

Trabajo Fin de Grado

Plataformas Aéreas No Tripuladas en los Batallones
de Infantería. Estudio de vulnerabilidades y
soluciones tácticas y técnicas.

Autor

CAC D. Santiago Herráez González

Directores

Dr. D. Alejandro Rafael Mosteo Chagoyen
Cap. D. Francisco de Borja Aguado Giménez

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
Año 2019

Abstract

Aviation has taken up a big importance in the improvement of armed conflicts since its beginning. However, unmanned aerial vehicles were used in the first time during Second World War. But it has been for the last years when a worthy of consideration implication has been observed in the development of operations, which on the other hand has also caused the improvement of neutralization methods.

In this context, it has sought to identify some improvements in the RPAS from Infantry Battalion, which is UAV RAVEN RQ-11B nowadays, regarding its electromagnetic susceptibilities and threats. These improvements have been focused on two different aspects, on the one hand the technical improvements and on the other hand the tactical improvements. The first ones have been got with an Analytic Hierarchy Process, whose alternatives have been selected through a Brainstorming process composed of several experts on the subject, while the selection criteria through a survey done for 35 soldiers. With respect to the tactical improvements, a total of three have been contemplated with the same group of experts named previously, moreover in two of them some mathematical tools have been used to do a profound investigation about their viability.

Finally, once all the processes that have been carried out for the investigation are finished, a series of proposals for both technical and tactical improvements have been got, which are guaranteed with the mathematical methods analyzed for its decision.

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer todo el apoyo e interés mostrado por los tutores que dirigieron este TFG. El capitán D. Francisco de Borja Aguado Jiménez quien fue mi director militar y desde el primer momento de mi incorporación al Regimiento "La Reina" 2 para realizar las prácticas externas, me facilitó información referente al tema y los contactos del personal destinado en la unidad que me podrían ser de utilidad, así como su sentido interés por mi bienestar y satisfacción durante mi estancia allí. El doctor D. Alejandro Rafael Mosteo Chagoyen quien fue mi director académico y mostró desde un principio una gran profesionalidad e interés por mi trabajo mediante vía mail en el periodo de prácticas, y en tutorías presenciales durante las dos últimas semanas en la AGM.

En segundo lugar quería agradecer al equipo UAV del Batallón Lepanto, liderado por el Sargento 1º Yago Moreno Carrasco, quién ha sido mi principal fuente de información y se ha volcado desde el primer momento que le comenté mi circunstancia, permitiéndome incluso asistir a una práctica de empleo del UAV RAVEN RQ-11B que se llevó a cabo en el campo de maniobras Cerro Muriano como preparación para la misión de Presencia Avanzada Reforzada-Letonia, donde desplegarán el próximo mes de enero del año 2020 hasta la conclusión de la misma, 6 meses después, cuando realizarán el relevo con otra unidad del Ejército Español y comenzarán su tan merecido regreso a casa.

Por último quería agradecer a todas aquellas personas que en algún momento trataron de ayudarme con este trabajo o en la superación de los 4 años de formación en la Academia General Militar, así como a todo aquel que contribuye orgulloso y con entusiasmo en la formación de los futuros oficiales del Ejército de Tierra. También, un especial agradecimiento a mi familia y amigos.

Índice

Abstract	i
Agradecimientos	iii
Índice de ilustraciones.....	vii
Índice de tablas	ix
Lista de Acrónimos.....	xi
Capítulo I. Introducción	1
1.1. Ámbito de aplicación.....	1
1.2. Objetivos y alcance del trabajo.....	2
1.3. Estructura de la memoria.....	3
Capítulo II. Antecedentes	4
2.1. Definición y clasificación de los RPAS.	5
Capítulo III. Análisis de la situación.....	7
3.1. RPAS en los Batallones de Infantería.....	7
3.2. Orgánica del equipo mini UAV-RAVEN B	10
3.3. Procesos de detección, seguimiento y neutralización.....	11
3.4. Necesidades identificadas	15
Capítulo IV. Propuestas de mejora	16
4.1. Mejoras técnicas	16
4.1.1. Representación del problema.....	16
4.1.2. Evaluación de los criterios.....	18
4.1.3. Evaluación de las alternativas.....	19
4.1.4. Jerarquización de las alternativas y toma de decisiones.....	20
4.2. Mejoras tácticas	21
4.2.1. Incorporación del equipo UAV a una unidad orgánica del batallón	22
4.2.2. Instrucción nocturna	24
4.2.3. Creación de un soporte vehicular para la GCS.....	25
Capítulo V. Conclusiones	28
Anexos.....	xiii
Anexo I Cuestionarios.....	xv

Anexo II QFD	xviii
Anexo III Análisis de riesgos.....	xix
Bibliografía.....	xx

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Organigrama Brigada "Guzmán el Bueno" X	1
Ilustración 2 Lanzamiento de RAVEN RQ-11B	9
Ilustración 3 OV empleando el controlador manual (izda) y GCS (dcha)	10

Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación de RPAS adoptada en España	6
Tabla 2 Sistemas RPAS Clase I.....	8
Tabla 3 Vida operativa de los RPAS Clase I.....	8
Tabla 4 Escala de comparación Saaty	18
Tabla 5 Resultados del cuestionario 3	19
Tabla 6 Matriz comparación por pares	19
Tabla 7 Matriz de conrontación del criterio precio	20
Tabla 8 Matriz de confrontación del criterio ruido.....	20
Tabla 9 Matriz de confrontación del criterio operatividad	20
Tabla 10 Matriz de decisión	21
Tabla 11 Análisis DAFO de la Sección de Reconocimiento.....	23
Tabla 12 Análisis DAFO de la Compañía de Fusiles.....	23
Tabla 13 Niveles de riesgo	27

Lista de Acrónimos

- AHP -- Analytic Hierarchy Process
- Dcha -- Derecha
- ECM -- Electronic Counter Measures
- EO -- Electro-Optical
- ESM -- Electronic Support Measures
- ET -- Ejército de Tierra
- ETC -- Etcétera
- FAS -- Fuerzas Armadas
- GCS -- Ground Control Station
- HPEM -- High Power Electromagnetic
- HPM -- High Power Microwave
- IR -- Infrared
- ISTAR -- Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance
- Izda -- Izquierda
- JCGUA -- Joint Capability Group on UA/UAS
- MI -- Ministerio del Interior
- MINISDEF -- Ministerio de Defensa
- OACI -- Organización de Aviación Civil Internacional
- OM -- Operador de misión
- OTAN -- Organización del Tratado del Atlántico Norte
- OV -- Operador de vuelo
- QFD -- Quality Function Deployment
- RCS -- Radar Cross Section
- RI -- Radio de Inconsistencia
- RPA -- Remotely Piloted Aircraft
- RPAS -- Remotely Piloted Aircraft System
- SAM -- Surface to Air Missile
- SHORAD -- Defensa Antiaérea de Corto Alcance
- TFG -- Trabajo Fin de Grado

UAV -- Unmanned Aerial Vehicle

VSHORAD -- Defensa Antiaérea de Muy Corto Alcance

Capítulo I. Introducción

Para el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado (TFG) se han aprovechado las prácticas externas del autor del mismo. Dichas prácticas se han llevado a cabo en la Brigada "Guzmán el Bueno" X, la cual tiene un gran porcentaje de su personal situado en la plaza de Córdoba, y además cuenta con el Regimiento de Infantería "Garellano" 45 establecido en Bizkaia. El citado autor ha estado en Córdoba adjunto al Regimiento "La Reina" 2, el cual está compuesto por dos batallones, el Batallón Princesa y el Batallón Lepanto, siendo este primero su batallón y más concretamente la 4ª Compañía de Mando y Apoyo. Ha sido fundamental para la realización del TFG su estancia durante las prácticas en esta unidad, ya que le ha permitido recoger información tanto por escrito como mediante los conocimientos de profesionales en el ámbito de UAV pertenecientes a dicha unidad.

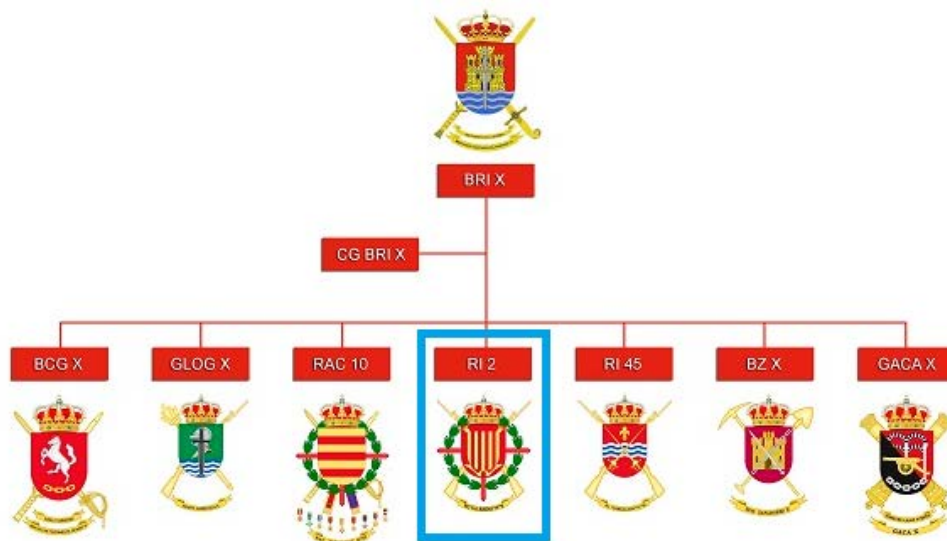


Ilustración 1 Organigrama Brigada "Guzmán el Bueno" X¹

1.1. Ámbito de aplicación

En la actualidad, las Fuerzas Armadas Españolas (FAS) tienen la obligación de estar instruidas y adiestradas para combatir en todo el espectro del conflicto², sin saber en qué momento o circunstancias serán requeridas para el combate. Además, la existencia de múltiples escenarios de conflicto dificulta dicha instrucción y adiestramiento debido a la variada naturaleza o diversas estructuras políticas y sociales. Durante el comienzo del año 2019 se encontraban 2.510 militares españoles

¹ Fuente: Pagina Web Oficial del Ministerio de Defensa. Disponible en: http://www.ejercito.mde.es/unidades/Cordoba/brimzx_guzmanelbueno/Organizacion/index.html

² El espectro del conflicto nos ayuda a categorizar una operación en función de su violencia. Existen varias fases: paz, crisis, conflicto armado y guerra.

desplegados en un total de 15 operaciones, destacando Líbano e Irak donde se hallaban más de medio millar de militares.[1]

En los últimos años quizás se haya notado un considerable aumento en la importancia de la opinión pública sobre los objetivos militares en operaciones y sobre todo también respecto a los medios llevados a cabo para alcanzar dichos objetivos. Es por ello, que las FAS se han visto obligadas a modificar y perfeccionar sus métodos de planeamiento y ejecución en las unidades desplegadas en misiones. Uno de los principales objetivos a conseguir que se exigía era que el número de bajas propias fuera nulo. Es entonces, cuando los RPAS alcanzan su máxima consideración ya que sus operaciones o cometidos poseen múltiples similitudes respecto a las de las aeronaves convencionales, pero con la notable diferencia de evitar el riesgo excesivo para la vida del piloto.

