

Trabajo Fin de Grado

Estudio de sistemas C-UAS de utilización actual y propuesta de integración en los Escuadrones de Caballería

Vicente Calabuig Adobes

Director/es

Director académico: Dr. Francisco Javier Pascual Aranzana

Director militar: Cap. D. Gonzalo Ramos Ballesteros

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2021

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi gratitud en primer lugar al profesor Dr. Francisco Javier Pascual Aranzana, por su apoyo como director académico y su permanente disposición para cualquier tipo de ayuda que necesitara. Además, también quisiera agradecer la implicación del capitán D. Gonzalo Ramos Balletero en la realización del trabajo, así como mi adaptación en la unidad en la que estuve de prácticas. Me gustaría agradecer de la misma forma a los compañeros con los que tuve el placer de coincidir en el Segundo Escuadrón del Grupo Santiago I/12 por su apoyo prestado, que hicieron de mi estancia una experiencia muy agradable.

Por otro lado, me gustaría agradecer al profesor y teniente coronel de Caballería D. Carlos Ruiz López por la facilitación de la herramienta AHP que facilitó la realización de mi trabajo.

Por último, quería mostrar mis agradecimientos a mis padres y a mis hermanas, por el apoyo incondicional que siempre me han mostrado y sobre todo cuando estaba enfocado en la realización del TFG

RESUMEN

El presente de trabajo fin de grado recoge un estudio de las tecnologías UAS (Sistema Aéreo no Tripulado, Unmanned Aircraft System) y C-UAS (Contra Sistema Aéreo no Tripulado, Counter Unmanned Aerial System) para evaluar la amenaza que representa para nuestras unidades del ET (Ejército de Tierra) el uso de las tecnologías UAS por parte del enemigo. Además, se va a proceder a la propuesta de un sistema de defensa C-UAS para su incorporación en los Escuadrones de Caballería y una posibilidad de como integrarlo en los distintos despliegues que puedan realizar los Escuadrones.

Debido al creciente uso de UAS en los conflictos armados la amenaza que estos suponen se va incrementando, generando un grave problema en la seguridad de las unidades de Caballería que se ven incapaces de hacer frente a esta amenaza con los medios actuales.

Para dar una solución a este problema planteado, se pretende elegir el sistema C-UAS adecuado que sea capaz de aportar una solución eficaz. Para ello se han hecho uso de herramientas tales como el radar chart y el método AHP (Proceso Jerárquico Analítico, Analytic Hierarchy Process), los cuales han permitido conseguir objetividad a la hora de elegir la alternativa deseada. Finalmente se procederá a plantear una posible integración de los sistemas C-UAS en los despliegues de Caballería, para aportar una solución a la falta de protección de estos. Complementariamente se han suministrado unos cuestionarios al personal del Grupo de Caballería Santiago I/12 para poder, entre otras cosas, definir cuáles eran los criterios más importantes que debían cumplir los C-UAS. Por otro lado, también se realizó una entrevista a personal experto para la ayuda de cara a tomar las conclusiones finales.

Para concluir, se decide que la implementación de sistemas C-UAS en las unidades de Caballería es una cuestión necesaria para que esta pueda desarrollar de forma satisfactoria las distintas misiones internacionales en las que esta forme parte. Para ello se ha planteado la adquisición de un sistema C-UAS específico que cuenta con la movilidad y flexibilidad adecuada para que la Caballería pueda garantizar la libertad de acción en la zona.

Palabras clave

UAS, C-UAS, implementación, Escuadrones de Caballería.

ABSTRACT

This final degree work includes a study of UAS and C-UAS technologies in order to evaluate the threat that the use of UAS technologies by the enemy represents for our units of the ET. In addition, a C-UAS defense system will be proposed for its incorporation in Cavalry Troops and a possibility of how to integrate it in the different deployments that the Troops can carry out.

Due to the increasing use of UAS in armed conflicts, the threat they pose is increasing, generating a serious problem in the security of cavalry units that are unable to cope with this threat with the current means.

In order to provide a solution to this problem, the aim is to choose the appropriate C-UAS system capable of providing an effective solution. To this end, tools such as the radar chart and the AHP method have been used to achieve objectivity when choosing the desired alternative. Finally, a possible integration of C-UAS systems in Cavalry deployments will be proposed, in order to provide a solution to the lack of protection of these systems. In addition, questionnaires were provided to the personnel of the Santiago I/12 Cavalry Group in order to define, among other things, the most important criteria to be met by the C-UAS. On the other hand, an interview with expert personnel was also carried out to help draw the final conclusions.

To conclude, it is decided that the implementation of C-UAS systems in the Cavalry units is a necessary matter so that it can successfully develop the different international missions in which it is part. For this purpose, the acquisition of a specific C-UAS system has been proposed that has adequate mobility and flexibility so that the Cavalry can guarantee freedom of action in the area.

Keywords

UAS, C-UAS, implementation, Cavalry Troops.



Índice

AGRADECIMIENTOS	i
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS	4
LISTADO DE BREVIATURAS	5
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 MOTIVACIÓN Y ÁMBITO DE APLICACIÓN	7
1.2 ESTRUCTURA	9
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	11
2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE	11
2.2. METODOLOGÍA	11
3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	11
4. TECNOLOGÍA RPAS	12
4.1. DEFINICIÓN	12
4.2. AMENAZA Y ANALISIS DE RIESGO	13
4.3. TIPOS DE RPAS	15
4.4. LIMITACIONES	17
5. TECNOLOGÍA C-RPAS	17
5.1. DEFINICIÓN	17
5.1.1. DETECCIÓN	18
5.1.2. NEUTRALIZACIÓN	20
5.2. C-UAS en el ET	20
5.1.1 Anti-UAV Defence System (AUDS)	20
5.2.2. DJI Aeroscope	22
5.2.3. SENDES HD02	23
5.2.4. Battelle drone defender	24
5.2.5. Drone Hunter	25
5.3. C-UAS comerciales	26
5.3.1. MESMER Department 13	26
5.3.2. Marduk Shark + Themis Observe	27



5.3.3. Rafael Drone Dome.....	28
5.3.4. Torre Skyrange 30.....	29
5.4. ANALISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS.....	31
5.4.1. Representación jerarquizada del problema.....	31
5.4.2. Valoración de los criterios y subcriterios.....	32
5.4.3. Evaluación de las alternativas.....	33
5.4.4. Análisis de los resultados obtenidos.....	36
6. INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS C-UAS EN LOS ESCUADRONES DE CABALLERÍA.....	36
6.1. ORGÁNICA.....	36
6.2. RECONOCIMIENTO.....	37
6.2.1. Reconocimiento de itinerario.....	37
6.2.2. Reconocimiento de punto concreto.....	38
6.3. ESCOLTA A CONVOY.....	38
6.4. ACCIONES DEFENSIVAS.....	40
7. CONCLUSIONES.....	41
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
ANEXO A. MODELO ENTREVISTAS A EXPERTOS.....	45
ANEXO B. LECCIONES APRENDIDAS. NAGORNO KARABAJ.....	46
ANEXO C. RADAR CHART.....	47
ANEXO D. RESULTADO ENCUESTAS REALIZADAS.....	48
ANEXO E. ANALISIS DE RIESGOS.....	54
ANEXO F. SISTEMA C-RAM.....	55
ANEXO G. MUNICIÓN LOITERING.....	56



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Matriz de factores DAFO	8
Figura 2. Estrategia adaptativa	8
Figura 3. Estrategia defensiva	9
Figura 4. Estrategia ofensiva	9
Figura 5. Estrategia supervivencia.....	9
Figura 6. AUDES. Sistema de detección. Radar	21
Figura 7. AUDES. Sistema de seguimientos. Medios electro-ópticos.....	21
Figura 8. AUDES. Sistema de neutralización. Inhibidor	21
Figura 9. Radar chart Anti-UAV Defense System	22
Figura 10. DJI Aeroscope móvil.....	22
Figura 11. DJI Aeroscope fijo	22
Figura 12. Radar chart DJI Aeroscope.....	23
Figura 13. Sendes HD02	23
Figura 14. Radar chart SENDES HD02	24
Figura 15. Battelle drone defender	24
Figura 16. Radar chart Battelle drone defender	25
Figura 17. C-UAS Drone Hunter	26
Figura 18. Radar chart Drone Hunter.....	26
Figura 19. C-UAS MESMER.....	27
Figura 20. C-UAS MESMER configurado	27
Figura 21. Radar chart MESMER Department 13	27
Figura 22. Marduk Shark + Themis Observe	28
Figura 23. Radar chart Marduk Shark + Themis Observe.....	28
Figura 24. Rafael Drone Dome configuración vehicular	29
Figura 25. Rafael Drone dome configuración fija	29
Figura 26. Radar chart Rafael Drone Dome.....	29
Figura 27. Skyranger 30	30
Figura 28. Radar chart Skyranger 30.....	30
Figura 29. Representación jerarquizada	32
Figura 30. Nueva orgánica Escuadrón de Caballería.....	37
Figura 31. Posicionamiento C-UAS en reconocimiento de itinerario	38
Figura 32. Posicionamiento C-UAS escolta de convoy corto	39
Figura 33. Burbuja de seguridad escolta de convoy largo.....	39
Figura 34. Posición defensiva de Partida.....	40
Figura 35. Burbuja creada por los C-UAS en línea de posición de un Escuadrón de Caballería	41
Figura 36. Iron Dome.....	55



