selección de alternativas en función de una serie de criterios o variables, las cuales suelen estar en conflicto. Para ello, pondera tanto los criterios como las distintas alternativas utilizando las matrices de comparación pareadas y la Escala Fundamental para comparaciones por pares. [49]

Según Saaty, el proceso de decisión con AHP se puede descomponer en los siguientes 4 pasos esenciales o básicos: [50]

1. Definir los criterios de decisión en forma de objetivos jerárquicos. La jerarquización se estructura en diferentes niveles: iniciándose en el tope con la definición del objetivo principal del proceso de jerarquización, luego se definen los niveles intermedios (criterios y subcriterios a evaluar) y finalmente, en el nivel más bajo se describen las alternativas a ser comparadas.
2. Evaluar (pesar) los diferentes criterios, subcriterios y alternativas en función de su importancia correspondiente en cada nivel. Criterios cualitativos y cuantitativos pueden ser comparados usando juicios informales para obtener los pesos y las prioridades. Para criterios cualitativos, la técnica AHP utiliza simples comparaciones (pareadas) para determinar los pesos y evaluarlos. De esta forma el analista puede centrarse en sólo dos criterios al mismo tiempo. De hecho, la técnica AHP está basada en la suposición de que el analista puede de forma más fácil elegir un valor de comparación que un valor absoluto. Los juicios verbales son trasladados a una escala de puntuación (Ver Tabla 13). Posteriormente, en una matriz de juicios, un vector de prioridad es calculado y usado para pesar (comparar) los elementos de la matriz. Saaty, demuestra matemáticamente que el autovector normalizado calculado a partir de la matriz es la mejor aproximación de evaluación de los criterios analizados. En el caso de criterios cuantitativos, es necesario diseñar un método de priorización que permita cuantificar de forma consistente el peso de cada criterio a ser analizado.

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

3. La técnica AHP permite al analista evaluar la congruencia de los juicios con el radio de inconsistencia (IR). Antes de determinar una inconsistencia, es necesario estimar el índice de consistencia (CI) de una  $n \times n$  matriz de juicios, donde CI viene definido por:  
Donde  $\lambda_{\max}$  es el máximo autovalor de la matriz. De esta forma  $I_R$  es definido por:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$$

$$I_R = \frac{CI}{RI},$$

Donde RI es el valor aleatorio promedio de CI para una  $n \times n$  matriz. Los valores de RI son mostrados en la siguiente tabla

Los juicios pueden ser considerados aceptables si IR es inferior o igual a 0,1. En casos de inconsistencia, el proceso de evaluación para la matriz evaluada es inmediatamente

N	1	2	3	4	5	6	7
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35

Tabla 27. Valores de RI para matrices de diferentes órdenes. Fuente [50]

repetido. Inconsistencias superiores a 0,1 o más justifican una mayor investigación de los criterios evaluados.

4. Jerarquizar las alternativas y tomar las decisiones correspondientes. Para cada alternativa (opciones a jerarquizar), se calcula el nivel de preferencia (jerarquización) sobre una escala entre 0.0000 – 1.000, obteniéndose como resultados, alternativas jerarquizadas en función de los criterios de decisión evaluados.

## Anexo F

### Encuestas

En este anexo se muestran las encuestas realizadas tanto al personal experto como a personal perteneciente a la unidad de infantería mecanizada del Batallón ‘Lepanto’ del Regimiento ‘La Reina’ nº2. Además del cuestionario, se les adjuntaba una explicación de todos los subcriterios para que comprendieran correctamente cada uno de ellos.

Se presenta el C.A.C. Alejandro Pérez Garrido. Me pongo en contacto con usted en relación con el Trabajo Fin de Grado (TFG) que estoy realizando encuadrado en el “Grado en Ingeniería de Organización Industrial- perfil Defensa”, en el marco de la enseñanza militar de formación para la incorporación a la Escala de Oficiales del Cuerpo General del Ejército de Tierra.

El trabajo que estoy realizando “Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido” incluye una propuesta de adquisición de un micro-UAV para las unidades antes mencionadas. Para desarrollar esta parte del trabajo se va a aplicar un método multicriterio de apoyo a la toma de decisiones basado en la metodología AHP (“Analytic Hierarchy Process”). Esta metodología es ampliamente utilizada a día de hoy tanto en el ámbito científico como en el ámbito de la Defensa y Seguridad en procesos de adquisición de material.

Para la correcta implementación del método AHP es necesario establecer la prioridad entre distintos criterios y subcriterios que se han considerado relevantes para la selección de la mejor alternativa entre diferentes micro-UAV,s. Para la correcta valoración de cada criterio y subcriterio es fundamental contar con la colaboración de un grupo de expertos por lo cual le transmito mi deseo de contar con su inestimable colaboración.