Los RPAS tienen la capacidad para realizar diversos cometidos, prueba de ello es la participación de equipos RPAS en varias misiones que está llevando a cabo el Ejército Español en el extranjero. También, tiene la posibilidad de actuar de manera individual o colectiva con la fuerza terrestre, lo cual es un apoyo realmente útil y que en muchas ocasiones sirve además de para obtener la información que se requiera para impulsar una motivación y cierto grado de tranquilidad a dicha fuerza terrestre, lo cual volviendo a la importancia de procurar la inexistencia de bajas propias es un sistema notablemente importante.

Sin embargo, al igual que los RPAS han ofrecido una importante evolución con el paso del tiempo, las medidas de detección y neutralización de estas plataformas también han ido perfeccionándose. Actualmente, se emplean múltiples acciones contra los Drones de uso militar que se han detallado en este contexto, pero se han desarrollado y tratado de una manera más profunda las contramedidas electrónicas, las cuales son realmente eficaces contra los RPAS.

1.2. Objetivos y alcance del trabajo

El principal objetivo del presente TFG es la búsqueda de soluciones tácticas y técnicas de los RPAS empleados en los Batallones de Infantería contra las vulnerabilidades electromagnéticas. Para alcanzar dicho objetivo se han realizado una serie de acciones que se reflejan en los siguientes párrafos:

En primer lugar, se ha recopilado información relativa a la problemática posible, mediante la cual se han identificado las principales debilidades de los RPAS sobre el ámbito electromagnético.

Una vez conocidos los métodos de neutralización electrónica sobre estas aeronaves no tripuladas, se ha desarrollado el Método de Jerarquización Analítica (AHP)[2] para poder decidir qué posibles soluciones técnicas serían las más eficientes y eficaces en función de varios criterios. Durante el desarrollo de este análisis matemático se ha contado con la ayuda de un grupo de expertos en la materia pertenecientes a la

Brigada "Guzmán el Bueno", y la realización de encuestas con un tamaño de muestra de 35 militares encuadrados en el Regimiento "La Reina".

Posteriormente, se han planteado dos variaciones en la instrucción táctica que se desarrolla actualmente para buscar una mayor protección frente a las amenazas estudiadas en este contexto, donde una de esas variaciones ha sido incorporar el equipo RPAS en una unidad orgánica del batallón y para decidir cuál sería la más adecuada se realizó un análisis DAFO.[3] La otra variación ha sido prestar una mayor importancia a la instrucción nocturna, puesto que las medidas de neutralización sufren ciertas dificultades para alcanzar su objetivo durante la noche, por lo tanto el empleo de RPAS en esa franja horaria logra cierta ventaja.

Finalmente, se ha propuesto la fabricación de un soporte para la estación de control de tierra (GCS) sobre vehículo y para estudiar su viabilidad como proyecto se han desarrollado las siguientes herramientas: una gestión de calidad[4] para definir qué aspectos y necesidades han sido de mayor interés, así como los métodos de aplicación necesarios para alcanzar dichos aspectos, y por otro lado, un análisis de riesgos[5] con la finalidad de definir los procesos o imprevistos que podrían perjudicar el desarrollo del proyecto.

1.3. Estructura de la memoria

La siguiente memoria se ha estructurado en cinco capítulos y Anexos, los cuales se desarrollan a continuación de manera individual:

- El **primer capítulo** aporta una introducción al trabajo para dotar al lector de una visión concreta del contexto sobre el que trata el resto de la memoria. Además, expone los objetivos y el alcance del trabajo que se desarrolla durante el mismo.

- El **segundo capítulo** aborda de manera general los inicios de empleo de los RPAS, así como su evolución frente a las distintas vulnerabilidades y amenazas que han ido apareciendo con el paso de los años. También incluye una clasificación detallada sobre los RPAS y su definición.

- En el **tercer capítulo** se lleva a cabo un análisis de la situación donde se expone el modelo de RPAS empleado en los Batallones de Infantería, así como sus detalles más característicos y la orgánica del equipo que lo compone. Seguidamente se efectúa una investigación sobre el problema al que se encuentra orientado el TFG y para concluir se exponen las necesidades detectadas, sobre las que se orientan los métodos y análisis correspondientes para su desarrollo.

- En el **cuarto capítulo** se expone la metodología principal del trabajo que facilita una serie de resultados que corresponden con las mejoras tanto técnicas como tácticas finales.

- En el **quinto capítulo** se recogen las conclusiones finales sobre la realización de la memoria y los resultados obtenidos.

Capítulo II. Antecedentes

Los comienzos de la aviación se remontan a tiempos de la prehistoria donde el hombre observa la capacidad de vuelo que tienen los pájaros. Desde entonces existe un notable y valioso deseo del ser humano de volar, que a lo largo de la historia ha ido tratando de conseguir con mayor o menor éxito, ya que hay constancia de intentos que han acabado en catástrofe.

Haciendo referencia al inicio y la evolución de la aviación no tripulada, cabe destacar que comparte orígenes con la aviación tripulada.[6] Dicha coincidencia tiene una sencilla explicación, ya que se emplearon múltiples pequeños modelos no tripulados a escala con la finalidad de alcanzar y desarrollar considerables mejoras en los diseños tripulados ya ideados con anterioridad, lo cual proporcionaba reducción de costes y rapidez de construcción, entre otros beneficios.

A finales del siglo XIX, Nicola Tesla,[7] ingeniero, físico e inventor prolífico, auspició la posibilidad de emplear artilugios y plataformas no tripuladas o controladas a distancia. En 1898 inventó el "Teleautomatón",[8] que se convertiría en el primer dispositivo de control remoto de cualquier tipo de vehículo. Se trataba de una pequeña embarcación de poco más de un metro de largo que controlaba él mismo desde un puesto de control. Hasta entonces, aquella embarcación era la única plataforma existente con competencias de control remoto. Durante los años posteriores se estuvo trabajando sobre aeronaves no tripuladas, las cuales no tuvieron éxito debido a problemas de estabilización automática y navegación autónoma. Sin embargo, Elmer Ambrose Sperry[9] consiguió encontrar la solución a esos inconvenientes y desarrolló una aeronave no tripulada en 1909, aunque era demasiado pesada y no reflejaba un funcionamiento adecuado. Finalmente, en el año 1911, se creó una nueva plataforma no tripulada que cumplía con todas las características y objetivos necesarios para un perfecto funcionamiento.

Las primeras aeronaves no tripuladas dirigidas por control remoto que se aprovecharon para fines militares fueron empleadas durante la Segunda Guerra Mundial.[10] Reino Unido utilizaba dichas aeronaves para desarrollar el entrenamiento e instrucción de sus fuerzas de artillería, ya que las empleaba como blancos aéreos, aunque tenían el único inconveniente de verse limitados por su escasa capacidad de alcance. Por otro lado, las Fuerzas Armadas Americanas destinaron un número considerable de aeronaves no tripuladas a la neutralización de armamento sensible y tácticamente importante, como lo eran los misiles antiaéreos. La manera de realizar estos ataques era implementando una carga explosiva en el vehículo y dirigiéndolo hacia dichos objetivos. Sin embargo, el porcentaje de éxito en estas operaciones era mínimo debido al mal funcionamiento de los propios sistemas de control remoto. Por ello, la potencia Alemana no sintió la necesidad de realizar grandes contramedidas para derribar las aeronaves, además de las que ya empleaba mediante su artillería.

La primera conflagración entre varios países en el cual el espectro del conflicto ascendió hasta su máximo nivel (guerra) y donde se emplearon los RPAS para la realización de operaciones militares fue la Guerra de Vietnam.[11] El ejército estadounidense empleaba estas plataformas para realizar reconocimientos de itinerarios tanto de día como de noche, fotografiar campos de prisioneros y, además, a menudo era utilizado como cebo para que las tropas vietnamitas agotaran sus provisiones de misiles SAM. La fuerza aérea norteamericana utilizó en sus diversas variantes el Drone Ryan Model 147, el cual estaba impulsado por un reactor que le permitía alcanzar elevadas velocidades y volar a baja cota, lo que dificultaba en gran medida a la artillería antiaérea enemiga poder derribarlos, así como a los aviones de combate, ya que era la otra alternativa con la que contaba la fuerza aérea vietnamita para neutralizar las aeronaves no tripuladas. Se puede afirmar, que los métodos de contramedidas aéreas llevados a cabo por el ejército de Vietnam no fueron los más exitosos, pero también hay que destacar que era el primer escenario bélico donde tenían cierto protagonismo los vehículos sin piloto. Prueba de ese estrepitoso fracaso, fue la media global de salidas antes de que fuese derribado cada aparato, siendo de 7,3 misiones cuando inicialmente las expectativas eran de 2,5. El récord lo ostentó una aeronave que efectuó 68 vuelos antes de ser derribada.

Para concluir este repaso histórico de la evolución de las plataformas aéreas no tripuladas, se debe mencionar que queda suficientemente demostrado que el potencial de dichos vehículos es enorme en los conflictos asimétricos, ya que sus capacidades operativas sirvieron de gran utilidad y apoyo para el cumplimiento de la misión en los últimos dos grandes teatros de operaciones: Irak y Afganistán.[12] Además, actualmente el Ejército Español cuenta con unidades de RPAS desplegadas en varios lugares donde tiene parte de sus fuerzas militares empeñadas, como por ejemplo, Letonia o Líbano.

2.1. Definición y clasificación de los RPAS.

Las Plataformas Aéreas No Tripuladas que se emplean en las Fuerzas Armadas son en definitiva Drones que gracias a una estación se pueden controlar remotamente desde tierra (GCS: Ground Control System). Actualmente, existen varios nombres para dichas plataformas y la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)[13] ha establecido la siguiente clasificación: UAV, Unmanned Aerial Vehicle, para referirse literalmente a los vehículos aéreos no tripulados sin diferenciar si son autónomos o tripulados por control remoto, y RPA, Remotely Piloted Aircraft, término para denominar a las aeronaves no tripulados con la característica especial de que además están operadas mediante control remoto. En el ámbito militar se emplean ambas definiciones indistintamente para referirse a las mismas plataformas.