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Riesgos uso de UAS por parte del enemigo	14
Tabla 2. Matriz de riesgos.....	14
Tabla 3. Estadística de la matriz de riesgos	14
Tabla 4. Riesgos tras incorporación de C-UAS en las unidades propias.....	15
Tabla 5. Matriz de riesgos tras incorporación de C-UAS en las unidades propias.....	15
Tabla 6. Estadística de la matriz de riesgos tras incorporación de C-UAS en las unidades propias	15
Tabla 7. Clasificación RPAS según OTAN.....	16
Tabla 8. Tipos de acciones C-RPAS.....	18
Tabla 9. Parámetros sistemas de detección en función de las acciones.....	19
Tabla 10. Escala de Saaty	32
Tabla 11. Ponderación de los criterios.....	33
Tabla 12. Ponderación subcriterios capacidades	33
Tabla 13. Ponderación subcriterios flexibilidad	33
Tabla 14. Ponderación subcriterios precisión.....	33
Tabla 15. Ponderación subcriterio detección en los distintos sistemas	34
Tabla 16. Ponderación subcriterio neutralización en los distintos sistemas.....	34
Tabla 17. Ponderación subcriterio operabilidad de los distintos sistemas.....	34
Tabla 18. Ponderación subcriterio movilidad de los distintos sistemas.....	35
Tabla 19. Ponderación subcriterio eficacia de los distintos sistemas	35
Tabla 20. Ponderación subcriterio velocidad de los distintos sistemas.....	35
Tabla 21. Matriz de decisión.....	36
Tabla 22. Análisis de riesgos uso de UAS por parte del enemigo	54



LISTADO DE ABREVIATURAS

ABM	Munición Explosiva Aérea (Air Bursting Munition)
AHP	Método de Jerarquización Analítica (Analytic Hierarchy Process)
AUDS	Sistema de Defensa Anti Vehículos Aéreos No Tripulados (Anti Unmanned Aerial Vehicle Defense System)
BDA	Evaluación del Daño de Batalla (Battle Damage Assessment)
C-RAM	Contra Cohetes, Artillería, Morteros (Counter Rocket, Artillery, Morter)
C-RPAS	Contra Sistemas Aéreos Remotamente Pilotados (Counter Remotely Piloted Aerial System)
C-UAS	Contra Sistema Aéreo No Tripulado (Counter Unmanned Aerial System)
CCDC	Centro Conjunto de Desarrollo de Conceptos
CIFAS	Centro de Inteligencia de las Fuerzas Armadas
CENDIED	Célula Nacional Contra Dispositivos Explosivos Improvisados
DGAM	Dirección General de Armamento y Material
DAFO	Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades
EO	Luz Electrónica (Electro-Optical)
ET	Ejército de Tierra
FAS	Fuerzas Armadas
GCS	Estación de Control en Tierra (Ground Control Station)
GNSS	Sistemas de Navegación Global por Satélite (Global Navigation Satellite System)
HALE	Alta Altitud Larga Duración (High Altitude Long Endurance)
IED	Dispositivos Explosivos Improvisados (Improvised Explosive Devices)
IR	Luz Infrarroja (Infra-Red)
ISTAR	Inteligencia, Vigilancia, Adquisición de Objetivos, Reconocimiento (Intelligence, Surveillance, Targeting Acquisition, Reconnaissance)
JEMAD	Jefe de Estado Mayor de la Defensa
LSS	Bajo, Lento, Pequeño (Low, Slow, Small)
MALE	Media Altitud Larga Duración (Medium Altitude Long Endurance)



MOPS	Mando de Operaciones
MCOE	Mando Conjunto de Operaciones Especiales
PMO	Problema Militar Operativo
PSYOPS	Operaciones Psicológicas (Psychological Operations)
RPA	Aeronave Remotamente Pilotada (Remotely Piloted Aircraft)
RPAS	Sistema Aéreo Pilotado Remotamente (Remotely Piloted Aerial System)
UAV	Vehículo Aéreo No Tripulado (Unmanned Aerial Vehicle)
UAS	Sistema Aéreo No Tripulado (Unmanned Aircraft System)
VCR	Vehículo de Combate sobre Ruedas
VERT	Vehículo de Exploración y Reconocimiento Terrestre
VTOL	Despegue y Aterrizaje Vertical (Vertical Take-Off and Landing)



1. INTRODUCCIÓN

La siguiente memoria presenta los resultados del trabajo de fin de grado en Ingeniería de Organización Industrial cursado en el Centro Universitario de la Defensa en la Academia General Militar (Zaragoza). Su título es “*Estudio de sistemas C-UAS de utilización actual y propuesta de integración en los Escuadrones de Caballería*” y a continuación se define la motivación del proyecto, el ámbito de aplicación del mismo, los conceptos claves y la estructura a seguir

1.1 MOTIVACIÓN Y ÁMBITO DE APLICACIÓN

El mundo militar siempre ha estado en constante evolución, ya desde hace miles de años con los primeros ejércitos, las potencias siempre han buscado medios para progresar y ser más poderosos que sus enemigos u otras potencias cercanas, esto se conseguía gracias tanto a avances en las armas empleadas como con mejoras en la estrategia.

Esta necesidad de mejora junto a las características de los conflictos actuales motivó la utilización de drones para fines militares, que rápidamente ha ido desarrollándose hasta tomar el popular concepto de RPAS (Sistema Aéreo Remotamente Pilotado, Remotely Piloted Aircraft System)

Debido al creciente uso de estos por parte de los distintos ejércitos, la amenaza que estos suponen se ha ido incrementando paulatinamente a lo largo de los últimos años. Estos aviones no tripulados son capaces de trabajar a una distancia del emisor que oscila entre 2 kilómetros los más pequeños hasta 200 kilómetros o incluso más, como son los que funcionan por satélite.

Los RPAS permiten trabajar en una gran profundidad del terreno proporcionando funciones de ISTAR (Inteligencia, Vigilancia, Adquisición de Objetivos, Reconocimiento, Intelligence, Surveillance, Targeting Acquisition, Reconnaissance) además de otras funciones ofensivas como puede ser el lanzamiento de misiles o bombas a un objetivo.

Todos esto genera un gran peligro a las fuerzas que se ven incapaces de hacer frente a tal amenaza, es por eso que se pretende dar una solución a esto mediante la propuesta de adquisición de un sistema que sea capaz de detectar y neutralizar la amenaza.

Para el desarrollo de este trabajo se ha optado por elegir como ámbito de aplicación el Escuadrón de Caballería ya que esta unidad actúa en numerosas ocasiones de forma aislada y precisa de estos sistemas para garantizar la protección de la fuerza y cumplir de forma eficaz sus cometidos.

Para justificar la motivación de este proyecto se ha procedido a la realización de un DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades), esta se trata de una herramienta que permite conocer en qué situación se encuentra una empresa, organización o proyecto para facilitar la toma de decisiones a seguir en un futuro.

El análisis DAFO se ha realizado por el autor apoyándose de la herramienta web que proporciona el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo¹.

¹ La herramienta web permite la realización de un DAFO así como la elaboración de las estrategias a seguir a cada uno de los factores, se puede acceder a ella a través del siguiente enlace: <https://dafo.ipyme.org/Home#&&q=matriz-de-factores>

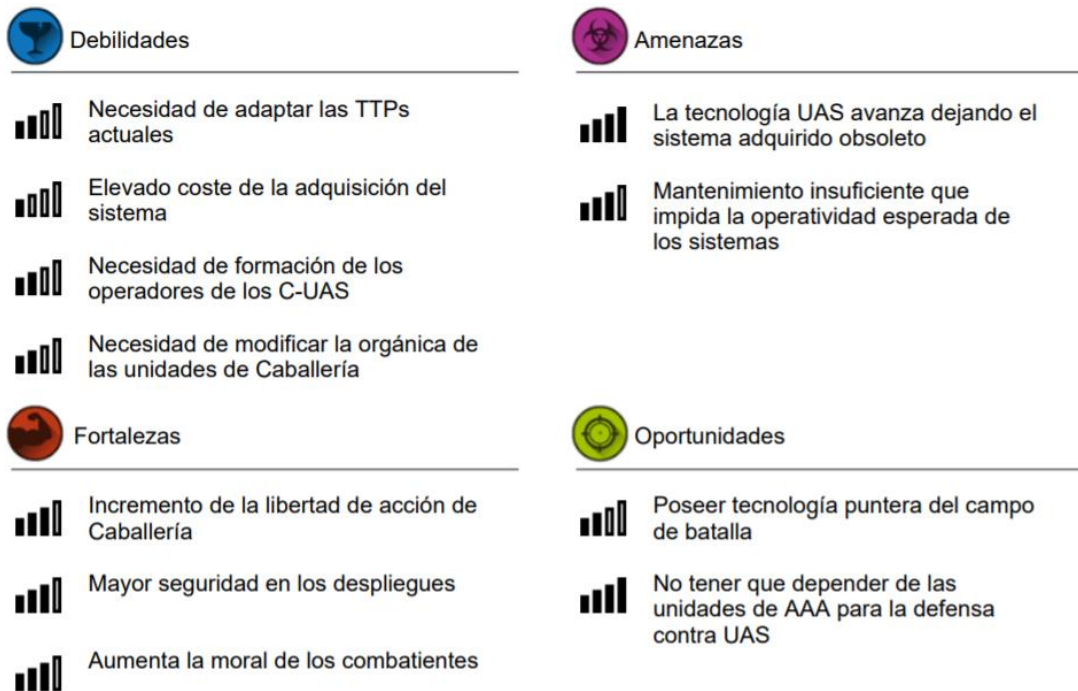


Figura 1. Matriz de factores DAFO. Fuente: elaboración propia

A continuación, se detallan las estrategias a seguir.