El objeto de este cuestionario es establecer una comparativa entre los diferentes criterios y subcriterios. Siguiendo el método AHP esta comparativa ha de realizarse por pares de modo que el cuestionario consta de 5 partes diferentes: “Comparación de criterios”, “Comparación de los Subcriterios Físicos”, “Comparación de los Subcriterios Operativos”, “Comparación de los Subcriterios Formación” y “Comparación de los Subcriterios Logísticos”.

La realización del cuestionario ha de realizarse teniendo en cuenta que el material que queremos elegir se trata de un micro UAV (MAV, Micro Air Vehicle). Los MAV son aquellos UAV cuyo tamaño estándar está alrededor de los 50 cm y tienen un peso máximo de 2 kg, sin embargo, se van a analizar de igual manera los drones “mini” y otros UAV,s seleccionados.

A la hora de valorar los subcriterios, debemos tener en cuenta que nuestro producto debe ser el más adecuado para utilizar en misiones dentro de una unidad tipo pelotón mecanizado en un ambiente de combate híbrido.

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

En las siguientes páginas encontrará una guía de cómo llenar el cuestionario y una breve descripción de cada uno de los criterios y subcriterios.

Sin otro particular agradezco el tiempo que ha dedicado a mi trabajo y quedo a su disposición para lo que requiriese.

CAC D. Alejandro Pérez Garrido

Teléfono: 605108647

Mail: alexpgdr@gmail.com

**Instrucciones para llenar el cuestionario.**

Para llenar las tablas se deberá marcar con una “X” en la casilla que considere oportuna en función de qué criterio considere más importante. Si considera que los dos criterios/subcriterios tienen la misma importancia marque con una “X” ambas casillas. A continuación, en la última celda de cada fila debe indicar un valor de la siguiente escala:

Valor	Significado
1	Igual importancia.
3	Bastante más importante.
5	Mucho más importante.
7	Extremadamente más importante.

Por ejemplo:

Físico	Operativo	Valor
	x	7

En ese caso el entrevistado considera que el criterio “operativo” es extremadamente más importante que el criterio “físico”.

Físico	Operativo	Valor
x	x	1

En ese segundo caso el entrevistado considera que ambos criterios tienen la misma importancia.

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

Al final del documento podrá ver una descripción de todos los subcriterios que se están valorando en la encuesta.

Una vez realizadas las encuestas pueden enviarlas al siguiente correo electrónico:  
[alexpgrd@gmail.com](mailto:alexpgrd@gmail.com) .

Si surgiera cualquier duda mi número de teléfono es 605108647 y está disponible en todo momento. Agradezco enormemente su participación.

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

**Comparativa de criterios**

FÍSICO	OPERATIVO	VALOR

FÍSICO	FORMACIÓN	VALOR

FÍSICO	LOGÍSTICO	VALOR

OPERATIVO	FORMACIÓN	VALOR

OPERATIVO	LOGÍSTICO	VALOR

FORMACIÓN	LOGÍSTICO	VALOR

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAVs  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido**  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

**Comparativa de subcriterios dentro del criterio FÍSICOS**

DIMENSIONES	PESO	VALOR	DIMENSIONES	VELOCIDAD MÁXIMA	VALOR
DIMENSIONES	RESISTENCIA A CLIMATOLOGÍA ADVERSA	VALOR	DIMENSIONES	REISTENCIA A MEDIOS CONTRA-RPAS	VALOR
DIMENSIONES	RESISTENCIA ANTE COLISIÓN	VALOR	DIMENSIONES	TECHO DE VUELO	VALOR
DIMENSIONES	CAPACIDAD DE CARGA	VALOR	DIMENSIONES	TIPO DE MAV	VALOR
PESO	RESISTENCIA A CLIMATOLOGÍA ADVERSA	VALOR	PESO	REISTENCIA A MEDIOS CONTRA-RPAS	VALOR
PESO	RESISTENCIA ANTE COLISIÓN	VALOR	PESO	TECHO DE VUELO	VALOR
PESO	CAPACIDAD DE CARGA	VALOR	PESO	TIPO DE MAV	VALOR
PESO	VELOCIDAD MÁXIMA	VALOR			

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido**  
**TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