En España se ha adoptado la clasificación de los RPAS según la acordada por el grupo de trabajo OTAN denominado Joint Capability Group on UA/UAS (JCGUA)[14], el cual es consciente de la necesidad de unificar y definir el lenguaje en el empleo de los RPAS de uso militar, para facilitar el uso compartido o combinado de las plataformas aéreas no tripuladas entre distintas unidades o incluso diferentes

Ejércitos, así como todos sus procesos de estandarización. Esta clasificación reflejada en la Tabla 1 hace referencia a tres clases, focalizando sus distinciones según el peso máximo en el despegue que el RPAS es capaz de soportar. Además, cabe resaltar las diferentes misiones o cometidos que los RPAS de cada tipo puedan afrontar, puesto que no se emplearán para las mismas tareas. Por ejemplo, en una operación de transporte de material se empleará la de mayor tamaño y fuerza, las cuales coinciden con las de la clase II y mayoritariamente se emplean a nivel operacional y rara vez a nivel táctico. Sin embargo, si el principal objetivo es obtener información sin ser descubiertos, se lanzará la de menor tamaño y la más silenciosa, que concuerda con las de la clase I, las cuales ocupan el segmento táctico de los RPAS militares y están divididas en tres categorías. Los RPAS de interés para el ejército incluyen única y exclusivamente las clases I y II, excluyendo la clase III. También existen diferentes tipos de certificación exigida a los operadores de vuelo que deberán adquirir dependiendo de la clase de RPAS que estén autorizados a pilotar.

Tarjeta operador RPA	Clase según peso máximo al despegue	Categoría OTAN y acrónimo	Radio normal de misión	Ejemplos de RPAS
Tipo I	Clase I ≤ 150 kg	Micro-RPA	2 km	Black Hornet
		Mini-RPA	10 km	Raven RQ-11 B
		Small-RPA	50 km (alcance medio: MR, <i>Medium Range</i>)	Pelicano
Tipo II	Clase II > 150 y ≤ 600 kg	TUAV (táctico)	200 km (largo alcance: LR, <i>Long Range</i>)	Searcher MK-III
	CLASE III > 600 kg	UCAV (de combate)	Sin límite (enlace por satélite: BLOS, <i>Beyond Line of Sight</i>)	Reaper
		MALE (<i>Medium Altitude Long Endurance</i>)		Heron TP
		HALE (<i>High Altitude Long Endurance</i>)		Global Hawk

Tabla 1 Clasificación de RPAS adoptada en España³

³ Fuente: Publicación Doctrinal. Empleo táctico de la unidad de RPAS. (PD4-013)

Capítulo III. Análisis de la situación

En el desarrollo de este capítulo se puede observar una primera síntesis de información seleccionada para un correcto entendimiento del sistema de funcionamiento, así como el necesario conocimiento de las capacidades y empleo del RAVEN RQ-11B. Además, se abordan las principales amenazas que pueden sufrir causadas por medidas humanas para su neutralización. El objetivo de todo este proceso de investigación es estudiar en profundidad las necesidades que tiene este RPAS para los posteriores análisis mediante los cuales obtener la propuestas de mejora.

3.1. RPAS en los Batallones de Infantería

Los avances científicos y tecnológicos han favorecido en los últimos años la implementación de UAVs tanto en el Ministerio de Defensa (MINISDEF) y el Ministerio de Interior (MI), como en el resto de la sociedad, la cual cada vez demanda más aplicaciones y sistemas que respondan a sus necesidades en diferentes campos como la meteorología, la construcción, el tráfico, etc. Además, las FAS pretenden aportar una referencia al sector industrial español en el ámbito de los RPAS, con la finalidad de que les sirva de apoyo y promoción para que puedan llegar a competir en igualdad de condiciones con otras empresas extranjeras. Respecto a las FAS, cuentan con un total de trece tipos de Drones[15] que emplean en ejercicios, despliegues en el exterior y en apoyo de actividades civiles. Dichos Drones se encuentran en la orgánica de los tres ejércitos: el de Tierra, el de Aire y la Armada.

El Ejército de Tierra (ET) cuenta con diferentes unidades donde se lleva a cabo el empleo de RPAS. Varias de esas unidades basan el esfuerzo principal de su operación en los cometidos realizados por el Vehículo No Tripulado, como puede ser el caso de transporte de material logístico. Sin embargo, existen otras unidades, como ocurre en los Batallones de Infantería que simplemente se apoyan en dichos vehículos para facilitar su maniobra, lo que implica que su papel es fundamental para asegurar el éxito en la misión. Los RPAS por excelencia empleados en dichos Batallones son el RAVEN, el cual se encuentra definido como "Clase I" y categoría "MINI". Hoy en día el ET cuenta con el modelo RAVEN RQ-11B que es una versión actualizada del antiguo RAVEN RQ-11A. Este nuevo modelo fue creado por la empresa norteamericana AeroVironment y España se hizo con sus primeros ejemplares en el año 2009.[16]

No obstante, el Plan Director de RPAS[17] lanzado por el Ministerio de Defensa en el año 2015 realizó un estudio a corto, medio y largo alcance para determinar las necesidades en un futuro sobre nuevas adquisiciones en el ámbito de los UAVS. Para dicho estudio, planteó una hipótesis de trabajo con una vida útil de los sistemas Clase I de 10 años.

MODELO	CATEGORÍA	EJÉRCITO	ALTA	EVOLUCIÓN PREVISIBLE
Wasp AE	MICRO < 66 J	EA	2013	Fin del ciclo de vida a partir de 2023
RAVEN (RQ - 11B)	MINI 2-15 Kg	ET	2009	Fin del ciclo de vida a partir de 2019
		EA	2009	Fin del ciclo de vida a partir de 2019

Tabla 2 Sistemas RPAS Clase I⁴

			2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
ET	MINI 2-15 Kg	RAVEN (RQ - 11B)												
EA	MICRO < 66J	Wasp AE												
EA	MINI 2-15 Kg	RAVEN (RQ - 11B)												

Tabla 3 Vida operativa de los RPAS Clase I⁵

Las observaciones y necesidades identificadas en las tablas 2 y 3 para el ET y por consiguiente para los Batallones de Infantería, son las siguientes:

- En el año 2019 se producirá la baja de los sistemas RAVEN debido a su finalización de vida útil.
- El ET se encuentra en la obligación de madurar un nuevo plan de adquisición de una 2ª fase de sistemas Clase I categoría MINI.

El RAVEN RQ-11B es una herramienta que proporciona capacidades ISTAR (Inteligencia, Vigilancia, Adquisición de Objetivos y Reconocimiento) y que gracias a su virtud de obtención de imágenes de vídeo presta a la unidad un importante beneficio operacional. A su vez, el sistema tiene la posibilidad de transmitir información de localización y rumbo magnético, lo cual facilita en gran medida conocer la posición exacta del objetivo grabado en las imágenes de vídeo. Las áreas de máxima utilidad y rendimiento del RAVEN son las siguientes:

⁴ Fuente: Plan Director de RPAS del Ministerio de Defensa. Disponible en: <https://www.defensa.gob.es/Galerias/dgamdocs/plan-director-RPAS.pdf>

⁵ Fuente: Plan Director de RPAS del Ministerio de Defensa. Disponible en: <https://www.defensa.gob.es/Galerias/dgamdocs/plan-director-RPAS.pdf>

- Reconocimiento y vigilancia de itinerarios.
- Protección de tropas.
- Seguridad de convoyes.
- Valoración de daños.
- Corrección de fuegos indirectos.



Ilustración 2 Lanzamiento de RAVEN RQ-11B⁶

El UAV RAVEN B tiene la característica de que es lanzado manualmente, lo cual facilita su funcionamiento en todo tipo de terreno y con la mayor brevedad posible ya que no es necesario el montaje de una estructura lanzadera. Naturalmente, su lanzamiento se debe realizar en zonas despejadas en lo que a arboledas y edificios respecta, aunque siempre se debe tener en cuenta su despliegue táctico y situarse en zonas de tanta ocultación respecto al enemigo como sea posible. La aeronave es pilotada por el operador de vuelo (OV) que controla y opera la GCS durante el lanzamiento, vuelo y aterrizaje. Dicha GCS permite al OV conocer y controlar todos los datos a través del controlador manual, y además mediante el ordenador portátil el operador de misión⁷ (OM) goza de una vista más general de la aeronave que muestra su localización sobre el plano, y puede realizar itinerarios que la propia aeronave realizará de manera automática, así como conocer las coordenadas exactas de un objetivo que se encuentre en vigilancia u observar las imágenes que se están grabando en el mismo instante entre otras cosas.[18]

⁶ Fuente: Fotografía realizada por el autor durante un ejercicio de instrucción.

⁷ El equipo encargado de operar el sistema, generalmente, estará compuesto por un operador de vuelo y un operador de misión.



Ilustración 3 OV empleando el controlador manual (izda) y GCS (dcha) ⁸

3.2. Orgánica del equipo mini UAV-RAVEN B

Actualmente todos los Batallones de Infantería deberían tener integrado en sus fuerzas un equipo de UAV con la logística e instrucción necesaria para poder ser empleado a favor de dicho batallón. No obstante, la realidad es que algunos Batallones sí cuentan con dicho equipo en su orgánica, pero hay otros muchos que no.

Respecto a su orgánica, ésta viene recogida en el Manual de Instrucción del Equipo Mini UAV-RAVEN B (MI-100). La composición de su personal es de cuatro integrantes, aunque es verdad que en distintos equipos, dependiendo de las necesidades, puede llegar a haber un quinto, cuya función sería: ayudar a preparar tanto el vehículo como el sistema de control en tierra, mandar cualquier tipo de documento que se obtenga al momento al escalón superior, dar seguridad, etc. A continuación, se reflejan de manera detallada los cuatro componentes y sus cometidos:

- Jefe de equipo : debe ostentar empleo de suboficial y es el encargado de planear, dirigir y ejecutar la misión y redactar los informes posmisión. Debe permanecer en contacto con el jefe de la unidad apoyada para asesorarle sobre las capacidades y empleo del sistema. La instrucción del resto de personal del equipo es responsabilidad suya.

⁸ Fuente: Fotografía realizada por el autor durante un ejercicio de instrucción.

- Operador de vuelo: su principal misión es la conducción del vehículo y asumir el mando en caso de que le ocurra cualquier contratiempo al jefe de equipo. Además gestiona el archivo de vídeos e imágenes y auxilia al jefe de equipo en la redacción de informes.
- Conductor: es el encargado de conducir el vehículo en el que se transporte el equipo, el cual debe ser de las mismas características, en cuanto a protección y movilidad, que los de las unidades apoyadas. También es el lanzador y recuperador del RAVEN, operador de transmisiones y observador.
- Tirador AMP: su cometido fundamental es prestar seguridad al equipo durante el desarrollo del ejercicio, desde el momento que se bajan del vehículo hasta que se vuelven a montar para replegarse a una zona segura.