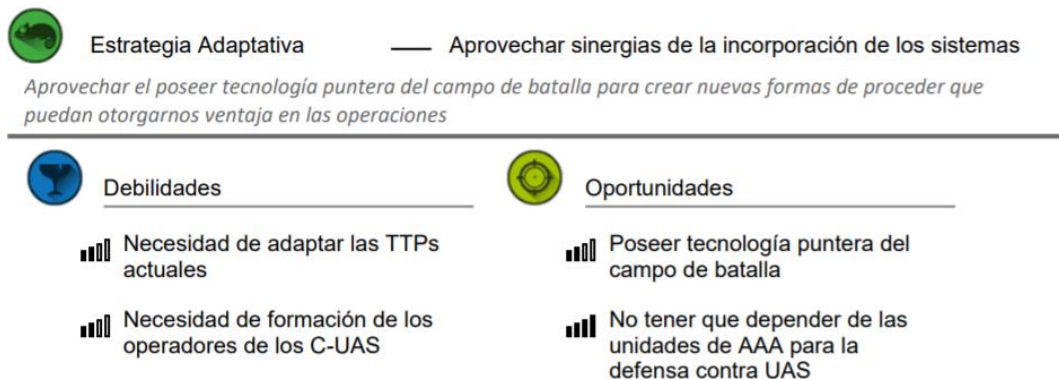


Figura 2. Estrategia adaptativa. Fuente: elaboración propia

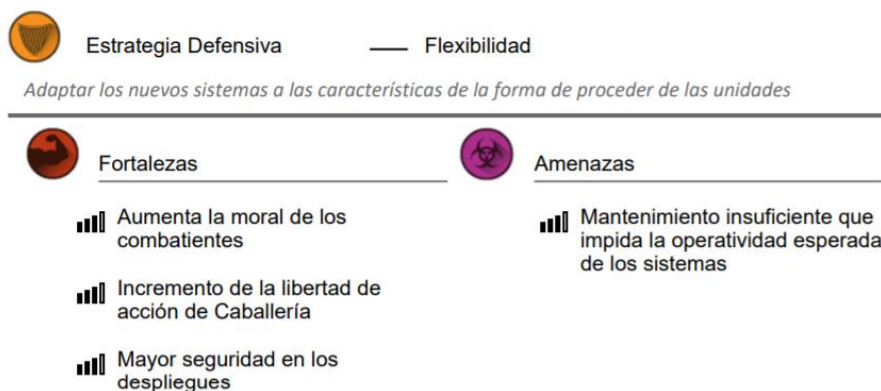


Figura 3. Estrategia defensiva. Fuente: elaboración propia

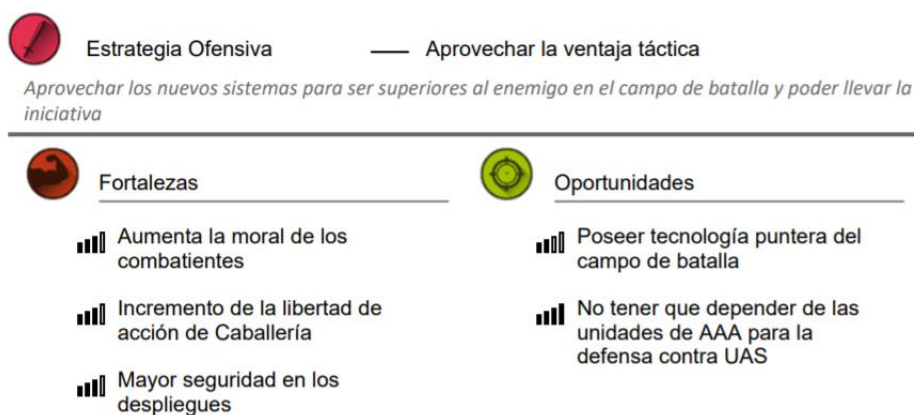


Figura 4. Estrategia ofensiva. Fuente: elaboración propia

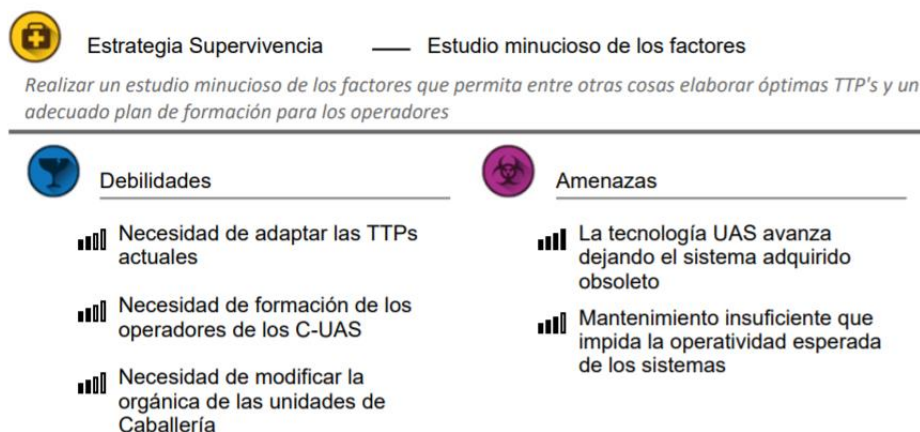


Figura 5. Estrategia supervivencia. Fuente: elaboración propia

1.2. ESTRUCTURA

El trabajo se ha estructurado en 8 bloques diferenciados, empezando con una breve introducción al proyecto y aquello que ha motivado a la realización de este proyecto. Posteriormente, en el segundo apartado se realiza una presentación de los objetivos marcados y la metodología que se ha llevado para su realización. En el apartado 3 se abarcan los antecedentes del proyecto. En el siguiente



apartado, se basa en el estudio de la tecnología UAS, lo que se espera encontrar y de sus capacidades. El apartado 4 se dedica a la tecnología C-UAS, los medios usados alguna vez por el Ejército de España y otros medios existentes en el mercado. Seguidamente, en el apartado 5 se realiza un estudio para encontrar el medio adecuado para incorporarlo en las unidades. En el apartado 6 se estudia la forma en la que los sistemas C-UAS se incorporarían en los distintos despliegues que puede realizar las unidades de Caballería. Posteriormente se analizan las distintas conclusiones que se han podido realizar durante la realización de este trabajo. Finalmente, en el apartado 8 se encuentran las fuentes bibliográficas usadas en el proyecto.



2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo del presente trabajo es dar una posible solución a la vulnerabilidad de las unidades de Caballería debido a la amenaza que produce en uso de UAS por parte del enemigo. Aunque el proyecto se realizará sobre la amenaza de UAS, este se centrará principalmente en los RPAS, los cuales son una particularidad de estos sistemas. Por este motivo, los objetivos secundarios del proyecto son los siguientes:

- Conocer la amenaza a la que se enfrentan las unidades de Caballería.
- Estudiar las capacidades de los C-UAS
- Analizar los distintos C-UAS que se ha utilizado España.
- Analizar distintos C-UAS que se encuentran en el mercado
- Realizar un análisis comparativo con los UAS estudiados.
- Plantear la integración de los sistemas C-UAS en los despliegues de Caballería

Con la realización de este proyecto se pretende proporcionar una propuesta de adquisición de un sistema C-UAS para integrarlo en los Escuadrones de Caballería. Además, se busca dar un posible empleo de estos sistemas una vez integrado para adaptarlo a los distintos despliegues que pueden realizar estas unidades

2.2. METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos que se han planteado se seguirá la metodología deductiva, lo que supone asentar primero unas bases teóricas sólidas y partir de unas ideas generales para al final conseguir unas conclusiones particulares para el tema de estudio. En primer lugar, se realizará una exhaustiva revisión de documentos y trabajos realizados relativos al tema de estudio. Una vez asentadas las bases teóricas, se procederá a la recogida de datos y al análisis de los mismos. Tras este análisis, se llegarán a unas conclusiones sobre diferentes aspectos a tener en cuenta a la hora de adquirir un C-UAS adecuado y su implementación en los Escuadrones de Caballería.

Las principales herramientas han sido: (1) distribución de un cuestionario, (2) realización de entrevistas a personal experto con la finalidad de obtener los datos necesarios para el estudio, (3) análisis de los resultados obtenidos del cuestionario y (4) análisis de debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades (DAFO). Aunque se propuso la realización del despliegue funcional de la calidad, este no se ha llevado a cabo debido a que llegado el momento se llegó a la conclusión de que la realización de este no aportaba valor añadido al proyecto.