RESISTENCIA A CLIMATOLOGÍA ADVERSA	RESISTENCIA ANTE COLISIÓN	VALOR	RESISTENCIA A CLIMATOLOGÍA ADVERSA	RESISTENCIA A MEDIOS CONTRA-RPAS	VALOR
RESISTENCIA A CLIMATOLOGÍA ADVERSA	CAPACIDAD DE CARGA	VALOR	RESISTENCIA A CLIMATOLOGÍA ADVERSA	TECHO DE VUELO	VALOR
RESISTENCIA A CLIMATOLOGÍA ADVERSA	VELOCIDAD MÁXIMA	VALOR	RESISTENCIA A CLIMATOLOGÍA ADVERSA	TIPO DE MAV	VALOR
RESISTENCIA ANTE COLISIÓN	CAPACIDAD DE CARGA	VALOR	RESISTENCIA ANTE COLISIÓN	TECHO DE VUELO	VALOR
RESISTENCIA ANTE COLISIÓN	VELOCIDAD MÁXIMA	VALOR	RESISTENCIA ANTE COLISIÓN	TIPO DE MAV	VALOR
RESISTENCIA ANTE COLISIÓN	RESISTENCIA A MEDIOS CONTRA-RPAS	VALOR			
CAPACIDAD DE CARGA	VELOCIDAD MÁXIMA	VALOR	CAPACIDAD DE CARGA	TECHO DE VUELO	VALOR
CAPACIDAD DE CARGA	RESISTENCIA A MEDIOS CONTRA-RPAS	VALOR	CAPACIDAD DE CARGA	TIPO DE MAV	VALOR
VELOCIDAD MÁXIMA	RESISTENCIA A MEDIOS CONTRA-RPAS	VALOR	VELOCIDAD MÁXIMA	TECHO DE VUELO	VALOR
VELOCIDAD MÁXIMA	TIPO DE MAV	VALOR			

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

REISTENCIA A MEDIOS CONTRA-RPAS	TECHO DE VUELO	VALOR	REISTENCIA A MEDIOS CONTRA-RPAS	TIPO DE MAV	VALOR
TECHO DE VUELO	TIPO DE MAV	VALOR			

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAVs  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido**  
**TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

AUTONOMÍA DE BATERÍA	EQUIPO NECESARIO Y PESO	VALOR	AUTONOMÍA DE BATERÍA	TIEMPO DE LANZAMIENTO	VALOR
AUTONOMÍA DE BATERÍA	SIGILO Y FIRMA RADAR	VALOR	AUTONOMÍA DE BATERÍA	CAPACIDAD DE VUELOS AUTOMATIZADOS	VALOR
AUTONOMÍA DE BATERÍA	ALCANCE	VALOR	AUTONOMÍA DE BATERÍA	CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN A VEHÍCULO	VALOR
AUTONOMÍA DE BATERÍA	CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE CÁMARAS	VALOR	AUTONOMÍA DE BATERÍA	TIPO DE SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN	VALOR
AUTONOMÍA DE BATERÍA	PORCENTAJE DE FALLO	VALOR	AUTONOMÍA DE BATERÍA	SISTEMA DE LANZAMIENTO MANUAL Y ...	VALOR
AUTONOMÍA DE BATERÍA	CAPACIDAD DE OPERAR JUNTO A OTROS MAV	VALOR			
EQUIPO NECESARIO Y PESO	SIGILO Y FIRMA RADAR	VALOR	EQUIPO NECESARIO Y PESO	CAPACIDAD DE VUELOS AUTOMATIZADOS	VALOR
EQUIPO NECESARIO Y PESO	ALCANCE	VALOR	EQUIPO NECESARIO Y PESO	CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN A VEHÍCULO	VALOR
EQUIPO NECESARIO Y PESO	CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE CÁMARAS	VALOR	EQUIPO NECESARIO Y PESO	TIPO DE SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN	VALOR
EQUIPO NECESARIO Y PESO	PORCENTAJE DE FALLO	VALOR	EQUIPO NECESARIO Y PESO	SISTEMA DE LANZAMIENTO MANUAL Y ...	VALOR
EQUIPO NECESARIO Y PESO	TIEMPO DE LANZAMIENTO	VALOR	EQUIPO NECESARIO Y PESO	CAPACIDAD DE OPERAR JUNTO A OTROS MAV	VALOR

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

**Comparativa de subcriterios dentro del criterio OPERATIVO**

SIGILO Y FIRMA RADAR	ALCANCE	VALOR	SIGILO Y FIRMA RADAR	CAPACIDAD DE VUELOS AUTOMATIZADOS	VALOR
SIGILO Y FIRMA RADAR	CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE CÁMARAS	VALOR	SIGILO Y FIRMA RADAR	CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN A VEHÍCULO	VALOR
SIGILO Y FIRMA RADAR	PORCENTAJE DE FALLO	VALOR	SIGILO Y FIRMA RADAR	TIPO DE SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN	VALOR
SIGILO Y FIRMA RADAR	TIEMPO DE LANZAMIENTO	VALOR	SIGILO Y FIRMA RADAR	SISTEMA DE LANZAMIENTO MANUAL Y ...	VALOR
SIGILO Y FIRMA RADAR	CAPACIDAD DE OPERAR JUNTO A OTROS MAV	VALOR			
ALCANCE	CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE CÁMARAS	VALOR	ALCANCE	CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN A VEHÍCULO	VALOR
ALCANCE	PORCENTAJE DE FALLO	VALOR	ALCANCE	TIPO DE SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN	VALOR
ALCANCE	TIEMPO DE LANZAMIENTO	VALOR	ALCANCE	SISTEMA DE LANZAMIENTO MANUAL Y ...	VALOR
ALCANCE	CAPACIDAD DE VUELOS AUTOMATIZADOS	VALOR	ALCANCE	CAPACIDAD DE OPERAR JUNTO A OTROS MAV	VALOR