3.3. Procesos de detección, seguimiento y neutralización

Existen numerosos métodos y acciones cuyo propósito es la neutralización de los RPAS, los cuales en la última década, a consecuencia del gran auge operacional de estas aeronaves, han ido evolucionando considerablemente. Principalmente, el hito más importante con el que cuentan las contramedidas de UAVs para poder derribar una aeronave es su detección. A continuación, se definen varios de los factores más reseñables que influyen en dicha detección:

- Radar Cros Section (RCS)
La Sección Equivalente de Radar se trata de la medida que define el grado de detección que sufre un objeto mediante un radar. Cuanto mayor es el RCS de un objeto significa que tiene una mayor sensibilidad a ser detectado.
- Electro-Optical/Infrared (EO/IR)
Todas las aeronaves emiten cierta cantidad de radiación infrarroja, la cual dependerá del calor desprendido debido a sus métodos de propulsión y elementos electrónicos. Esta radiación se encuentra en el rango del espectro justo por debajo de la luz visible, por ello resulta invisible para el ojo humano pero no para ciertos aparatos electrónicos. Además, cuanto mayor es dicha radiación infrarroja, más sencilla es su detección a una distancia más lejana.
- Electronic Support Measures (ESM)
Las emisiones electrónicas producidas por un Drone no solamente son vulnerables a su detección, sino que además se pueden dar a conocer a qué tipo de UAV se está enfrentando en el caso de que se tenga inteligencia sobre el UAV detectado.
- Características acústicas
Este factor depende de varias circunstancias para tener un grado de detección u otro, como por ejemplo: las condiciones meteorológicas o el tipo de propulsión. Además, este factor cuenta con la curiosidad de ser el único sensible a la percepción humana.

Una vez se han expuesto los factores más significantes que influyen en el proceso de detección y seguimiento de un vehículo no tripulado, se han recogido una serie de medios[19] cuyo propósito es llevar a cabo esa detección:

❖ Radar Activo o Pasivo

Tiene un alcance bastante elevado, lo cual es un gran hándicap para la aeronave. La principal diferencia entre el radar activo y el pasivo, es que este primero tiene la capacidad de conocer la velocidad a la que el objeto detectado se está moviendo. No obstante, el RAVEN cuenta con una RCS considerablemente pequeña, entre otras razones debido a su reducido tamaño, por todo ello se considera levemente complicada su detección y seguimiento mediante esta medida.

❖ Sensores EO/IR

Estos sensores permiten visualizar al objetivo mediante equipos ópticos y térmicos, lo que permite su empleo en un horario nocturno. Una gran limitación que presenta es la incapacidad de realizar un seguimiento a dos o más objetivos, debido a su escasa velocidad de escaneo en el momento de buscar el blanco. Generalmente, este sistema posee una limitada y corta distancia de funcionamiento eficiente, y además el RAVEN cuenta con una firma IR bastante débil lo que dificulta aún más su detección mediante este medio.

❖ Equipos ESM

Esta medida detecta las emisiones electromagnéticas que emite el objetivo durante su comunicación con el centro de control y el piloto. Cuenta con una importante ventaja de maniobra: su capacidad para embarcar en camiones, aviones y buques. Sin embargo, su principal inconveniente se produce cuando el UAV no mantiene comunicaciones con su estación de control ni realiza navegación por GPS (autopiloto), pues entonces no emite señales electromagnéticas y no puede ser detectado por estos equipos.

❖ Sensores acústicos

Estos sensores aprovechan las emisiones de ruido producidas por el propio sistema de funcionamiento de la aeronave. Este sistema puede ser instalado con una antena omnidireccional o una direccional. No obstante, independientemente de la antena escogida su gran inconveniente es que para identificar un UAV es necesaria una extensa biblioteca de firmas acústicas.

Una vez identificados los factores y medios de detección y seguimiento, solamente queda explicar las diferentes acciones que se pueden realizar para neutralizar la aeronave.[20] Cabe destacar la gran variedad de Drones que existen actualmente, donde la seguridad frente a este tipo de vulnerabilidades es directamente proporcional a la inversión económica que se ha destinado para sus medios de seguridad, lo cual implica lógicamente una mayor protección en los Drones de uso militar que los comerciales, pero esto no deja exentos de peligro a dichos Drones militares. A continuación, se relatan las diferentes acciones de neutralización:

En un primer lugar, se van a tratar medidas de bajo nivel tecnológico, las cuales cuentan con la ventaja de tener unos costes considerablemente baratos, pero por razones obvias constan de una fiabilidad bastante reducida:

- Personal armado.
La clave del éxito en esta circunstancia se encontraría en una perfecta instrucción y formación del personal encargado de derribar la aeronave con su armamento de pequeño calibre.
- Halcón interceptor
Esta alternativa exige un necesario y riguroso adiestramiento que debe recibir el rapaz.
- Drone contra drone.
Existen dos variantes de Drones que sirven para la caza de otros Drones: los que están equipados con armamento y buscan derribarlos mediante el fuego; y los que están dotados de redes para simplemente capturarlos sin necesidad de dañar su sistema.

En segundo lugar, se encuentran distintos tipos de municiones, las cuales no cuentan con sistemas de guiado, por lo que el éxito y eficacia de su impacto en el objetivo dependen directamente de la habilidad del tirador. Este armamento está compuesto desde un calibre de 5,56mm hasta cañones de 76mm. El armamento pesado, el cual comprende todo aquel cuyo calibre se encuentre entre 20mm y 57mm, contiene las características adecuadas para utilizarlo contra aeronaves no tripuladas de Clase I. La munición se clasifica de la siguiente manera:

- Kinetic energy ammunition.
Se trata de municiones subcalibradas con un gran poder de penetración.
- High explosive
Se trata de munición explosiva. La munición de este tipo empleada contra los UAVs es la multipropósito, ya que además de carga con alto explosivo posee fragmentación para un daño mayor.
- Air burst ammunition
Consiste en una munición que permite configurar una espoleta de impacto o de proximidad con munición explosiva o fragmentada.

En tercer lugar, se encuentran los misiles, los cuales se tratan de un tipo de armamento mucho más costoso económicamente que el anterior y su empleo se puede considerar sensiblemente desproporcional y poco rentable, por lo que no se aconseja su empleo, salvo caso de urgencia, que lograrían un alto porcentaje de éxito. Se pueden dividir en dos tipos:

- VSHORAD
Misiles de corto alcance que carecen de guía propia.
- SHORAD
Misiles de largo alcance con su propia guía para dirigir el misil.

En cuarto lugar, se tratan las armas láser, las cuales llevan empleándose como arma defensiva contra UAVs bastantes años. Cuentan con la ventaja de que su coste de utilización es mínimo, no obstante su instalación inicial sí es bastante cara. Existen tres tipos:

- Láser de baja potencia
Se debe apuntar a la lente del sensor óptico del UAV para que sea efectivo y deje inoperativo el propio sensor óptico.
- Láser de mediana potencia
Su empleo es el mismo que el del láser de baja potencia pero con la diferencia que en este caso se neutraliza todo el sistema óptico.
- Láser de alta potencia
En este caso simplemente con apuntar a un objetivo se destruye el fuselaje del mismo.

En quinto lugar, se muestran las contramedidas electrónicas, las cuales cuentan con un grado de eficacia sobre los Drones exuberantes como se ha podido comprobar en los últimos años. Los principales ataques electrónicos que pueden suponer graves consecuencias sobre una aeronave no tripulada son el bloqueo⁹ de la comunicación y GPS. Este tipo de interferencias ocurridas en una aeronave tripulada no causa un importante contratiempo, ya que el piloto podría controlar y gestionar los sistemas de comunicación y GPS y la aeronave tendría quien la pilotase, sin embargo, los UAVs correrían el riesgo de detener su operación en el aire o seguir volando pero con el sistema de GPS dañado no se podría tener control sobre su posición y sus movimientos y la aeronave acabaría perdiéndose. Estos dos tipos de medidas de Electronic Counter Measures (ECM) son los siguientes:

- Comunicaciones ECM
Se realiza un ciberataque sobre los datos de transmisión del objetivo con el propósito de cortar o dañar las comunicaciones entre el UAV y el piloto.
- GPS ECM
Se busca neutralizar el sistema GPS del UAV mediante el uso de la perturbación o realizándole spoofing.¹⁰

Por último pero no menos importante, se encuentran las armas High Power Microwave (HPM) y High Power Electromagnetic (HPEM), las cuales emiten pulsos electromagnéticos que afectan a los componentes eléctricos de su objetivo llegando a neutralizarlos si se encuentran desprotegidos. Este tipo de armas requiere menos recursos y potencia que las contramedidas electrónicas.

⁹ Se entiende por bloqueo un acto en el que se dirige intencionalmente la energía electromagnética hacia un sistema de comunicación o navegación para interrumpir o denegar la transmisión de la señal.

¹⁰ Spoofing: En términos de seguridad informática, se refiere al uso de técnicas de suplantación de identidad.

3.4. Necesidades identificadas

Los RPAS como bien se ha mostrado hasta el momento están desarrollando una serie de funciones en el ámbito civil y militar extraordinarias, es por ello que se ha convertido en un objeto demasiado sensible para todas aquellas personas que lo pueden ver como una posible amenaza. Además, de la misma manera que el mundo de los Drones está en un constante proceso de evolución y desarrollo, las contramedidas para neutralizar dichos objetos también han demostrado tener la capacidad de irse adaptando y transformando para no verse superadas por las mejoras técnicas de las propias aeronaves. Esto constituye un serio problema para los RPAS militares ya que sufren múltiples métodos de neutralización como se ha podido observar en el apartado anterior.

Durante el desarrollo de este TFG se han tratado únicamente las vulnerabilidades electrónicas y electromagnéticas, las cuales son considerablemente eficaces contra los RPAS, sobre todo los de Clase I, cuya clasificación es la del RAVEN RQ 11-B.

El Ejército de Tierra Español se encuentra desplegado en múltiples misiones en el extranjero, y varias de ellas cuentan con el apoyo de unidades de infantería que llevan integradas en su despliegue un equipo UAV RAVEN. Concretamente en la misión de Presencia Avanzada Reforzada-Letonia, cuyo propósito es garantizar la estabilidad de la seguridad euroatlántica y mantener una Europa en paz, así como prevenir conflictos mediante medidas de defensa y disuasión creíbles, se han dado casos de que el Ejército Ruso ha derribado¹¹ estos tipos de aeronave interfiriendo en las comunicaciones del UAV y el piloto.

En el mes de octubre del año pasado, la OTAN organizó las mayores maniobras militares desde el año 2015, las maniobras "Trident Juncture 2018"[21] llevadas a cabo en Noruega, con un total de 50.000 militares provenientes de 31 países. El ET mandó personal de la Brigada "Guzmán el Bueno", entre otros del Regimiento "La Reina". Durante el desarrollo de esas maniobras, las fuerzas españolas perdieron un UAV RAVEN debido a una amenaza que interfirió en sus señales GPS;¹² después de varios meses, fue encontrado a más de 50km de distancia de su zona de acción, lo cual significa que siguió volando hasta que se le agotó la batería pero su sistema GPS no funcionaba.