3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

El primer programa a nivel nacional para la obtención de medios C-RPAS (Contra Sistemas Aéreos Remotamente Pilotados, Counter Remotely Piloted Aereal System) se inició a finales de



diciembre del 2017 cuando una propuesta de Problema Militar Operativo (PMO) fue presentada por la Célula Nacional Contra IED (CENDIED) en la que se identificaba la carencia actual de las Fuerzas Armadas de España en cuanto a capacidades y procedimientos para detectar, identificar y neutralizar el peligro que supone el uso de sistemas aéreos no tripulados por parte del enemigo. El PMO fue validado, lo que significó el reconocimiento de la incapacidad que tienen las FAS (Fuerzas Armadas) españolas en cuanto a la materia. Además, creó la necesidad de incluirlo en el proceso de Planeamiento de la Defensa con el objetivo de desarrollar la capacidad C-UAS LSS (Bajo, Lento, Pequeño, Low, Slow, Small), debido a que aeronaves más grandes son neutralizadas comúnmente por los sistemas antiaéreos convencionales (Ministerio de Defensa, 2019).

A mediados de marzo de 2018 al Centro Conjunto de Desarrollo de Conceptos (CCDC) le fue asignada la tarea de dirigir el concepto “Contra Sistemas Aéreos No tripulados”, donde el objetivo era obtener la solución más eficaz al problema siendo tratado como concepto urgente, por lo que sería elevado al JEMAD (Jefe de Estado Mayor de la Defensa) para su aprobación no más tarde de enero de 2019 (Ministerio de Defensa, 2019).

A su vez, la DGAM (Dirección General de Armamento y Material) puso en marcha en 2018 el proyecto CONDOR, orientada a empresas de ámbito nacional siendo una iniciativa de I+D+i. Esto tenía como objetivo de que empresas civiles realizaran proyectos que cumplieran una serie de características y pudieran ser de utilidad en el ámbito militar (Tecnología e Innovación de la Dirección General de Armamento y Material, 2018).

4. TECNOLOGÍA RPAS

4.1. DEFINICIÓN

En primer lugar, es necesario realizar una serie de definiciones para poder diferenciar los distintos conceptos de vehículos a los que se hará referencia a lo largo de este trabajo. De esta forma, el concepto UAV (Vehículo Aéreo no Tripulado, Unmanned Aerial Vehicle) engloba todas aquellas aeronaves que vuelan sin piloto a bordo y son el principal elemento de los UAS, que además de éste, también consta de la estación en tierra y del enlace de comunicaciones (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, 2019).

Dichas aeronaves pueden actuar de diversas formas: pueden tener programadas un patrón de vuelo, funcionar de forma completamente autónoma o pueden estar manejadas desde la distancia por un operador. Éste último caso se denomina RPA (Aeronave Remotamente Pilotada, Remotely Piloted Aircraft) y si además englobamos la estación de tierra y el enlace de comunicaciones se entenderá como RPAS (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, 2019).

Un RPA es, por tanto, una aeronave que no precisa a una persona para manejarla desde su interior y es, entonces, pilotada desde la distancia. Además, estos medios deben ser reutilizables, es decir, deben de poder ser utilizados una gran cantidad de veces. Alternativamente a ser remotamente pilotados, pueden tener un programa de vuelo automático. Estos no están catalogados como arma guiada o similar (Fernández, 2020).

Un RPA, por lo tanto, es un caso concreto de UAS, lo que hace que todos los RPA sean UAS pero no en el caso contrario.



4.2. AMENAZA Y ANALISIS DE RIESGO

Cada vez es más frecuente el uso de RPAS en los conflictos armados, esto supone un problema a solventar que se está convirtiendo poco a poco en la prioridad de las potencias actuales. Su proliferación se ve motivada por los siguientes factores (Fernández, 2020):

- Creciente desarrollo de las tecnologías de los RPAS.
- Gran utilidad en todo el espectro del conflicto.
- Facilidad en cuanto a su uso.
- Gran oferta en el mercado.
- Facilidad de adquisición.
- Bajo coste de compra.
- Gran dificultad para su detección (baja firma térmica y acústica).
- Baja concienciación sobre la amenaza de estos dispositivos.

Además de todas estas causas, la amenaza radica sobre todo en la posibilidad que tienen algunos de estos medios de realizar acciones ofensivas en profundidad, siendo capaces de golpear objetivos como puestos de mando, unidades logísticas y en segundos escalones, puntos clave del terreno o zonas de reunión. Lo que supone que no tener unas capacidades adecuadas para contrarrestar estos medios derive en una gran desestabilización en las unidades que acabará cambiando el curso del conflicto.

Por otro lado, las misiones usuales de los medios RPAS suelen orientarse a la obtención de información para inteligencia, vigilancia, reconocimiento, adquisición de objetivos y evaluación de efectos del combate (BDA, Evaluación del Daño de Batalla, Battle Damage Assesment). Esto puede no ser tan peligroso como el anterior uso, sin embargo, sigue teniendo un peso muy importante en las operaciones.

De esta forma, los medios RPAS consiguen otorgar las siguientes capacidades a las unidades en las que se integran (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016):

- Apoyo al mando y control
- Apoyo logístico
- Ataque próximo
- Seguridad
- Guerra electrónica
- Obtención de información
- Designación e identificación de objetivos
- Valoración táctica de efectos
- PSYOPS (Operaciones Psicológicas, Psychological Operations)
- Interdicción (inhabilitar a terceros en determinadas materias)
- Contra IED (Dispositivos Explosivos Improvisados, Improvised Explosive Devices)



Para estudiar las amenazas que supone el uso de estos medios por parte del enemigo, se ha procedido a la realización de un análisis de riesgos (anexo E). Donde se han observado los siguientes riesgos:

Tabla 1. Riesgos uso de UAS por parte del enemigo. Fuente: elaboración propia

Descripción del riesgo	Clase del riesgo
Sufrir un ataque a unidades logísticas	1H
Libre uso de los UAS para funciones ISTAR por parte del enemigo	3M
Sufrir un ataque durante una escolta	2H
Sufrir durante una línea de vigilancia o defensiva	2M
Sufrir un ataque durante un reconocimiento propio	1M
Uso del enemigo a modo de distracción para un ataque principal	1M
Uso del enemigo como difusor de propaganda ²	2L
Sufrir un ataque en instalaciones propias	1M
Baja moral de los combatientes	3H

Los riesgos han sido evaluados con respecto a la probabilidad de su aparición y al impacto que estos generan, dependiendo de la combinación de estos, los riesgos son clasificados como Críticos, Alto – Medio, Medio y Bajo:

Tabla 2. Matriz de riesgos. Fuente: elaboración propia

	3	0	1	1
Probabilidad	2	1	1	1
	1	0	3	1
		Bajo	Medio	Alto
		Impacto		

Tabla 3. Estadística de la matriz de riesgos. Fuente: elaboración propia

Clase de riesgo	Número
Crítico	1
Alto-Medio	2
Medio	6
Bajo	0
Total	9

Se observa que los riesgos propios ocasionados por el uso de estos medios por parte del enemigo son altos, sin embargo, se pueden paliar fácilmente estos riesgos con la incorporación de los medios C-UAS en los distintos despliegues de Caballería, además de en sus respectivos cuarteles (anexo E). Una vez aplicadas las correspondientes soluciones a los distintos riesgos, se consigue disminuir en gran medida el impacto generado por estas:

² Los drones pueden ser usados por los insurgentes para difundir propaganda entre la población y así obtener el apoyo de esta.



Tabla 4. Riesgos tras incorporación de C-UAS en las unidades propias. Fuente: elaboración propia

Descripción del riesgo	Clase del riesgo
Sufrir un ataque a unidades logísticas	1M
Libre uso de los UAS para funciones ISTAR por parte del enemigo	2M
Sufrir un ataque durante una escolta	2M
Sufrir durante una línea de vigilancia o defensiva	2L
Sufrir un ataque durante un reconocimiento propio	1L
Uso del enemigo a modo de distracción para un ataque principal	1L
Uso del enemigo como difusor de propaganda	1L
Sufrir un ataque en instalaciones propias	1L
Baja moral de los combatientes	1L

Por su parte, la matriz de riesgos final y la estadística final de la matriz de riesgos queda de la siguiente forma:

Tabla 5. Matriz de riesgos tras incorporación de C-UAS en las unidades propias. Fuente: elaboración propia

	3	0	0	0
Probabilidad	2	1	2	0
	1	5	1	0
		Bajo	Medio	Alto
		Impacto		

Tabla 6. Estadística de la matriz de riesgos tras incorporación de C-UAS en las unidades propias. Fuente: elaboración propia

Clase riesgo	Número
Crítico	0
Alto-Medio	0
Medio	4
Bajo	5
Total	9

4.3. TIPOS DE RPAS

Debido a las múltiples características de los RPAS, estos se pueden clasificar siguiendo diferentes criterios. En este caso se ha tomado la clasificación realizada por la OTAN, la cual se basa en el peso máximo al despegue, su altura de operación normal y su rango de emisión (Véase Tabla 7)

**Tabla 7.** Clasificación RPAS según OTAN (Ministerio de Defensa, 2015).

Clase	Categoría	Empleo habitual	Altura de operación normal	Radio de Misión
Clase I (< 150 Kg)	Micro < 66 Julios	Subunidad táctica (lanzamiento manual), operadores individuales	≤ 200 pies	5 km
	Mini <15 Kg	Subunidad táctica (lanzamiento manual), operadores individuales	≤ 3.000 pies	25 Km
	Small > 15 Kg < 150 Kg	Unidad Táctica (utiliza sistema de lanzamiento)	≤ 5.000 pies	50 Km
Clase II (150 Kg-600 Kg)	TÁCTICO	Formación Táctica	≤ 10.000 pies	200 Km
Clase III (>600Kg)	MALE (Medium Altitude Long Endurance)	Operacional / de Teatro	≤ 45.000 pies	Sin límite
	HALE (High Altitude Long Endurance)	Estratégico	≤ 65.000 pies	Sin límite
	Ataque/Combate	Estratégico/Operacional	≤ 65.000 pies	Sin límite

Como se puede observar, existen tres clases principales de RPAS, desde la clase I que sería la de menor peso y tamaño hasta la clase III, los más grandes que ya cuentan con un tamaño y peso considerables. Este proyecto se centrará principalmente en los de clase I ya que los de clase II y III se hacen frente con sistemas antiaéreos convencionales (Ministerio de Defensa, 2015).