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAVs  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido**  
**TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE CÁMARAS	PORCENTAJE DE FALLO	VALOR	CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE CÁMARAS	CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN A VEHÍCULO	VALOR
CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE CÁMARAS	TIEMPO DE LANZAMIENTO	VALOR	CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE CÁMARAS	TIPO DE SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN	VALOR
CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE CÁMARAS	CAPACIDAD DE VUELOS AUTOMATIZADOS	VALOR	CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE CÁMARAS	SISTEMA DE LANZAMIENTO MANUAL Y ...	VALOR
CAPACIDAD DE CAPTACIÓN DE CÁMARAS	CAPACIDAD DE OPERAR JUNTO A OTROS MAV	VALOR			
PORCENTAJE DE FALLO	TIEMPO DE LANZAMIENTO	VALOR	PORCENTAJE DE FALLO	TIPO DE SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN	VALOR
PORCENTAJE DE FALLO	CAPACIDAD DE VUELOS AUTOMATIZADOS	VALOR	PORCENTAJE DE FALLO	SISTEMA DE LANZAMIENTO MANUAL Y ...	VALOR
PORCENTAJE DE FALLO	CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN A VEHÍCULO	VALOR	PORCENTAJE DE FALLO	CAPACIDAD DE OPERAR JUNTO A OTROS MAV	VALOR
TIEMPO DE LANZAMIENTO	CAPACIDAD DE VUELOS AUTOMATIZADOS	VALOR	TIEMPO DE LANZAMIENTO	TIPO DE SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN	VALOR
TIEMPO DE LANZAMIENTO	CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN A VEHÍCULO	VALOR	TIEMPO DE LANZAMIENTO	SISTEMA DE LANZAMIENTO MANUAL Y ...	VALOR
TIEMPO DE LANZAMIENTO	CAPACIDAD DE OPERAR JUNTO A OTROS MAV	VALOR			

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido**  
**TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

CAPACIDAD DE VUELOS AUTOMATIZADOS	CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN A VEHÍCULO	VALOR	CAPACIDAD DE VUELOS AUTOMATIZADOS	SISTEMA DE LANZAMIENTO MANUAL Y ...	VALOR
CAPACIDAD DE VUELOS AUTOMATIZADOS	TIPO DE SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN	VALOR	CAPACIDAD DE VUELOS AUTOMATIZADOS	CAPACIDAD DE OPERAR JUNTO A OTROS MAV	VALOR
CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN A VEHÍCULO	TIPO DE SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN	VALOR	CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN A VEHÍCULO	SISTEMA DE LANZAMIENTO MANUAL Y ...	VALOR
CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN A VEHÍCULO	CAPACIDAD DE OPERAR JUNTO A OTROS MAV	VALOR			
TIPO DE SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN	SISTEMA DE LANZAMIENTO MANUAL Y ...	VALOR	TIPO DE SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN	CAPACIDAD DE OPERAR JUNTO A OTROS MAV	VALOR
SISTEMA DE LANZAMIENTO MANUAL Y ...	CAPACIDAD DE OPERAR JUNTO A OTROS MAV	VALOR			

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

**Comparativa de subcriterios dentro del criterio FORMACIÓN**

DIFICULTAD DE LA INSTRUCCIÓN INDIVIDUAL	POSIBILIDAD DE FORMACIÓN EN LAS UCO,S	VALOR	DIFICULTAD DE LA INSTRUCCIÓN INDIVIDUAL	CAPACIDAD DE SIMULACIÓN	VALOR
DIFICULTAD DE LA INSTRUCCIÓN INDIVIDUAL	TIEMPO NECESARIO PARA LA FORMACIÓN	VALOR	DIFICULTAD DE LA INSTRUCCIÓN INDIVIDUAL	COSTE DE FORMACIÓN	VALOR
DIFICULTAD DE LA INSTRUCCIÓN INDIVIDUAL	NIVEL DE PREPARACION PREVIO NECESARIO	VALOR			
POSIBILIDAD DE FORMACIÓN EN LAS UCO,S	TIEMPO NECESARIO PARA LA FORMACIÓN	VALOR	POSIBILIDAD DE FORMACIÓN EN LAS UCO,S	CAPACIDAD DE SIMULACIÓN	VALOR
POSIBILIDAD DE FORMACIÓN EN LAS UCO,S	NIVEL DE PREPARACION PREVIO NECESARIO	VALOR	POSIBILIDAD DE FORMACIÓN EN LAS UCO,S	COSTE DE FORMACIÓN	VALOR
TIEMPO NECESARIO PARA LA FORMACIÓN	NIVEL DE PREPARACION PREVIO NECESARIO	VALOR	TIEMPO NECESARIO PARA LA FORMACIÓN	COSTE DE FORMACIÓN	VALOR
TIEMPO NECESARIO PARA LA FORMACIÓN	CAPACIDAD DE SIMULACIÓN	VALOR			
NIVEL DE PREPARACION PREVIO NECESARIO	CAPACIDAD DE SIMULACIÓN	VALOR	NIVEL DE PREPARACION PREVIO NECESARIO	COSTE DE FORMACIÓN	VALOR
CAPACIDAD DE SIMULACIÓN	COSTE DE FORMACIÓN	VALOR			