Estos son claros ejemplos de los modos de actuar contra aeronaves no tripuladas hoy en día. Además, se está observando que son muy eficaces y se está trabajando por perfeccionar las técnicas, de tal manera que si no se hace lo propio por mejorar las defensas y protecciones ante estas amenazas en los RPAS, llegará el momento en que no sea rentable el uso de estos vehículos. Por todo ello, en este contexto se han estudiado una serie de mejoras tanto técnicas como tácticas que dificulten el uso de medidas electromagnéticas contra el RAVEN RQ-11B.

¹¹ Fuente: durante una entrevista con personal que ha desarrollado dicha misión y lo ha sufrido.

¹² Fuente: durante una entrevista con personal que se encontraba desplegado en el ejercicio.

Capítulo IV. Propuestas de mejora

4.1. Mejoras técnicas

Una vez se ha contextualizado el trabajo, se ha realizado un estudio sobre una serie de mejoras técnicas que se podrían implantar en el RAVEN RQ-11B. La herramienta elegida para llevar esta investigación a cabo ha sido el método AHP. Dicho método cuenta con una importante ventaja frente a otras herramientas al tener en cuenta tanto aspectos cualitativos como cuantitativos, para tomar una decisión entre varias alternativas.

La metodología AHP fue desarrollada en la década de los 70 por el doctor en matemáticas Thomas. L. Saaty.[22] Hoy en día se emplea en múltiples campos donde es necesario tomar una decisión, teniendo en cuenta múltiples criterios, los cuales deben estar muy bien definidos y ser relevantes.

La metodología AHP consta de 4 etapas:

- 1ª etapa de representación del problema: en esta etapa inicial se deciden las alternativas a ser comparadas, así como los criterios que son tomados en consideración a la hora de estudiar y comparar las citadas alternativas.
- 2ª etapa de evaluación de los criterios: durante esta etapa se llevan a cabo una comparación entre todos los criterios con la finalidad de obtener el peso relativo que tiene cada uno de ellos.
- 3ª etapa de evaluación de las alternativas: a lo largo de esta fase se compara cada una de las alternativas de acuerdo con los criterios, con el fin de obtener su cuantificación y su radio de inconsistencia (RI), el cual debe ser inferior o igual a 0,1 para que el proceso de evaluación se considere válido.
- 4ª etapa de jerarquización de las alternativas y toma de decisiones: esta última etapa consiste en ordenar las alternativas en consonancia con el peso asignado a cada criterio, obteniendo qué opción es óptima.

El proceso total del método AHP representado en estas 4 etapas, se ha llevado a cabo con ayuda del programa Microsoft Office Excel, que se ha empleado para realizar todas las matrices y demás labores matemáticas necesarias para la implementación del proceso, con el objetivo de facilitar y agilizar los cálculos eliminando la probabilidad de error, ya que se trata de un proceso matemático bastante complejo.

4.1.1. Representación del problema

Inicialmente, se han definido las alternativas y los criterios que se han establecido para ordenar dichas alternativas según su grado de importancia, ya que no se tratan de alternativas incompatibles. Para elegir estas alternativas se ha realizado una reunión con varios expertos en la materia pertenecientes a la Brigada "Guzmán el

Bueno", entre ellos se encuentra el equipo UAV RAVEN, quienes se están preparando e instruyendo para hacer el relevo en enero de 2020 a los militares desplegados en la misión de Presencia Avanzada Reforzada en Letonia. En dicha reunión, se ha realizado el método de Brainstorming,[23] también conocido como lluvia de ideas, para elegir las alternativas de mayor relevancia. Este método es una herramienta de trabajo en grupo cuyo objetivo es encontrar nuevas ideas novedosas sobre un tema completo. Fue Alex Osborne quien en 1941 propuso este método al darse cuenta de que en un proceso interactivo de grupo se conseguían propuestas más originales que trabajando de manera autónoma.

A continuación, se exponen las cuatro alternativas que se escogieron como fruto de dicho Brainstorming:

- Alternativa A: Mejorar la encriptación. Los ciberataques y las interferencias electromagnéticas son muy efectivas sobre los sistemas de comunicaciones de los RPAS, sin embargo, cuanto mayor es el grado de encriptación del enlace de comunicaciones, más complicado es que esos ataques resulten exitosos.

-Alternativa B: Implantación de microchip localizador GPS. Uno de los principales problemas que existen cuando un RPAS es derribado por el enemigo, se trata del desconocimiento de su posición ya que el sistema GPS ha sido neutralizado. La incorporación de un microchip localizador GPS no evitaría un ataque enemigo, pero sí permitiría conocer la posición del objeto derribado para poder recuperarlo y observar los efectos producidos por el ataque para investigar más en profundidad posibles soluciones, además de recuperar un RPAS, lo cual económicamente hablando sería todo un éxito.

-Alternativa C: Mayor propulsión para aumentar altitud. Las armas electromagnéticas, al igual que todo tipo de armas, tienen una distancia límite efectiva. Por lo tanto, si se aumenta la altitud de vuelo de los RPAS, esa distancia se alargaría y podría ser suficiente para evitar el ataque enemigo o al menos para que no fuera tan efectivo.

-Alternativa D: Nuevos RPAS filocontrolados. Este tipo de Drone se caracterizaría por estar permanentemente unido mediante un cable a la estación de control. En un principio, se puede pensar que este modelo sería un atraso en el ámbito militar ya que limitaría su maniobra y operatividad. No obstante, presentaría dos importantes ventajas: su autonomía sería ilimitada ya que por el cable iría su alimentación y sería inmune a las interferencias.

De tal manera que las 4 alternativas son las siguientes:

- Alternativa A: Mejorar la encriptación.
- Alternativa B: Implantación de microchip localizador GPS.
- Alternativa C: Mayor propulsión para aumentar altitud.
- Alternativa D: Nuevos RPAS filocontrolados.

A continuación, se han seleccionado los criterios de decisión. Gran parte de la validez y coherencia de los resultados finales en el método se corresponde con la elección adecuada de estos criterios, por ello se ha optado por preguntar a miembros del Regimiento "La Reina" teniendo en cuenta únicamente las respuestas del personal que conoce y ha trabajado con el RAVEN RQ-11B, siendo dicho personal un total de 35 militares. Para dichas preguntas se les ha repartido el cuestionario 1 (disponible en el Anexo D), donde se les explica el objetivo que se busca conseguir con dicho cuestionario.

Como resultado de la cumplimentación de dicho cuestionario, se han seleccionado los 3 criterios que se han mencionado un mayor número de ocasiones. Además se han comparado con el material de diferentes fuentes de información consultado para ver que realmente son criterios relevantes. Dichos criterios son los siguientes:

- Criterio 1: Precio (coste que supondría llevar a cabo la mejora).
- Criterio 2: Ruido (aumento de ruido que pueda producir la mejora).
- Criterio 3: Operatividad (capacidad táctica que se pueda desarrollar una vez implementada la mejora).

4.1.2. Evaluación de los criterios

La segunda etapa del método AHP consiste en realizar el cálculo de los pesos de cada criterio de decisión. Para encontrar dichos pesos se ha repartido el cuestionario 2 (disponible en el Anexo II) al personal del Regimiento "La Reina" que ya ha sido encuestado anteriormente, de la misma manera, solamente se ha tenido en consideración las respuestas de aquellas que conocían el RAVEN RQ-11B. Dicho cuestionario, toma como referencia para la comparación los valores de la escala de Saaty (véase la Tabla 4), la cual se explica en el mismo cuestionario para evitar cualquier tipo de confusión.

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Tabla 4 Escala de comparación Saaty¹³

13 Fuente: Página Web de la Universidad politécnica de Valencia. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/saaty/>

Una vez se han obtenido los resultados del cuestionario 2, se han unificado todos en una matriz que contenga la comparación media de todos ellos, como se muestra en la Tabla 5. Posteriormente, se ha realizado la matriz de comparación entre todos los criterios introduciendo los datos obtenidos, como se muestra en la Tabla 6.

COMPARACIÓN	Valores				
	1	3	5	7	9
C1 más importante que C2	6	18	4	1	
C2 más importante que C1		6			
C2 más importante que C3	4	10	4		
C3 más importante que C2		12	4	1	
C3 más importante que C1	8	8	4		
C1 más importante que C3		10	5		

Tabla 5 Resultados del cuestionario 3¹⁴

Matriz comparación por pares : CRITERIOS							
	Precio	Ruido	Operatividad	Matriz Normalizada			Vector promedio
Precio	1	5	3	0,652173913	0,555555556	0,69230769	0,63334572
Ruido	1/5	1	1/3	0,130434783	0,111111111	0,07692308	0,106156324
Operatividad	1/3	3	1	0,217391304	0,333333333	0,23076923	0,260497956
SUMA	1,533333333	9	4,333333333				1
							R.I: 0,03722565

Tabla 6 Matriz comparación por pares¹⁵

Como se puede observar, el criterio precio encabeza la lista de importancia de los tres criterios. Este resultado es comprensible, debido a que una de las grandes limitaciones que se encuentra el ET a la hora de adquirir nuevas innovaciones es el dinero, y además este ámbito tecnológico suele ser bastante caro por norma general. Otro dato interesante es el IR que como se puede observar es menor de 0,1, lo cual significa que los datos son coherentes.

4.1.3. Evaluación de las alternativas

En la tercera etapa se ha llevado a cabo la comparativa del peso que tiene cada criterio en las alternativas estudiadas. Para esta fase se ha realizado una reunión con los expertos que ya se ha trabajado anteriormente y se han tomado las decisiones de comparación adecuadas mediante un proceso de diálogo y consenso. Las matrices de confrontación obtenidas son las siguientes:

¹⁴ Fuente: Elaboración propia.

¹⁵ Fuente: Elaboración propia.