Además de esta primera clasificación, también podemos diferenciar dos grandes tipos de RPAS según su ala; de ala fija o de ala rotatoria.

Los RPAS de ala fija siempre tienen un despegue horizontal y necesitan una velocidad inicial para que sean capaces de mantenerse en el aire. Como principal ventaja destaca su autonomía y en consecuencia, tiene la capacidad de alcanzar grandes distancias (C. Cuerno Rejado, 2015).

Los RPAS de ala rotatoria son aquellos que tienen incorporadas hélices en cada uno de sus extremos que permiten su sustentación en el aire. Debido a su naturaleza, tienen un despegue VTOL (Despegue y Aterrizaje Vertical, Vertical Take-Off and Landing), lo que necesita de menos espacio para ser lanzados que los de ala fija. Estos, a diferencia de los anteriores tienen una gran estabilidad consiguiendo incluso el vuelo estacionario lo cual permite otorgar una imagen fija y estable que permitirá obtener un mayor detalle de la información obtenida (C. Cuerno Rejado, 2015).



4.4. LIMITACIONES

Del mismo modo que las naves tripuladas, los RPAS cuentan con una serie de limitaciones que influyen en la capacidad de funcionar al máximo de sus capacidades, las cuales las podríamos englobar en tres grandes grupos (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016):

- Operativas:
 - Su vuelo está regulado bajo un estricto control del espacio aéreo.
 - Los operadores deben poseer la certificación necesaria para el manejo de estos medios.
 - Se necesita una cantidad de elementos logísticos para su uso, como puede ser el carburante en determinados RPAS, mantenimiento o plataforma o rampa de lanzamiento.
- Meteorológicas:
 - Su uso está muy condicionado por las fuertes condiciones meteorológicas como pueden ser grandes ráfagas de viento o lluvia intensa, así como niebla densa.
 - Se ven muy afectados por las temperaturas extremas, imposibilitando su uso.
- Técnicas:
 - Se ven limitados por su autonomía de vuelo.
 - En determinados RPAS se ven condicionados por el alcance de los medios de visión directa.
 - Tienen poca capacidad de supervivencia en caso de accidente.
 - Están fuertemente influidos por las interferencias electromagnéticas, ya sean por sistemas civiles de transmisión o inhibidores de frecuencias.
 - Se ven limitados por la orografía en respecto a las comunicaciones.

5. TECNOLOGÍA C-RPAS

5.1. DEFINICIÓN

Los sistemas C-RPAS consisten en el conjunto de medios que utilizan técnicas para detectar y/o neutralizar RPAS. Para ello se utilizan una gran variedad de métodos que van evolucionando poco a poco con el paso del tiempo. Se dividen en dos grandes grupos: acciones enfocadas a la detección de las aeronaves y acciones dirigidas a su neutralización. En la tabla 8 se muestra las diferentes acciones que podrán realizar los C-RPAS en cuanto a las aeronaves que, posteriormente, serán explicadas (Epequip, 2019).

**Tabla 8.** Tipos de acciones C-RPAS. Fuente: elaboración propia

Tipos de acciones	
Detección	Neutralización
Radar	Jamming
Radio-frecuencia	Spoofing
Luz electr�ptica/ infrarroja (EO/IR)	Laser
Medios acusticos	Microondas de alta potencia
Identificación electrónica	Uso de redes

5.1.1. DETECCIÓN

La detección de los sistemas RPAS consiste en uno de los aspectos más importantes. Se trata de la fase inicial de cualquier sistema C-RPAS y su temprana detección puede suponer evitar grandes pérdidas mediante el uso de acciones pasivas si no contamos con medios que utilicen acciones de neutralización. Nos podemos encontrar varios tipos de acciones encaminadas a la detección (Epequip, 2019):

- Radar: se trata del sistema de detección más utilizado en los sistemas C-RPAS, este se basa en la emisión de una onda de frecuencia y potencia determinada para posteriormente recibir la onda reflejada por el objeto. Para distinguir objetos estacionarios de móviles se usa el efecto Doppler, con el cual, al rebotar las ondas en un objeto que est  en movimiento, éstas volverán con una variación en su frecuencia.
- Con el uso de radares 2D se obtiene la dirección y distancia al objeto, además, si se usa un radar 3D se obtiene también la altitud de éste.
- Radio-frecuencia: estos sensores se basan en la comunicación entre el sistema RPA y el GCS (Estación de Control en Tierra, Ground Control Station). Para la detección de las aeronaves se analiza las ondas de radio que éste recibe siendo posible la localización del GCS. Además, debido a que cada RPAS tienen firmas de radio diferentes, es posible averiguar de que sistema se trata y así elegir la respuesta más adecuada en cada momento.
- Luz electr ptica e infrarroja (EO/IR): estos son medios que se basan en la observación con medios ópticos y térmicos. Tiene la ventaja que se ve poco influido por las condiciones atmosféricas, sin embargo, no cuenta con el alcance que tienen los otros medios y se ve expuesto a una gran cantidad de falsos positivos ya que puede ser fácilmente confundido un ave con un RPAS. Además, hay determinadas aeronaves que cuentan con una baja firma térmica lo que las hace difícil de detectar utilizando este sistema.
- Acústico: Este sistema consiste en la utilización de micrófonos de alta sensibilidad junto a sistemas de análisis de audio para detectar, rastrear e identificar el ruido generado por las hélices y motores de las aeronaves. Debido a que cada RPAS tiene un sonido diferente, es posible almacenar esos datos para poder posteriormente identificar estos medios con solamente su sonido. Debido a que este sistema se basa en el análisis de sonido, se ven negativamente alterados en sitios con alta contaminación acústica. Además, estos sistemas son capaces de calcular la ubicación aproximada del objeto mediante el uso de triangulaciones y algunos son capaces de obtener su velocidad y dirección mediante el uso del efecto Doppler.
- La efectividad de todos estos sistemas dependerá de una serie de parámetros característicos para cada uno de ellos (Véase Tabla 9) (Epequip, 2019).



Tabla 9. Parámetros sistemas de detección en función de las acciones. Fuente: elaboración propia

	Parámetros	Definición
Radar	Rango de detección	Se trata del alcance de detección que tiene el radar en línea recta, sin embargo, el tamaño de las aeronaves y las condiciones ambientales pueden reducir notablemente esta distancia.
	Campo de visión	Se trata del área total cubierta por el sistema contando con las posibles rotaciones que pueda realizar el radar. Se mide en grados
	Banda de frecuencia	El radar al ser un sensor activo emite una serie de ondas a una frecuencia determinada.
	Ratio de escaneo	Se trata de la velocidad con la que un radar puede escanear un área determinada
	Potencia	Se trata de la cantidad de potencia emitida por segundo. Medida en vatios (W)
Radio-frecuencia	Rango de detección	Se trata del alcance de detección que tiene el radar en línea recta, esto se ve afectado por el terreno.
	Radio frecuencias	Se trata del rango de frecuencias utilizado para el escaneo de los RPAS
	Dirección de búsqueda	Estos sistemas son capaces de indicar la dirección aproximada en la que se encuentra el objetivo. Esto se mide en grados, que indican que el objetivo estará en una determinada dirección \pm los grados indicados
	Geolocalización	Instalando dos o más sensores de radio frecuencia en un área determinada se puede conocer la ubicación del objetivo realizando triangulaciones
	Clasificación	Debido a que cada RPAS funciona con una firma de frecuencias determinada se puede conocer de qué sistema se trata
EO/IR	Rango de detección	Se trata de la distancia con la cual se puede detectar un RPAS mediante el uso de estos sistemas
	Campo de visión	Se trata del área total cubierta por estos sistemas. Se mide en grados
	Ratio de escaneo	Se trata de la velocidad con la que un área puede ser escaneada
	Resolución de imagen	Se trata de la calidad de la imagen obtenida. Medida en píxeles
Acústicos	Rango de detección	Se trata de la distancia con la cual el sistema acústico puede detectar el RPAS
	Dirección de búsqueda	Estos sistemas son capaces de indicar la dirección aproximada en la que se encuentra el objetivo. Esto se mide en grados, que indican que el objetivo estará en una determinada dirección \pm los grados indicados
	Geolocalización	Instalando dos o más sensores de este tipo se puede obtener la ubicación del objetivo mediante triangulaciones
	Clasificación	Como cada RPAS tiene un sonido diferente, es posible conocer que de sistema se trata



5.1.2. NEUTRALIZACIÓN

Una vez detectado el UAS, se procederá a tomar acciones para mitigar los efectos negativos del mismo. Éstas no tienen por qué ser necesariamente medidas enfocadas a la destrucción del UAV, sino que pueden ser, por ejemplo, localizar el operador o el GCS de manera que se pueda parar el funcionamiento del sistema. A continuación, se describirán las posibles acciones que se utilizan para la neutralización de los UAS. Se encuentran dos diferentes tipos de técnicas: electrónicas y cinéticas.