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

**Comparativa de subcriterios dentro del criterio LOGÍSTICOS**

COSTE DE ADQUISICIÓN	REQUERIMIENTOS DE ALMACENAJE	VALOR

COSTE DE ADQUISICIÓN	COSTE DE ALMACENAJE	VALOR

COSTE DE ADQUISICIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO NECESARIO	VALOR

COSTE DE ADQUISICIÓN	CAPACIDAD DE RECAMBIO	VALOR

REQUERIMIENTOS DE ALMACENAJE	COSTE DE MANTENIMIENTO NECESARIO	VALOR

REQUERIMIENTOS DE ALMACENAJE	CAPACIDAD DE RECAMBIO	VALOR

REQUERIMIENTOS DE ALMACENAJE	COSTE DE ALMACENAJE	VALOR

COSTE DE MANTENIMIENTO NECESARIO	COSTE DE ALMACENAJE	VALOR

COSTE DE MANTENIMIENTO NECESARIO	COSTE DE ALMACENAJE	VALOR

COSTE DE MANTENIMIENTO NECESARIO	CAPACIDAD DE RECAMBIO	VALOR

COSTE DE ALMACENAJE	CAPACIDAD DE RECAMBIO	VALOR

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

**Sección de comentarios:**

A continuación, en el siguiente espacio en blanco puede escribir alguna observación sobre cualquiera de los criterios sobre los que ha valorado para concretar algo que considere importante:

*(Escriba aquí su comentario)*

Nombre y apellidos:

Titulación o experiencia en UAV,s / drones :

## Anexo G

### Informe pruebas Huginn-X1

**INFORME QUE FORMULA EL TENIENTE DE INFANTERÍA XXXXXXXXX, CON DNI XXXXXXXX , JEFE DE LA SECCIÓN DE ARMAS DE APOYO DE XXXXXXXX, PERTENECIENTE XXXXXX DE LA LEGIÓN.**

#### **1. REFERENCIAS**

- Manual “Huginn X-1”.
- Curso piloto RPAS DUO tipo 1.
- Curso de capacitación piloto Huginn X-1.

#### **2. IDENTIFICACIÓN**

- a) Unidad de experimentación: XXXXXXXXX
- b) Jefe de proyecto: Tte. XXXXXXXX
- c) Dirección técnica/ asesoramiento: Cabo 1º XXXXXXXXX
- d) Unidades Participantes: XXXXXXXX

#### **3. OBJETO DE LA EXPERIMENTACIÓN**

Informar sobre las capacidades técnicas y las posibilidades de empleo táctico que ofrece el micro UAV “*Huginn X-1*”, en el marco operativo de una unidad de entidad tipo S/GCEXP.

#### **4. MATERIAL DE EXPERIMENTACIÓN Y PRESUPUESTO**

Un sistema micro UAV Huginn X1 compuesto por:

- Tablet de control de pilotaje.
- Dos micro UAV Huginn X1.
- Dos visores diurno/térmico.
- Diez baterías.
- Una estación de tierra.
- Tablet auxiliar para visionado de imagen.
- Mochila de transporte.

Todo el material que se usó para la experimentación procedía de otra unidad, siendo este de segundo uso.

No se cuenta con ningún crédito específico para la experimentación del citado medio.

#### **5. PROTOCOLO DE PRUEBAS**

Se ha realizado una fase de pruebas en la que se han llevado a cabo dos tareas principales:

1. **Experimentación de capacidades técnicas:** Se ha contado con el apoyo del Cabo Primero XXXXXXXX con DNI XXXXXX, piloto titulado de RPAS DUO Tipo I y acreditado por la empresa E&Q Enginnering para el manejo del sistema Huginn X1. Durante toda la fase, el Cabo Primero ha sido el responsable del manejo y control del sistema, así como de su mantenimiento. Obteniendo éste, las LLAA referentes a las capacidades técnicas suscritas en este informe.

2. **Experimentación de empleo táctico**, en la que se han realizado ejercicios con diferentes unidades pertenecientes a la XXXXX, en el marco del S/GT, tanto en ambiente convencional como en ejercicios enfocados a misiones de estabilización.

##### Línea temporal:

- 08FEB19 - Se recepciona el sistema.