Criterio: PRECIO									
	Altn. A	Altn. B	Altn. C	Altn. D	Matriz normalizada				Vector promedio
Altn. A	1	1/3	3	5	0,22059	0,1988636	0,321428571	0,3125	0,263345111
Altn. B	3	1	5	7	0,66176	0,5965909	0,535714286	0,4375	0,557892475
Altn. C	1/3	1/5	1	3	0,07353	0,1193182	0,107142857	0,1875	0,121872613
Altn. D	1/5	1/7	1/3	1	0,04412	0,0852273	0,035714286	0,0625	0,056889801
SUMA	4,533333	1,67619	9,33333	16					1
									I.R: 0,04436916

Tabla 7 Matriz de confrontación del criterio precio¹⁶

Criterio: RUIDO									
	Altn. A	Altn. B	Altn. C	Altn. D	Matriz normalizada				Vector promedio
Altn. A	1	1	5	1	0,3125	0,3125	0,3125	0,3125	0,3125
Altn. B	1	1	5	1	0,3125	0,3125	0,3125	0,3125	0,3125
Altn. C	1/5	1/5	1	1/5	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625
Altn. D	1	1	5	1	0,3125	0,3125	0,3125	0,3125	0,3125
SUMA	3,2	3,2	16	3,2					1
									I.R: 0

Tabla 8 Matriz de confrontación del criterio ruido¹⁷

Criterio: OPERATIVIDAD									
	Altn. A	Altn. B	Altn. C	Altn. D	Matriz normalizada				Vector promedio
Altn. A	1	1	1/3	5	0,19231	0,1923077	0,184210526	0,27777778	0,211650922
Altn. B	1	1	1/3	5	0,19231	0,1923077	0,184210526	0,27777778	0,211650922
Altn. C	3	3	1	7	0,57692	0,5769231	0,552631579	0,38888889	0,523841655
Altn. D	1/5	1/5	1/7	1	0,03846	0,0384615	0,078947368	0,05555556	0,0528565
SUMA	5,2	5,2	1,80952	18					1
									I.R: 0,02765887

Tabla 9 Matriz de confrontación del criterio operatividad¹⁸

4.1.4. Jerarquización de las alternativas y toma de decisiones

En la última etapa, se ha obtenido la matriz de decisión mostrada en la Tabla 10. Esta matriz es la jerarquización de cada una de las alternativas planteadas inicialmente. Es por ello que la alternativa con mayor ponderación en esta matriz final sería la óptima para llevar a cabo en referencia a los criterios seleccionados.

¹⁶ Fuente: Elaboración propia.

¹⁷ Fuente: Elaboración propia

¹⁸ Fuente: Elaboración propia.

Matriz de decisión				
	Precio	Ruido	Operatividad	Ponderación final
Altn. A	0,263345111	0,3125	0,211650922	0,255096983
Altn. B	0,557892475	0,3125	0,211650922	0,441647295
Altn. C	0,121872613	0,0625	0,523841655	0,220281948
Altn. D	0,056889801	0,3125	0,0528565	0,082973774
Promedio criterios	0,63334572	0,106156324	0,260497956	

Tabla 10 Matriz de decisión¹⁹

A continuación, se exponen los resultados obtenidos que se pueden distinguir analizando la matriz de decisión:

- En un primer lugar, se puede ver como la alternativa B (implantación de un microchip localizador GPS) ha obtenido la mayor ponderación final, lo cual era de esperar ya que en la confrontación del criterio precio obtuvo el mayor peso con bastante diferencia y en la comparación del criterio ruido también obtuvo el mayor peso, aunque compartiendo el primer puesto tanto con la alternativa A como con la alternativa D.
- Por otro lado, la alternativa D (Nuevos RPAS filocontrolados) ha sido la que menor ponderación final ha alcanzado, debido a que tanto en la confrontación del criterio precio como la del criterio operatividad ha obtenido una cantidad promedio mediocre.
- Respecto al peso de los criterios, se puede afirmar que el criterio precio ha sido el criterio principal y más relevante a la hora de la elección, ya que ha obtenido una puntuación incluso mayor que el doble de la siguiente.

4.2. Mejoras tácticas

La segunda parte de investigación del trabajo ha consistido en estudiar posibles mejoras tácticas que se puedan llevar a cabo con un bajo coste económico y sin necesidad de modificar la estructura del RPAS. El uso de estas aeronaves es relativamente novedoso, pero ello no exime de que los procedimientos de actuación se hayan quedado anticuados frente a las múltiples variables de vulnerabilidades que sufren hoy en día. Por ello, durante este desarrollo de mejoras tácticas se ha buscado modificar, o implementar nuevos métodos de instrucción y formación para los equipos UAV de los Batallones de Infantería.

Se ha considerado que la mejor opción para este proceso es realizar el método de Brainstorming con el mismo grupo de expertos que en el método AHP. Dicho método, tiene como objetivo determinar todas las posibles mejoras tácticas que se pueden llevar a cabo, aprovechando el incuestionable bagaje que estos expertos poseen, entre otras cosas, debido a sus múltiples operaciones en el exterior.

¹⁹ Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se definen las tres ideas fuerza que se obtuvieron como fruto de dicho Brainstorming:

4.2.1. Incorporación del equipo UAV a una unidad orgánica del batallón

En un primer lugar, se ha tratado la posibilidad de incorporar el equipo UAV RAVEN RQ-11B a una unidad orgánica del batallón con la finalidad de tener un núcleo de seguridad mayor al del propio equipo. Es decir, poder contar con al menos una unidad tipo sección, la cual está compuesta normalmente por un total de 30 militares, para poder realizar una seguridad efectiva, cuya responsabilidad recae en la actualidad únicamente sobre el tirador AMP y puntualmente, en el conductor (cuando no se encuentra desempeñando ninguna otra función acorde a su puesto táctico).

Esta seguridad de la que se habla no se trata de una seguridad cercana necesaria para repeler ataques físicos sobre el equipo y su personal, sino de una observación a la máxima distancia que pueda actuar el RAVEN con la finalidad de detectar posibles medidas de neutralización sobre la propia aeronave. Los objetivos de esta seguridad serían muy variados, desde personal con armamento sofisticado capaz de derribar el vehículo atacante, hasta radares o sensores capaces de detectarlo.

Tras un proceso de discusión y polémica sobre la unidad donde integrarlo se llegó a la conclusión de que lo más adecuado sería la Sección de Reconocimiento (SERECO), que depende directamente del Teniente Coronel jefe del Batallón o una Compañía de Fusiles que componga dicho Batallón. Para tener una idea más general sobre las ventajas e inconvenientes de cada unidad se decidió realizar un DAFO referente a cada una de ellas y comparar.

La metodología DAFO, cuyas siglas significan Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades, se trata de una herramienta de estudio que aborda la situación de un proyecto. Dicha herramienta analiza características internas (fortalezas y debilidades) y características externas (oportunidades y amenazas). El principal objetivo del DAFO es que con la información conseguida sobre la situación, la entidad profesional pueda afrontar cambios o tomar decisiones que se adapten a las exigencias observadas.

A continuación, se reflejan tanto el DAFO referente a la SERECO (Tabla 11) como el de la Compañía de Fusiles (Tabla 12).



Tabla 11 Análisis DAFO de la Sección de Reconocimiento²⁰



Tabla 12 Análisis DAFO de la Compañía de Fusiles²¹

²⁰ Fuente: Elaboración propia.

²¹ Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar el DAFO correspondiente a la Compañía de Fusiles cuenta con un mayor número de características positivas y una menor cantidad de características negativas. Es por ello que la decisión a tomar se considera en un principio sencilla, el equipo UAV RAVEN RQ-11B encuadrado en los Batallones de Infantería se debería agregar a una compañía de fusiles. No obstante, a continuación se detalla más en profundidad las particularidades que se pueden observar realizando una comparación entre ambos análisis:

- La SERECO generalmente avanza a vanguardia del despliegue de Batallón, lo que le permite tener una visión más cercana de la situación enemiga, lo cual se considera la única virtud de dicha sección frente a una compañía. Sin embargo, esa posición adelantada se puede considerar un arma de doble filo ya que significa una mayor probabilidad de sufrir una emboscada enemiga.
- Referente a la capacidad de dar seguridad al equipo UAV, el principal objetivo de esta reorganización operacional, se puede observar que la prestada por una compañía es mayor debido a su gran número de personal, el cual es tres veces el de una SERECO. Además, en caso de que la SERECO fuera la encargada de aportar esta seguridad se quedaría demasiado disminuida de personal para realizar sus misiones, las cuales suelen ser notablemente complejas y requerir de toda su fuerza al completo.
- Por último, en referencia a la capacidad de emplear el equipo UAV RAVEN en distintas misiones que se le pueden ordenar a una compañía como: reconocimiento de itinerario, asalto a una posición defensiva o patrullaje sobre una población; se detecta una gran ventaja en la eficiencia y desarrollo de las mismas contando con el equipo UAV integrado en la propia unidad.

4.2.2. Instrucción nocturna

Otra posible mejora táctica que se ha identificado es la instrucción nocturna. Como se ha podido observar previamente durante el desarrollo del trabajo, existen múltiples medidas de detección y neutralización contra los RPAS. No obstante, los principales métodos que se emplean para detectar este tipo de aeronaves no tripuladas son de manera visual y sonora, lo cual puede ser realizado por cualquier persona sin necesidad de emplear ningún tipo de instrumento técnico.

Es por ello que la operación nocturna de este aparato cobra una notable importancia, ya que esas medidas se ven reducidas a la detección sonora y de manera visual única y exclusivamente con ayuda de visores nocturnos o térmicos, siendo estos últimos prácticamente inútiles para su detección debido a su escasa firma térmica. Respecto a las armas de neutralización también necesitan dichos visores para poder alcanzar el objetivo.

El RAVEN RQ-11B tiene capacidad suficiente para operar durante la noche gracias a la cámara Gimbal[24] que emplea un sistema de infrarrojos el cual es sofisticadamente eficaz. Además, dicha cámara ha sido incorporada recientemente a la

aeronave y sus resultados están siendo muy satisfactorios, siendo en ocasiones las imágenes obtenidas mediante esta cámara por la noche más claras que otras obtenidas por la cámara antigua, la cual se sigue utilizando, durante el día. También cabe decir, que esta nueva cámara Gimbal permite al operador disponer de un ángulo de 360 grados con el que adquirir y mantener un objetivo sin necesidad de girar la aeronave.

Por todo ello, la instrucción nocturna cobra una gran importancia en las operaciones desarrolladas de los equipos UAVs. Además, el Ejército cuenta con un simulador[18] del sistema RAVEN RQ-11B que permite al militar instruirse en el manejo del sistema en un ambiente de entrenamiento totalmente realista sin necesidad de volar el verdadero RAVEN. Dicho simulador simplemente requiere un ordenador personal con el programa SUAV Simulator instalado y una GCS.

4.2.3. Creación de un soporte vehicular para la GCS

Finalmente, el grupo de expertos ha puesto especial énfasis en la creación de un soporte para la GCS sobre vehículo. Este soporte facilitaría y agilizaría considerablemente el cambio de asentamiento del equipo, permitiendo incluso realizarlo con el RAVEN en vuelo. Además, se podría comprender una zona mucho mayor de vuelo, ya que la GCS seguiría el movimiento de la aeronave y esta no tendría que realizar el trayecto de vuelta al punto donde fue lanzado para aterrizar, pudiendo así invertir toda esa autonomía ahorrada en su maniobra de vuelo.

Respecto a las vulnerabilidades electromagnéticas también tiene ciertas ventajas, ya que ocupar una zona durante mucho tiempo puede facilitarle al enemigo la detección de la aeronave. Sin embargo, estar en continuo movimiento, teniendo siempre en cuenta las limitaciones de maniobra según la misión, podría dificultarle la acción de detección y seguimiento puesto que las medidas para ello se encuentran limitadas por una cierta distancia. Además, en caso de percatarse de cualquier presencia enemiga que pueda considerarse como una amenaza, este nuevo soporte permitiría la exfiltración del equipo UAV hasta una zona segura de una manera considerablemente más rápida.