Las técnicas electrónicas se basan en el uso de emisiones de radiofrecuencias para influir en las comunicaciones del UAV y el GCS o GNSS (Sistemas de Navegación Global por Satélite, Global Navigation Satellite System). Se puede distinguir en dos tipos: jamming y spoofing (B. Patel, 2019).

- **Jamming:** este tipo de técnica consiste en la emisión de señales de radiofrecuencias con una potencia superior que las del sistema de control de la aeronave con el objetivo de interferir entre las comunicaciones entre el UAV y el GCS o GNSS de manera que sea incapaz la aeronave de recibir las instrucciones del operador. Sin embargo, muchos UAVs tienen automatizado un modo de proceder cuando estos pierden la señal con el sistema de control, los cuales pueden ser entre quedarse volando en la zona en la que perdieron la señal, volver a su zona inicial de lanzamiento, aterrizar en la zona donde perdió la señal o desplazarse a unas coordenadas previamente introducidas.
- **Spoofing:** este método se basa en la emisión de una señal análoga a la que recibe el UAV, pero de más potencia con el objetivo de que el receptor pasa a recibir la falsa señal en lugar de la verdadera. Con esto se consigue suplantar al sistema de control y evitar el correcto funcionamiento del sistema, así como obtener información sensible del UAS.

En cuanto a las técnicas cinéticas, éstas utilizan métodos para dañar físicamente la aeronave. Se pueden diferenciar dos tipos (B. Patel, 2019):

- Uso de redes o dispositivos con la capacidad de lanzarlas con el objetivo de “cazar” el UAV, además, es posible el uso de UAS propios que porten redes para poder parar las aeronaves enemigas.
- Uso de armas láser y armas de microondas de alta potencia. Estas consisten en el uso de una gran cantidad de energía electromagnética en un haz estrecho para poder dañar o destruir físicamente el UAV en el primer caso o poder dañar los circuitos de la aeronave en el caso del uso de las microondas de alta potencia.

5.2. C-UAS en el ET

5.1.1 Anti-UAV Defence System (AUDS)

El AUDS se trata de un C-UAS fijo muy completo que realiza funciones tanto de Búsqueda, seguimiento y neutralización (Gallego, 2020).

El sistema se compone de tres partes bien diferenciadas; el radar, el sistema electro-óptico y el inhibidor de radio-frecuencias.

El radar en cuestión es capaz de detectar aeronaves hasta una distancia de 10 km y está optimizado para descubrir incluso los pequeños UAVs. En cuanto a su campo de visión, se puede elegir entre un barrido de 180° o 360°.



El seguimiento es realizado por un sistema electro-óptico que permite al operador la identificación del UAV para la evaluación de la amenaza y su procedimiento a seguir. Este cuenta con un sensor óptico que puede llegar hasta los 30 aumentos y una cámara térmica.

Por último, el inhibidor de radio-frecuencias tiene la capacidad de derrotar o provocar el incorrecto funcionamiento de la aeronave mediante la emisión de ondas de radio-frecuencias que permiten tomar el control de UAV para realizar un aterrizaje forzoso.

El sistema es manejado por un operador y tiene la capacidad de batir la amenaza entre 10 y 15 segundos desde el momento de la detección de la aeronave.

Aunque el radar puede llegar a detectar UAS a una distancia de hasta 10 km, realmente el sistema empieza a ser eficaz a partir de 5 km, además el sistema de seguimiento electro-óptico lo es a partir de 4 km y el sistema de inhibición es capaz de neutralizar la amenaza a partir de los 2,5 km.



Figura 6. AUDES. Sistema de detección. Radar (Gallego, 2020).



Figura 7. AUDES. Sistema de seguimientos. Medios electro-ópticos (Gallego, 2020).



Figura 8. AUDES. Sistema de neutralización. Inhibidor (Gallego, 2020).

En la Figura 9 se puede observar el radar chart³ del sistema, donde destaca su alta capacidad de detección y neutralización, así como una alta velocidad y eficacia, sin embargo, se trata de un sistema fijo difícil de transportar.

³ Para la realización del radar chart se han escogido los términos de “detección”, “neutralización”, “movilidad”, “operabilidad”, “eficacia” y “velocidad” los cuales están explicados en el Anexo C.



AntiUAV Defence System (AUDS)

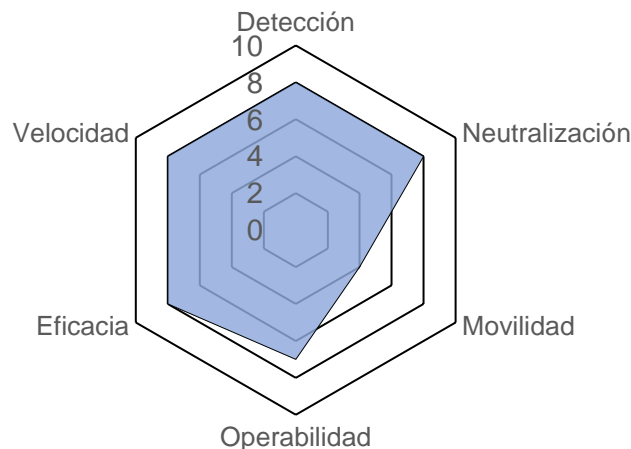


Figura 9. Radar chart Anti-UAV Defense System. Fuente: elaboración propia

5.2.2. DJI Aeroscope

El DJI Aeroscope se trata de un sistema de detección de UAS capaz de interceptar las señales emitidas al UAV y poder así obtener información como el estado de vuelo, rutas, localización del operador o punto de lanzamiento del UAV. Aunque este sistema no cuenta con acciones de neutralización, esta ofrece información necesaria para la toma de medidas que van desde la seguridad de las fuerzas propias hasta la neutralización del operador (DJI Ars Madrid, 2020).

El C-UAS tiene una alta eficacia a la hora de detectar aeronaves de la marca DJI, los cuales simbolizan el 75% de los drones actuales.

Este C-UAS puede articularse de dos formas distintas; en una unidad fija o en una unidad portátil. La primera de estas es capaz de detectar aeronaves hasta una distancia de 50 km y conseguir información de esta en dos segundos. En cambio, la unidad portátil está guardada en una maleta para facilitar su transporte logrando localizar el UAV a una distancia de hasta 5 km.



Figura 10. DJI Aeroscope móvil (DJI Aeroscope, 2020).



Figura 11. DJI Aeroscope fijo (DJI Aeroscope, 2020).



En la Figura 12 se puede ver el radar chart del sistema donde destaca su alta distancia de detección de UAV, así como su movilidad, ya que dispone de una configuración móvil, sin embargo, este sistema carece de acciones de neutralización, lo cual se limita a acciones para paliar los efectos negativos o la captura del operador.

DJI Aeroscope

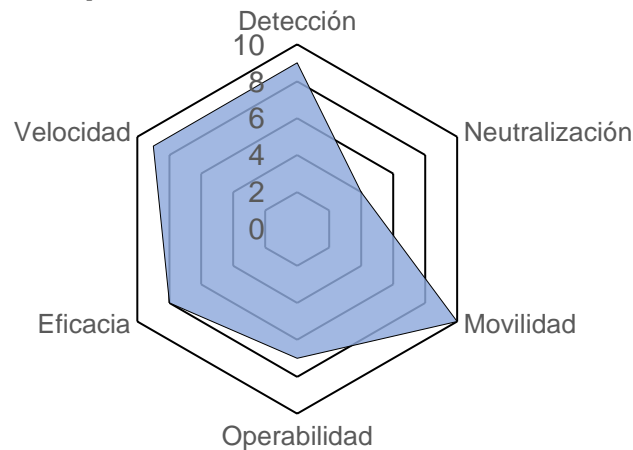


Figura 12. Radar chart DJI Aeroscope. Fuente: elaboración propia

5.2.3. SENDES HD02

El C-UAS SENDES HD02 se trata de un sistema portátil que consiste en una pistola que emite una radiofrecuencia dirigida que neutraliza el UAV objetivo mediante la técnica de Jamming mencionada anteriormente, con lo que se conseguiría poder derribar el objetivo de forma segura sin que este pudiera detonar cualquier explosivo que pudiera llevar consigo. Este sistema carece de un sistema de detección por lo que su uso se limita a batir aeronaves descubiertas de antemano (ASTD-SENDES, 2018).

El C-UAS es ligero y fácil de usar operado solamente por una persona y es capaz de neutralizar un objetivo hasta a 1000 metros de distancia



Figura 13. Sendes HD02 (ASTD-SENDES, 2018).



En la Figura 14 se puede ver el radar chart del sistema, donde destaca su movilidad y velocidad, al ser un sistema de poco peso y tamaño que puede ser utilizado rápidamente para la neutralización del objetivo, sin embargo, carece de medios para la detección de estos.