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

- De 11FEB19 a 17FEB19 se despliega en el ejercicio XXXXX en el que se toma contacto con el sistema, pero no se pueden realizar prácticas de vuelo debido al intenso viento.
- De 18FEB19 a 21FEB19 se realizan los primeros vuelos en CTyM “Álvarez de Sotomayor”, con visor diurno y en observación directa.
- De 04MAR19 a 07MAR19 se realizan vuelos tanto en observación directa como vuelos sin contacto visual sobre el sistema, todos en ambiente diurno probando la cámara de visión térmica y la pantalla auxiliar.
- De 11MAR19 al 15MAR19 se despliega en el ejercicio tipo ALFA, XXXXX en el que se integra el sistema en ejercicios de entidad Sección en ambiente diurno y se prueba la Cámara térmica en ambiente nocturno.
- De 18MAR19 al 21MAR19 se integra el sistema en ejercicios tipo Sección en ambiente diurno en Zonas Urbanizadas en el CTyM “Álvarez de Sotomayor”.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Capacidades técnicas

Habiendo finalizado la fase de prueba, se ha comprobado que el sistema “Huginn X-1”, tiene las siguientes capacidades:

**Techo máximo:** 500 metros (Se recomienda volar en instrucción a una altura máxima de 100 metros, hacerlo a una altura superior, la empresa no garantiza el aterrizaje automático con seguridad y por tanto se reserva el derecho de anular la garantía de la aeronave)

**Alcance máximo en visión directa:** 1 Km (Comprobado en vuelo)

**Alcance máximo señal de video:** 2 Km

**Autonomía:** Un máximo de 25 minutos, conteniendo el sistema 11 baterías de diferente autonomía variando entre 15 y 20 minutos dependiendo de la batería. Esto último es debido, supuestamente, al empleo previo del sistema por parte de otras unidades del ET y el desgaste que esto ocasiona.

**Características del Hardware:**

**UAV:**

- Los materiales de la carcasa y las patas debido a su extrema delicadeza no son los óptimos para un uso militar.

- El ruido que realiza el aparato en vuelo es excesivamente elevado para pasar desapercibido aun teniéndolo a gran altura.

- Al ser un aparato de muy poco peso, el factor viento le afecta, pudiendo incluso provocar la caída del aparato. Esto hace que su empleo y capacidades dependan en gran medida de unas condiciones atmosféricas óptimas. Por otro lado, el sistema tiene la capacidad de realizar vuelo en condiciones de lluvia.

**Tablet:**

- La pantalla no está protegida siendo muy vulnerable a cualquier tipo de golpe.

**Manejabilidad del Software:**

1. Uso y funciones:

- El sistema consta de tres programas:

Programa de navegación, que dispone de diversas funciones

de gran utilidad descritas posteriormente. Este programa es de fácil accesibilidad y empleo intuitivo.

Programa de gestión de video y fotografías.

Programa de actualizaciones.

2. Carga de mapas:

-Se realiza a través del Programa “Google Earth” y para ello se necesita conexión a internet. Una vez conectado, puede recortar una zona y trabajar sobre ella *Off-line*. O también, mediante cualquier archivo con formato “.kmp”.

3. Deficiencias en el programa de navegación:

- Durante la fase de pruebas se ha detectado que el software de navegación daba errores a la hora de su utilización. Consultado al personal de la empresa fabricante, se recomienda su re-instalación.

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

**Opciones de Vídeo:**

1. Cámaras:

-Diurna, con aumentos de zoom óptico de 1x a 10x.  
-Nocturna, cámara térmica con 9 capas diferentes para diferenciar firmas térmicas. Esta cámara tiene un único zoom y su visión en ambiente diurno, debido a la escasa diferencia de firma térmica entre los diferentes objetos sobre el terreno, tiene muy poca calidad. Para poder distinguir a un ser humano de pie, el UAV ha de estar volando a menos de 50 metros de altitud. En cambio, en el marco nocturno, especialmente si la temperatura ambiente es baja, la calidad de la imagen es muy buena, siendo incluso mejor que la del visor diurno.

2. Opciones de Imagen:

- Fotografía: Durante la fase de vuelo, el operador tiene la capacidad de obtener fotografías georreferenciadas de un objetivo.  
- Video: Durante la fase de vuelo se pueden realizar todas las grabaciones que se estimen oportunas, desde su despegue hasta su aterrizaje, no siendo el almacenaje de las imágenes un factor limitante. Debido a que los datos obtenidos se pueden almacenar tanto en la tarjeta SD incorporada en la carga de pago, como en la memoria del PC o Tablet que se utilice para la navegación.