A continuación, con la finalidad de definir la viabilidad de este soporte vehicular se ha procedido a realizar una serie de estudios, los cuales han marcado los procesos y decisiones necesarios para el diseño del producto en sus mejores condiciones que favorezcan a cumplir su función con la máxima eficacia posible

Gestión de Calidad

El Plan de Calidad es una herramienta que detalla cómo debe ser el proceso que garantice la calidad en un proyecto o producto. Para acrecentar la veracidad y eficiencia de este plan se ha realizado una función de calidad QFD (Quality Function Deployment), comúnmente conocida como la casa de la calidad. Esta herramienta facilita la identificación de necesidades y expectativas de los clientes y las integra en el proceso de diseño del producto. La función QFD se puede observar en el Anexo II, procediendo a continuación a comentar sus conclusiones más relevantes:

- Se puede observar cómo las necesidades referentes a la resistencia, bien sea a las condiciones climatológicas o a las vicisitudes propias de su empleo táctico, obtienen una ponderación igual que además se trata de la más alta, manifestando su gran importancia para el perfecto cumplimiento de su misión.
- Respecto a las otras necesidades planteadas, se puede observar cómo tres de ellas obtienen un grado de importancia bastante similar: que sea económica, inoxidable y polivalente sobre varios vehículos. Estos aspectos también se deben tener en cuenta para su producción, pero no son las necesidades principales.
- Por otro lado, se encuentran los métodos de obtención de todas estas necesidades y características, de los cuales cabe destacar con una ventaja considerable en el orden de importancia el empleo de materiales de calidad, que además cuenta con un elevado grado de relación con las tres necesidades que obtuvieron la mayor ponderación (que sea económico y resistente a condiciones climatológicas y a las vicisitudes propias de su empleo táctico).

Análisis de riesgos

El análisis de riesgos es una herramienta que se emplea para estudiar la posibilidad y consecuencias de los distintos factores de riesgo, para establecer un nivel de riesgo de nuestro proyecto. El primer paso es identificar esos factores de riesgo que pueden perjudicar al proyecto, asignarles un grado de impacto y de probabilidad, y finalmente, se conseguiría el efecto de cada uno de ellos sobre el propio proyecto. La principal ventaja de esta herramienta es la oportunidad de localizar aquellos factores que deben ser gestionados con especial atención desde el primer momento.

La matriz de riesgos sobre la que se ha basado este análisis se puede observar en el Anexo III. Dicha matriz está compuesta por 8 factores de riesgo, los cuales abarcan una temática general desde la fabricación del soporte vehicular para la GCS hasta la posibilidad de modificaciones de presupuestos del MINISDEF. Estos 8 valores se han clasificado en una tabla de niveles de riesgo (véase la tabla 13) para calcular cuántos factores se encuentran en cada nivel. A su vez, estos niveles vienen diferenciados dependiendo del grado de impacto y de probabilidad.

Probabilidad	3	0	1	0	Clase riesgo	Nr		
	2	0	3	2			High (red)	0
	1	1	4	2			High - Medium (orange)	3
		Low	Medium	High	Medium (yellow)	9		
		Impacto			Low (green)	1		
					Total:	13		

Tabla 13 Niveles de riesgo²²

A continuación, se comentan los resultados y conclusiones obtenidas de la matriz de análisis de riesgos:

- En un primer lugar, se puede observar cómo no se ha encontrado ningún factor que se pueda llegar a considerar en un nivel alto de riesgo, lo cual significa que no se ha detectado ningún riesgo cuya probabilidad de que ocurra sea máxima y su impacto también fuese el mayor posible.
- El siguiente nivel de riesgo es el llamado High-Medium, donde aparecen dos factores de riesgo en la matriz. Uno de ellos (modificación de presupuestos del MINISDEF) es considerado como muy probable y de impacto medio, por lo tanto se debería tener una especial atención sobre él. El otro factor de este nivel (adquisición de un nuevo modelo de RAVEN) no se considera tan probable pero sí con el mayor rango de impacto, por consiguiente se tendría que establecer una serie de precauciones que adoptar para disminuir en la medida de lo posible ese efecto negativo que pudiera ocasionar.
- De los 6 factores de riesgo que faltan por clasificar, 5 de ellos se encuentran en el segundo nivel más leve, lo que significa que se deben hacer esfuerzos y establecer una serie de medidas para reducir el riesgo determinando las inversiones precisas.
- Por último, se puede observar un único factor de riesgo en el nivel más leve del análisis, el cual simplemente necesitará una acción preventiva rentable que no suponga una carga económica importante.

²² Fuente: Elaboración propia.

Capítulo V. Conclusiones

En la actualidad existe un entorno operativo híbrido donde se desarrollan misiones por parte de las Fuerzas Armadas de múltiples países, los cuales necesitan contar con una perfecta instrucción y formación de sus militares, así como con el material más novedoso. Los RPAS han demostrado, durante sus años de empleo en misiones militares, que se tratan de una herramienta para la fuerza fundamental por todas sus capacidades, y además, permiten realizar operaciones considerablemente arriesgadas sin poner en riesgo la vida de ningún militar. No obstante, existen bastantes medidas de neutralización que hacen que estos RPAS pierdan efectividad en sus operaciones.

Las necesidades identificadas en esta memoria del trabajo se encuentran acorde a las amenazas actuales en zona de operaciones como se ha podido contrastar mediante los ejemplos de Letonia y Noruega. Esto destaca la gran importancia de combatir las vulnerabilidades electromagnéticas y estar en un constante proceso de mejora, ya que las armas de neutralización se van renovando y perfeccionando constantemente.

A continuación, se exponen los resultados finales de la investigación y las conclusiones obtenidas:

Para obtener una mejora técnica se ha realizado un Método de Jerarquización Analítica donde se han comparado varias alternativas en función de diferentes criterios seleccionados, dicho análisis ha estimado como la mejora de mayor rentabilidad la implantación de un microchip GPS en las aeronaves no tripuladas para facilitar su recuperación una vez derribado. Este resultado tiene lógica ya que se trata de la mejora más económica con diferencia y ha sido el criterio precio el que ha obtenido un promedio notablemente superior a los otros dos, el ruido y la operatividad.

Sin embargo, de cara a evitar la neutralización del RPAS, esta solución no es eficiente; aunque, permitiría conocer los efectos producidos por el ataque, una vez recuperado el RPAS, para poder investigar más en profundidad sobre posibles soluciones. Si se evalúan únicamente las mejoras para evitar el ciberataque enemigo, mejorar la encriptación del vehículo y aumentar su propulsión para ganar altura estarían prácticamente en el mismo grado de importancia ya que su ponderación final respectivamente es de un 25,5% y un 22%.

Respecto a la propuesta de mejoras tácticas se ha ejecutado un método de Brainstorming formado por varios expertos en el ámbito de investigación, donde se han identificado tres posibles mejoras, una de ellas ha sido la agregación del equipo UAV RAVEN a una unidad orgánica del batallón para aumentar su defensa táctica, se puede afirmar que la mejor opción sería encuadrarlo en una Compañía de Fusiles. La principal ventaja que se ha podido observar sobre la otra opción contemplada, la SERECO, mediante el análisis DAFO realizado, es su gran volumen de defensa, ya que una compañía generalmente está compuesta por 100 militares y la SERECO por 30. Otra virtud que tendría su encuadramiento en una compañía sería la posibilidad de emplear el

RAVEN RQ-11B en diferentes misiones donde puede desempeñar un papel realmente importante, mejorando no solo la operatividad del equipo RAVEN sino de la propia compañía en la que se encuadraría.

Otra mejora táctica, la posibilidad de fabricar un soporte vehicular para la estación de control de tierra tiene una serie de características necesarias y unos riesgos a tener en cuenta identificados mediante el desarrollo de un estudio de calidad y un análisis de riesgos respectivamente. Sus principales exigencias son mantener un elevado grado de resistencia frente a las condiciones climatológicas o a las vicisitudes propias de su empleo táctico, lo cual se puede conseguir mediante su fabricación con materiales de calidad. Referente a los riesgos más significativos, se trata de posibilidades que se encuentran fuera de nuestro alcance de decisión, por lo tanto se deben tener una serie de medidas establecidas en caso de que ocurrieran; estos riesgos son los siguientes: Modificación de presupuestos del Ministerio de Defensa y adquisición de un nuevo modelo de RAVEN.

Anexos

Anexo I Cuestionarios

Cuestionario 1 Determinación de criterios

Debido a su puesto ocupado en el Regimiento "La Reina" 2 ha sido usted seleccionado como parte de un grupo de personal, cuya experiencia será tomada en cuenta para determinar los criterios necesarios para escoger la mejora más eficiente en RPAS contra amenazas electromagnéticas entre las cuatro alternativas siguientes, para la realización del Trabajo de Fin de Grado con el título "Plataformas Aéreas No Tripuladas en los Batallones de Infantería. Estudio de vulnerabilidades y soluciones tácticas y técnicas".

- Alternativa A: Mejorar la encriptación.
- Alternativa B: Implantación de microchip localizador GPS.
- Alternativa C: Mayor propulsión para aumentar altitud.
- Alternativa D: Nuevos RPAS filocontrolados.

A continuación, se formulan las preguntas que debe responder con la mayor exactitud posible:

- ¿Qué empleo ostenta usted actualmente?

- ¿Ha estado usted en misiones internacionales? ¿Cuántas?

- ¿Conoce usted el empleo del UAV RAVEN RQ-11B en los Batallones de Infantería?

- ¿Conoce usted la gran vulnerabilidad frente ataques electromagnéticos de este tipo de UAV?

En caso de haber respondido que sí a las dos preguntas anteriores, escriba los criterios que se le vengan a la mente:

Los criterios podrían ser por ejemplo: tamaño, precio, peso, etc.

-
-
-
-

Cuestionario 2 Comparación entre criterios

Debido a su puesto ocupado en el Regimiento "La Reina" 2 ha sido usted seleccionado como parte de un grupo de personal, cuya experiencia será tomada en cuenta para comparar los criterios que se obtuvieron un mayor número de veces en el cuestionario 1, para escoger la mejora más eficiente en RPAS contra amenazas electromagnéticas entre las cuatro alternativas siguientes, para la realización del Trabajo de Fin de Grado con el título "Plataformas Aéreas No Tripuladas en los Batallones de Infantería. Estudio de vulnerabilidades y soluciones tácticas y técnicas".

- Alternativa A: Mejorar la encriptación.
- Alternativa B: Implantación de microchip localizador GPS.
- Alternativa C: Mayor propulsión para aumentar altitud.
- Alternativa D: Nuevos RPAS filocontrolados.