SENDES HD02

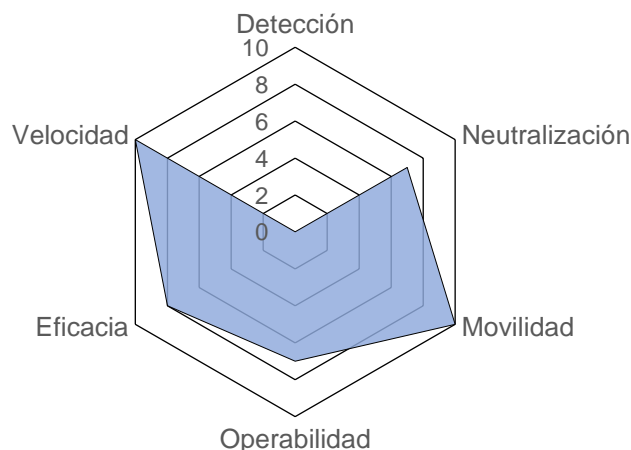


Figura 14. Radar chart SENDES HD02. Fuente: elaboración propia

5.2.4. Battelle drone defender

Este sistema es bastante parecido al anterior, se trata también de un sistema portátil que tiene la capacidad de realizar una emisión de radiofrecuencias de forma dirigida y utiliza la técnica de Jamming, que como en el caso anterior, permite neutralizar el objetivo de forma segura (Battelle, 2020).

El C-UAS, operado por una persona, carece de sistema de detección de aeronaves y puede neutralizar el objetivo a una distancia de hasta 2 km.

Como ventaja, destaca que es un sistema de fácil uso, peso reducido con la capacidad de poder ser usado en tan solo unos pocos segundos.

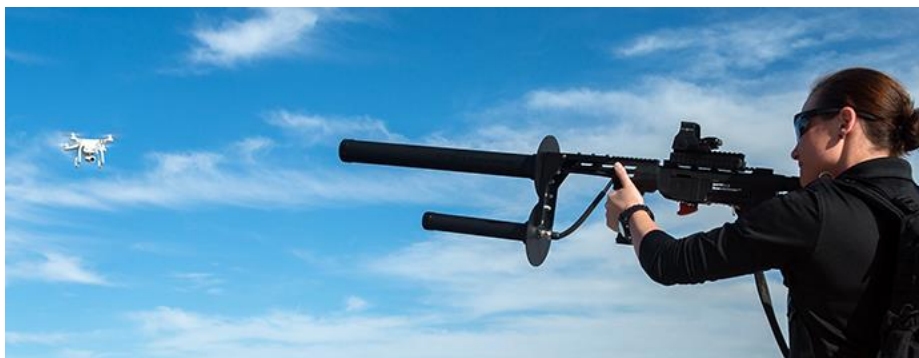


Figura 15. Battelle drone defender (Morris, 2016).

En la Figura 16 se puede ver el radar chart del sistema, donde destaca la movilidad y velocidad del sistema por su reducido peso y capacidad de neutralizar la amenaza en pocos segundos. Además,



cuenta con una gran capacidad de neutralización debido a que es capaz de batir la amenaza desde una gran distancia. Sin embargo, carece de medios que detecten la amenaza.

Battelle drone defender

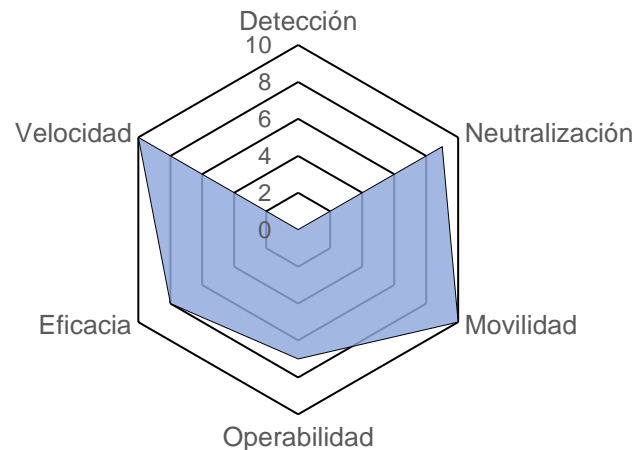


Figura 16. Radar chart Battelle drone defender. Fuente: elaboración propia

5.2.5. Drone Hunter

Este sistema fue elegido y adquirido por España para proporcionar defensa contra UAV en el acuartelamiento de Retamares, en Pozuelo de Alarcón, la cual es la sede del MOPS (Mando de Operaciones), del MCOE (Mando Conjunto de Operaciones Especiales), del CIFAS (Centro de Inteligencia de las FAS y del Mando Conjunto de Ciberdefensa (Sanz, 2017).

El sistema dispone de medios para la detección y neutralización de los objetivos. Con respecto a la detección, tiene un radar, un detector de radiofrecuencias, un sistema electro-óptico y un detector de sonido. Los cuales tienen una distancia de detección que varía en función al tipo de radar y al UAV objetivo. Ésta oscila entre los 80 metros en el caso del detector auditivo hasta los 5 km del detector de radiofrecuencia (Hunter, 2016).

En cuanto a los métodos de neutralización, este sistema cuenta con acciones tanto Jamming como Spoofing, pudiendo cortar la comunicación entre operador y UAV o tomar el control de la aeronave para aterrizarla de forma segura.



Figura 17. C-UAS Drone Hunter (Hunter, 2016).

En la Figura 18 se puede ver el radar chart del sistema el cual destaca su capacidad de detección gracias a su gran alcance y sensores utilizados. Así mismo se trata de un sistema fijo con capacidad para ser transportado de forma relativamente sencilla.

Drone Hunter

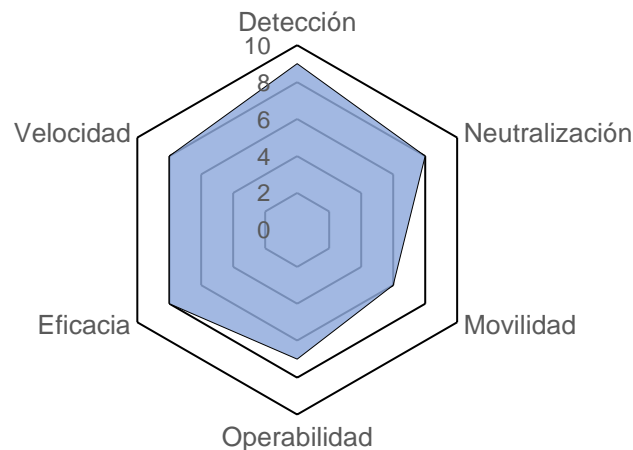


Figura 18. Radar chart Drone Hunter. Fuente: elaboración propia

5.3. C-UAS comerciales

5.3.1. MESMER Department 13

Se trata de un C-UAS de la empresa estadounidense Department 13. Este es un sistema muy completo que realiza funciones tanto de detección como de neutralización. Para ello dispone de un sensor de radiofrecuencias que analiza la señal que recibe el UAV para identificarlo, posteriormente se procede a contrarrestar la aeronave utilizando la técnica de Spoofing, anteriormente explicada. Con



esto se consigue tomar el control de del UAV para poder derribarlo con seguridad (Department 13, 2017).

Este sistema puede ser utilizado por un operador o incluso de forma completamente automática y es capaz de localizar aeronaves hasta una distancia de 4 km y batirlos hasta 1 km de distancia.



Figura 19. C-UAS MESMER (Department 13, 2017).



Figura 20. C-UAS MESMER configurado (Department 13, 2017).

En la Figura 21 se puede ver el radar chart del sistema en el cual destaca sobre todo la operabilidad al ser un sistema que puede funcionar de forma completamente autónoma y la movilidad, ya que puede ser transportado con facilidad.

MESMER Departament 13

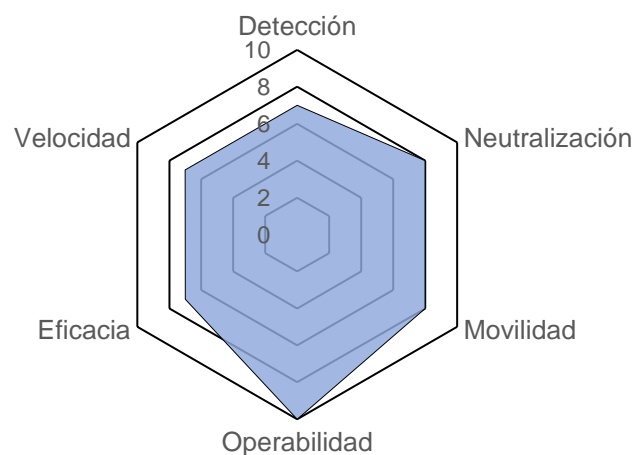


Figura 21. Radar chart MESMER Departament 13. Fuente: elaboración propia

5.3.2. Marduk Shark + Themis Observe

Este es un C-UAS comercial de la empresa Marduk muy completo. Realiza tanto funciones de detección como de neutralización. Para la primera, usa sensores electro-ópticos y un radar de radiofrecuencias que puede llegar a detectar los UAV más pequeños a una distancia de 2 km llegando



a los de clase II hasta una distancia de 10 km. Para batir la amenaza utiliza la tecnología Jamming, consiguiendo interferir en la comunicación de la aeronave con la de su operador (Marduk, 2020).

Su principal ventaja con respecto a las demás es su movilidad. El sistema está integrado en un pequeño vehículo (Themis Observe) que permite acompañar a las fuerzas para proporcionar seguridad.