**Funciones para el empleo:**

1. “*Home*” o vuelta al punto de despegue. Esta función es automática y el operador puede cambiar en vuelo el punto al que el sistema se acoja como “*Home*”.
2. “*Autoland*”, se puede hacer tanto con el mando manual como con el botón en la pantalla de la tablet. Esta función realiza el aterrizaje de forma automática.
3. “*Despegue*”. Se puede realizar desde la propia pantalla del navegador, así como con el mando de navegación manual. Siendo la primera opción la más recomendable, debido a que antes del despegue, se pueden modificar algunos parámetros como la altura y el tiempo que tarda en despegar (Se utiliza para poder despegarlo con la mano).
4. “*Follow me*”, esta función hace que el R-PAS a la altura marcada siga a la estación de tierra de forma automática. No pudiendo superar velocidades de más de 20 Km/H.
5. “*Botón grabado de video*”. Botón para iniciar grabación de imágenes, esta opción se puede pre-seleccionar en el apartado de herramientas, para que se ejecute de forma automática.
6. “*Botón de fotografía*”. Pulsando este botón se obtiene una imagen del centro de la pantalla de video. Las coordenadas reflejadas en la fotografía obtenida no son del centro de la imagen, sino la posición en las que se encuentra la aeronave en ese instante.
7. “*Barra de Zoom*”. Zoom óptico que va de 1x a 10x aumentos, este zoom solo se puede usar con cámara diurna. En modo cámara nocturna solo permite un único aumento.
8. “*Calibrado cámara*”. Esta opción solo aparece cuando se selecciona la cámara nocturna y realiza un calibrado de la imagen, ajustando la máxima definición posible. Durante el vuelo es frecuente tener que realizar más de un calibrado.
9. “*POI (Punto de interés)*”. Con esta opción podemos designar una serie de puntos en el mapa, que nos va a permitir enviar a la aeronave cuando se considere oportuno y realizar una observación. Quedándose aproximadamente a 40 metros de distancia del punto y a la altura que se hay determinado, siendo esta modificable en cualquier momento.
10. “*POI editable*”. Igual que el punto anterior, pero esta opción permite editar las coordenadas antes de iniciar el vuelo.
11. “*Waypoints*”. Permite designar diferentes puntos en el mapa creando una ruta de navegación.
12. “*Mapeado*”. Esta opción permite mapear un área determinada del terreno obteniendo imágenes georreferenciadas. Cuando se ejecuta, la aeronave entra en modo automático y no es posible modificar ningún parámetro. Las imágenes obtenidas, tienen que ser tratadas con un programa (No incluido) para poder realizar su composición.
13. “*Delimitación de área*”. Esta opción permite delimitar en el mapa un área determinada, la cual no nos permitirá sacar la aeronave de esa zona a no ser que se anule esta opción.
14. “*Carga de mapas*”. El programa de navegación permite cargar varios tipos de mapas georreferenciados, aceptando solo algunos tipos formatos.

**Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido**

15. “Shut-down”, esta función hace que el motor pare al instante independientemente de que esté en vuelo o no.

16. Barra de altitud, está función permite regular de forma exacta la altitud de vuelo, teniendo en cuenta que el sistema toma de referencia como “punto 0”, el punto de despegue

\* Las capacidades técnicas anteriormente descritas reflejan aquellas que se han determinado como de interés para el empleo táctico del sistema, para mayor información consultar el manual del empleo del sistema.

## **7. CONCLUSIONES**

Durante la fase de prueba se han realizado las siguientes prácticas:

- Vuelos mediante waypoints predefinidos, se establece una serie de puntos y la aeronave inicia la ruta establecida.

- Seguimiento a unidades propias en combate urbano.

- Adquisición de objetivos mediante fotografía y coordenadas.

- “Follow me” en movimiento con vehículo.

- Mapeado de posiciones, esta función permite obtener un ortofotomap georreferenciado de un área marcada.

- Reconocimiento de un punto, en esta función se le marca sobre el plano descargado en la tablet un punto determinado y el UAV se moverá de forma automática hasta tener observación sobre dicho punto (no se sitúa encima del punto si no que centra el punto marcado sobre el eje coaxial de la cámara de video).

- Reconocimiento de área, en esta función se le marcan sobre el plano descargado en la tablet varios puntos y el UAV se moverá de forma automática de uno a otro teniendo observación sobre dicha zona.

### Ejercicios

□ Ejercicio de doble acción en ambiente diurno de reconocimiento a objetivo aislado en apoyo a una Sección de Infantería Ligera desembarcada durante el reconocimiento de combate previo al asalto.

Conclusión:

1. Si se vuela a baja cota (menos de 150m) el ruido del UAV en vuelo hace que se pierda la sorpresa en cuanto se tiene observación sobre el objetivo.

2. La reducida capacidad de captar señal de las antenas de la pantalla auxiliar, obligan al Jefe de Sección a estar en la línea de visión directa del aparato en el momento del despegue. Por lo que para garantizar la posibilidad de volar y de tener imagen de video en la pantalla auxiliar el piloto ha de situarse en el momento del vuelo próximo al Jefe de Sección.