A continuación, se formulan las preguntas que debe responder con la mayor exactitud posible:

- ¿Qué empleo ostenta usted actualmente?

- ¿Ha estado usted en misiones internacionales? ¿Cuántas?

- ¿Conoce usted el empleo del UAV RAVEN RQ-11B en los Batallones de Infantería?

- ¿Conoce usted la gran vulnerabilidad frente ataques electromagnéticos de este tipo de UAV?

En caso de haber respondido que sí a las dos preguntas anteriores, se pide que complete las siguientes comparaciones entre criterios según su propia decisión. Para compararlos se van a utilizar los valores de la escala de Saaty, debiendo marcar con una X en el recuadro acorde con dicho valor en la vertical y con la comparación seleccionada en la horizontal. La escala de Saaty es la siguiente:

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

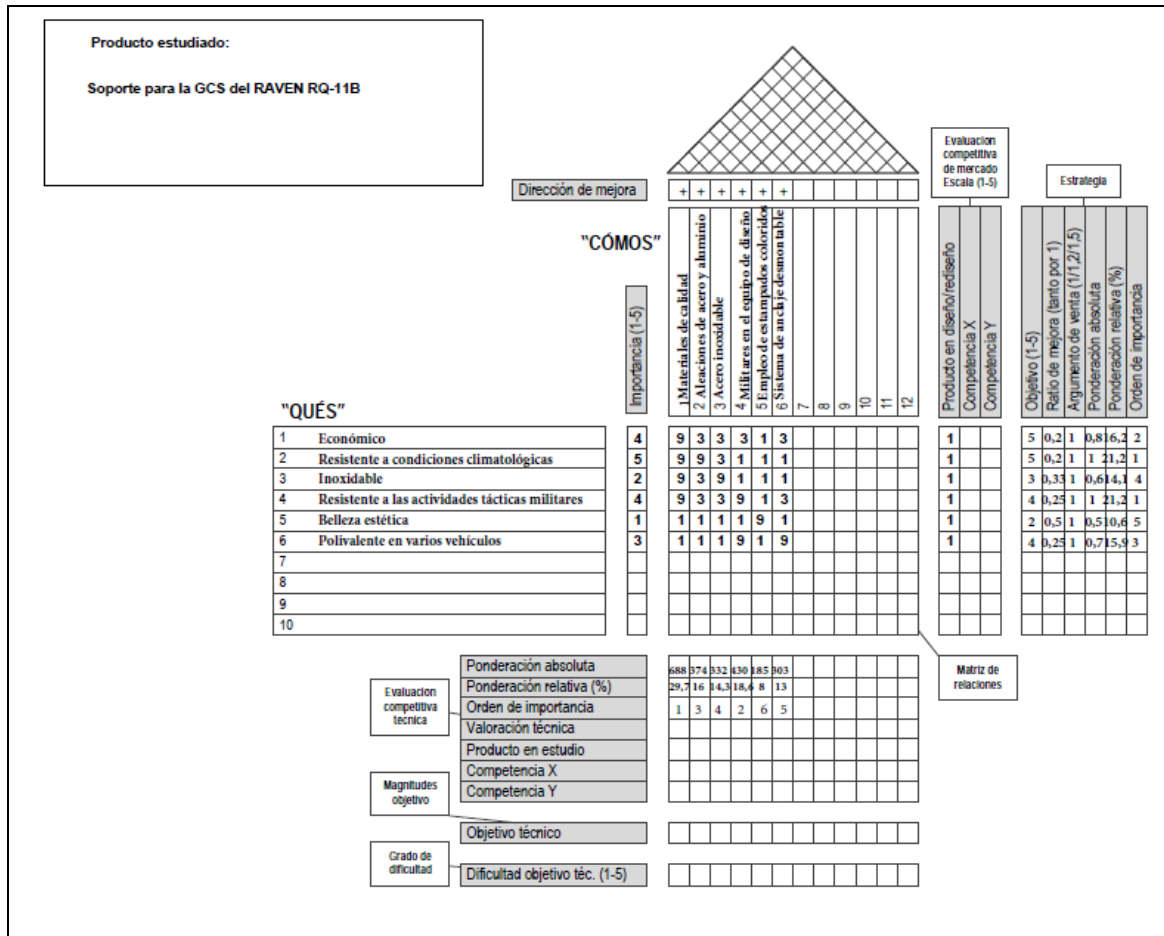
Los criterios de elección son los siguientes:

- Criterio 1: Precio (coste que supondría llevar a cabo la mejora).
- Criterio 2: Ruido (aumento de ruido que pueda producir la mejora).
- Criterio 3: Operatividad (capacidad táctica que se pueda desarrollar una vez implementada la mejora).

Siguiendo las normas explicadas anteriormente, complete la siguiente tabla:

COMPARACIÓN	Valores				
	1	3	5	7	9
C1 más importante que C2					
C2 más importante que C1					
C2 más importante que C3					
C3 más importante que C2					
C3 más importante que C1					
C1 más importante que C3					

Anexo II QFD



Anexo III Análisis de riesgos

Título Proyecto:		Soporte para la GCS del RAVEN RQ-11B							2
Evaluación de riesgos									
ID	Descripción riesgo	Categoría riesgo	Causa del riesgo	Impacto (low, medium, high)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo	Efectos riesgo	Medida	Clase riesgo tras implementar medida
1	Baja calidad de los materiales	Calidad	Error de fabricación, deterioro en el transporte o almacenaje, etc.	H	1	1H	Deterioro del material a corto o medio plazo	Control de la calidad en el proceso de fabricación	3M
2	Retraso en tiempo de fabricación	Planificación temporal	Mala planificación, baja productividad de los trabajadores, falta de material, etc.	M	2	2M	Llegada del soporte a las unidades tardía	Control periódico del cumplimiento de los plazos establecidos inicialmente	1M
3	Modificación presupuestos del Ministerio de Defensa	Financiero	Cambio de gobierno	M	3	3M	Falta de solvencia económica para afrontar los pagos	Reservar cierta cantidad de dinero para esta adquisición únicamente	2M
4	Cambio de leyes referente a empleo RPAS	Legislación	Cambio de normativas de la OTAN	M	1	1M	Imposibilidad de empleo del soporte	Realizar un contrato de compra con posibilidad de devolución	3L
5	Diseño de un producto no acorde a las circunstancias militares	Técnico	Desconocimiento militar del equipo de diseño	M	1	1M	Limitaciones de empleo	Incorporación de militares al equipo de diseño	3L
6	Adquisición de un nuevo modelo de RAVEN	Recursos	Necesidad de adquirir un RPAS superior	H	2	2H	Imposibilidad de empleo del soporte	Realizar un contrato de compra con posibilidad de devolución	1H
7	Falta de competencia empresarial	Desarrollo	Desinterés de las empresas civiles	L	1	1L	Escasas opciones de contratación	Extender el proyecto a empresas internacionales	1L
8	Previsión errónea de la cantidad de productos demandados	Planificación temporal	Desacertada planificación.	M	1	1M	Falta de distribución del nuevo producto en ciertas unidades	Revisión por varias personas de todos los procesos de previsión realizados	3L

Bibliografía

- [1] “Misiones en el exterior - Ministerio de Defensa de España,” *Web Ministerio de Defensa*, 2019. [Online]. Available: https://www.defensa.gob.es/misiones/en_exterior/.
- [2] J. Osorio Gómez and J. Orejuela Cabrera, “El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación.,” *Sci. Tech.*, 2008.
- [3] Emprendedores.es, “Cómo se hace un análisis DAFO,” *Hearst Magazines S.L.*, 2012. .
- [4] C. Curso, “PLANIFICACIÓN,” 2017.
- [5] M. Torralba, “Tema 5 gestión de riesgos,” 2018.
- [6] L. G. S.-C. C. L. S.-L. C. Cristina Cuerno-Rejado, “Evolución histórica de los vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad,” 2016.
- [7] Y. A. Shnejberg, “The creator of polyphase systems and microwave technology (50 years after the death of Nicola Tesla),” *Elektrichestvo*, 1993.
- [8] J. A. Oliveira, “El Teleautomaton de Tesla: el primer dron marino. | VA DE BARCOS,” 2017. [Online]. Available: <https://vadebarcos.net/2017/02/18/teleautomaton-tesla-primer-dron-marino/>.
- [9] The Editors of Encyclopaedia Britannica, “Elmer Ambrose Sperry | American inventor | Britannica.com.” [Online]. Available: <https://www.britannica.com/biography/Elmer-Ambrose-Sperry>.
- [10] “EL ORIGEN Y LA HISTORIA DE LOS DRONES - Hemav,” 2016. [Online]. Available: <https://hemav.com/el-origen-y-la-historia-de-los-drones/>.
- [11] J. Jordán, “Drones en la guerra de Vietnam | GESI,” 2012. [Online]. Available: <http://www.seguridadinternacional.es/?q=es/content/drones-en-la-guerra-de-vietnam-0>.
- [12] M. J. Martin, *Predator: The Remote-Control Air War Over Iraq and Afghanistan: A Pilot's Story*. 2010.
- [13] “Organización de Aviación Civil Internacional.” [Online]. Available: https://www.icao.int/about-icao/Pages/ES/default_ES.aspx.
- [14] “Strategic Concept of Employment for Unmanned Aircraft Systems in NATO,” 2010.
- [15] G. De Castilla, G. De Castilla, and I. Resolve, “VOLAR con los pies en el suelo,” 2018.
- [16] J. Arias Borque, “Así son los aviones no tripulados que España tiene en Afganistán - Libertad Digital,” 2011. [Online]. Available: <https://www.libertaddigital.com/nacional/2011-07-02/asi-son-los-aviones-no-tripulados-que-espana-tiene-en-afganistan-1276428387/>.
- [17] Dirección General de Armamento y Material, “Plan Director de RPAS.” p. 64, 2015.
- [18] MADOC, “MI-100. Equipo Mini-UAV RAVEN B,” 2015.

- [19] A. Laučys *et al.*, “Investigation of detection possibility of uavs using low cost marine radar,” *Aviation*, vol. 23, no. 2, pp. 48–53, 2019.
- [20] M. Sopt and M. Sopt, “Proyecto Rapaz y tecnologías anti-RPAS,” 2016.
- [21] “NATO - Exercise Trident Juncture 2018.” [Online]. Available: <https://www.nato.int/cps/en/natohq/157833.htm>.
- [22] L. G. Vargas, “Thomas L. Saaty,” in *International Series in Operations Research and Management Science*, vol. 147, Springer New York LLC, 2011, pp. 577–591.
- [23] M. Torralba, “TEMA 3 HERRAMIENTAS y TÉCNICAS APLICADAS AL CONTROL DE LA CLAUDAD.,” 2017.
- [24] “Raven UAS (UAV) - AeroVironment, Inc.” [Online]. Available: <https://www.avinc.com/uas/view/raven>.