□ Ejercicio de doble acción en ambiente diurno de Force Protection durante KLE en zona urbana en apoyo a una Sección de Infantería Ligera desembarcada.

Conclusión:

1. El aumento en la capacidad de observación y por tanto en la seguridad del dispositivo es notable.

2. Los tiempos de despliegue del sistema, son adecuados para este tipo de operaciones siempre y cuando no exista urgencia debido a tener unidades en contacto.

3. Una vez perdida la iniciativa, los tiempos de empleo y las necesidades de despliegue y toma hacen que se reduzca su capacidad de empleo en gran medida.

4. Debido al reducido despliegue que adopta la unidad en este supuesto táctico, el sistema no presenta grandes problemas de operabilidad.

5. Debido a las limitaciones de viento que presenta el UAV, el planeamiento de cualquier operativo ha de dejar siempre en un segundo plano la información obtenida por este medio como elemento sobre el que gire el diseño de la operación.

□ Ejercicio de doble acción en ambiente diurno en zona urbana en apoyo a una Sección de Infantería Ligera realizando una limpieza sistemática sobre una

Análisis, estudio y posibilidades que aporta el uso de micro-UAV,s  
en unidades tipo pelotón mecanizado en combate híbrido  
TFG C.A.C. D. Alejandro Pérez Garrido

DATC.

Conclusión:

1. El empleo del UAV en el reconocimiento previo al asalto al lindero de la población es de mucha utilidad para identificar el mejor punto de entrada al PFTE y localizar posibles movimientos a vanguardia.
2. La observación que ofrece el sistema en una operación de este tipo es una gran ayuda para complementar el proceso de toma de decisiones durante la fase de conducción así como aumenta la capacidad de adquisición de objetivos y favorece la coordinación de apoyos de fuego.
3. La mayor dificultad que ofrece el empleo del sistema en zona urbana es la dificultad en la recuperación del aparato cada vez que hay que realizar un cambio de batería. 4. En población con edificaciones de varias alturas es necesario volar a gran altura perdiendo así calidad de imagen para asegurar que no se colisiona con ningún edificio.

- Ejercicio de fuego real en ambiente diurno en apoyo a una Compañía de Infantería Ligera realizando un ataque a una POSDEF.
1. El empleo del UAV en el reconocimiento previo al asalto permite localizar y obtener coordenadas los HPT,s.
  2. Permite realizar un reconocimiento del itinerario a cubierto de las vistas de la POSDEF enemiga en busca de elementos enemigos de su sistema de alerta temprana, tipo P.O,s.
  3. Permite evaluar los efectos conseguidos por los fuegos indirectos durante la preparación.

Impresión personal

Habiendo finalizado la fase de pruebas, las conclusiones generales que se obtienen son las siguientes:

1. Un sistema de estas capacidades, se evalúa que como máximo pudiera emplearse como capacitador del escalón S/GT en casos muy determinados, alcanzando su máximo potencial en el empleo al apoyo de unidades de entidad tipo Sección, debido a sus limitaciones en alcance y tiempo de despliegue.
2. La integración de sistemas de obtención de información no tripulados tipo Micro UAV, dentro de la orgánica de las Secciones de primer escalón del S/GT se considera un gran avance técnico y una mejora sustancial en sus capacidades. De hecho, se considera que el empleo de medios de esta índole será, en un futuro próximo, imprescindible en apoyo a operaciones en toda la amplitud del espectro, desde un ataque premeditado a una posición defensiva en combate convencional, hasta el apoyo durante el reconocimiento de un *hospot* durante una operación de limpieza de itinerario en un marco operacional de estabilización, pasando por su integración en cualquiera de las posibles tareas que implica la *Force Protection*, tan en uso en la actualidad.
3. Se considera que el factor clave para la implantación de un sistema de este tipo en la orgánica de una sección de fusiles, es la rapidez de despliegue que ofrezca el sistema, y, sobre todo, la sencilla manejabilidad del software. Reduciendo, los requisitos y la formación de los pilotos para así eliminar la dependencia a nivel personal, que existe actualmente, detener en plantilla pilotos con titulación oficial. En otras palabras, cuanto más sencillo sea tener operadores del sistema, más uso efectivo se le podrá dar al mismo.
4. A pesar de la gran ventaja táctica que un sistema de características similares aportaría a las unidades y de que tras las jornadas de actualización recibidas, se estima que el micro UAV “*Huginn X-1*” cumple los requisitos mínimos para ser implantado en unidades tipo S/GT de Infantería Ligera. Se considera que el sistema tiene un amplio rango de mejora hasta las condiciones deseable en materia de: sencillez en la operabilidad, resistencia de los materiales, y carencia de cadena logística.

Todo lo que pongo en su conocimiento para los efectos que considere oportunos.  
En Viator a 27 de Mayo de 2019

XXXXXX