Figura 22. Marduk Shark + Themis Observe (Marduk, 2020).

En la Figura 23 se puede ver el radar chart del sistema, donde destaca su detección debido a la gran distancia que tiene y su movilidad, ya que se trata de un sistema móvil que puede acompañar a las fuerzas en su avance.

Marduk Shark + Themis Observe

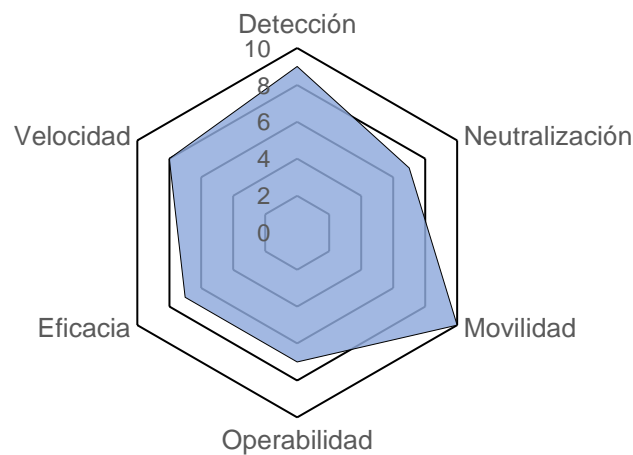


Figura 23. Radar chart Marduk Shark + Themis Observe. Fuente: elaboración propia

5.3.3. Rafael Drone Dome

Drone Dome se trata de un C-UAS de la empresa israelí Rafael que es capaz tanto de detectar como de neutralizar la amenaza. Para la detección cuenta con un radar, un detector de radiofrecuencias y un sensor electro-óptico para maximizar de esta manera la probabilidad de detección, consiguiendo la detección de los drones más pequeños a una distancia e 3.5 km (Rafael Advanced Defense System, 2019).



Para la neutralización, cuenta con métodos tanto electrónicos como cinéticos. El sistema posee un sistema Jamming que corta la comunicación del UAV con el operador pudiendo afectar a múltiples aeronaves al mismo tiempo. Por otro lado, utiliza también técnicas cinéticas, como es el sistema láser, donde se usa un haz de energía electromagnética dirigida con el objetivo de quemar los circuitos del UAV.

El sistema es manejado por un solo operador y puede ser desplegado tanto en una zona concreta o es montado sobre vehículo, proporcionando una seguridad móvil.



Figura 24. Rafael Drone Dome configuración vehicular (Rafael Advanced Defense System, 2019).



Figura 25. Rafael Drone dome configuración fija (Rafael Advanced Defense System, 2019).

En la Figura 26 se puede ver el radar chart del sistema en el que se aprecia que es un sistema muy completo destacando en todos los aspectos. Se puede recalcar su capacidad para ser articulado sobre vehículo además de disponer de medios tanto electrónicos como cinéticos para batir el UAV.

Rafael Drone Dome

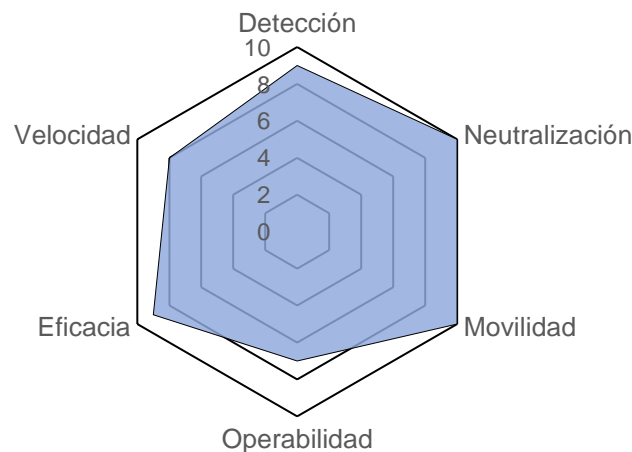


Figura 26. Radar chart Rafael Drone Dome. Fuente: elaboración propia

5.3.4. Torre Skyrange 30

Esta opción se trata de la adquisición de la torre Skyrange 30 de la empresa Rheinmetall que puede ser implementada sobre una plataforma VCR (Vehículo de Combate sobre Ruedas) 8x8



“Dragón”. La torre cuenta con el cañón Oerlikon 30x173 mm y un sistema de misiles superficie-aire de corto alcance (García, 2021).

La torre dispone de un radar de barrido electrónico activo que proporciona visibilidad 360° a través del uso de cinco paneles, éste cuenta con un alcance máximo de hasta 20 km capaz de detectar aeronaves de pequeño tamaño. Además, también cuenta con un sistema de búsqueda infrarroja y realiza también la función de seguimiento del objetivo. Una vez detectado la aeronave cuenta con un sistema electro-óptico con canal térmico.

En cuanto al cañón, éste es capaz de realizar 16 disparos por segundo y emplea munición ABM (Munición Explosiva Aérea, Air Bursting Munition), munición que detona en el aire y crea un cono de fragmentos. El sistema es capaz de programar municiones explosivas para calcular el momento adecuado para su activación produciendo un cono de fragmentos para asegurar el impacto con el objetivo, alcanzando distancias de hasta 3 km.

Por último, su sistema de misiles, que cuenta con un alcance de hasta 10 km y está pensado para tareas tipo C-RAM (Contra Cohetes, Artillería, Morteros, Counter Rocket, Artillery, Morter) (Anexo F). Ésta tiene la capacidad de hacer frente a UAV tipo “loitering” (Anexo G) que son los comúnmente llamados drones suicidas.



Figura 27. Skyranger 30 (García, 2021).

En la Figura 28 se puede ver el radar chart del sistema, que destaca su elevada capacidad de detección con un extenso rango, de neutralización, siendo capaz de batir objetivos a muy alta distancia y por su movilidad, ya que al ser la propia torre del vehículo consigue otorgar la máxima seguridad al despliegue.

Skyrager 30

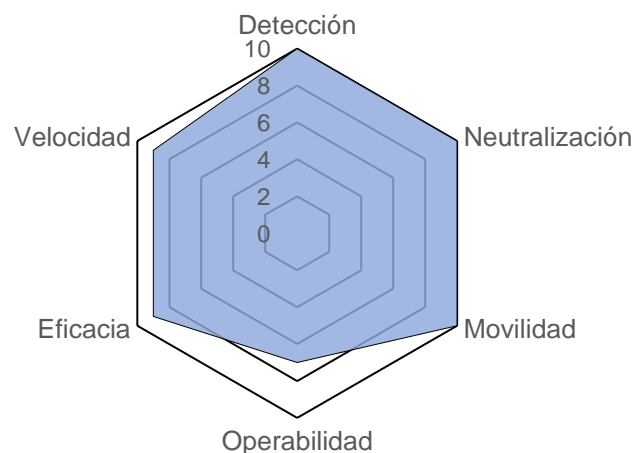


Figura 28. Radar chart Skyranger 30. Fuente: elaboración propia



5.4. ANALISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS

Para la realización del análisis comparativo de los anteriores sistemas C-UAS comentados, se ha decidido el utilizar un análisis multicriterio basado en el método AHP debido a que se analizaron aspectos diferentes de los sistemas, sin embargo, los criterios vistos no tienen la misma importancia entre sí, por lo que es necesario un método que aporte distinto peso a los criterios analizados para conseguir una solución objetiva al análisis. Esto es justo lo que nos permite este método.

El AHP, conocido en español como Proceso de Jerarquía Analítica fue desarrollado por Thomas L. Saaty en los años 70. Se trata de una técnica estructurada para organizar y analizar decisiones complejas y representa un enfoque preciso a la hora de cuantificar el peso de los distintos criterios que basan la decisión (Pirqueras, 2018).

El procedimiento para realizar el mencionado método se puede resumir en los siguientes hitos:

- Modelar el problema a través de una representación jerarquizada.
- Valoración de los criterios y subcriterios
- Evaluación de las alternativas
- Analizar los resultados para la elección de una alternativa

Para la realización de este método se ha hecho uso del programa “Ayuda a la Decisión” destinado específicamente para la realización del método AHP. Este ha sido facilitado por el profesor del Centro Universitario de la Defensa y teniente coronel de Caballería Don Carlos Ruiz López.

5.4.1. Representación jerarquizada del problema

En primer lugar, se han definido una serie de criterios y subcriterios asociados al problema descrito, Así mismo se han establecido 4 alternativas posibles sobre las que se analizarán los criterios.

A pesar que se han analizado 9 sistemas C-UAS, el método AHP es más efectivo con menos alternativas, por lo que inicialmente se ha partido de los análisis realizados mediante los radar charts, eligiendo las 4 mejores alternativas basándose solamente en este sistema.

A continuación, se ha procedido a realizar el diagrama que representa el problema descrito, en un primer lugar se encuentra el objetivo final, seguido de los criterios y a continuación los subcriterios, finalmente en el lugar más bajo del diagrama se encuentran las distintas alternativas a considerar (Figura 29). El diagrama ha sido realizado por el autor apoyándose de la herramienta web “visual paradigm online”⁴.

⁴ Visual paradigm online es una herramienta online que permite el modelado de diagramas de diversos tipos, está disponible en el siguiente enlace: <https://online.visual-paradigm.com/es/>

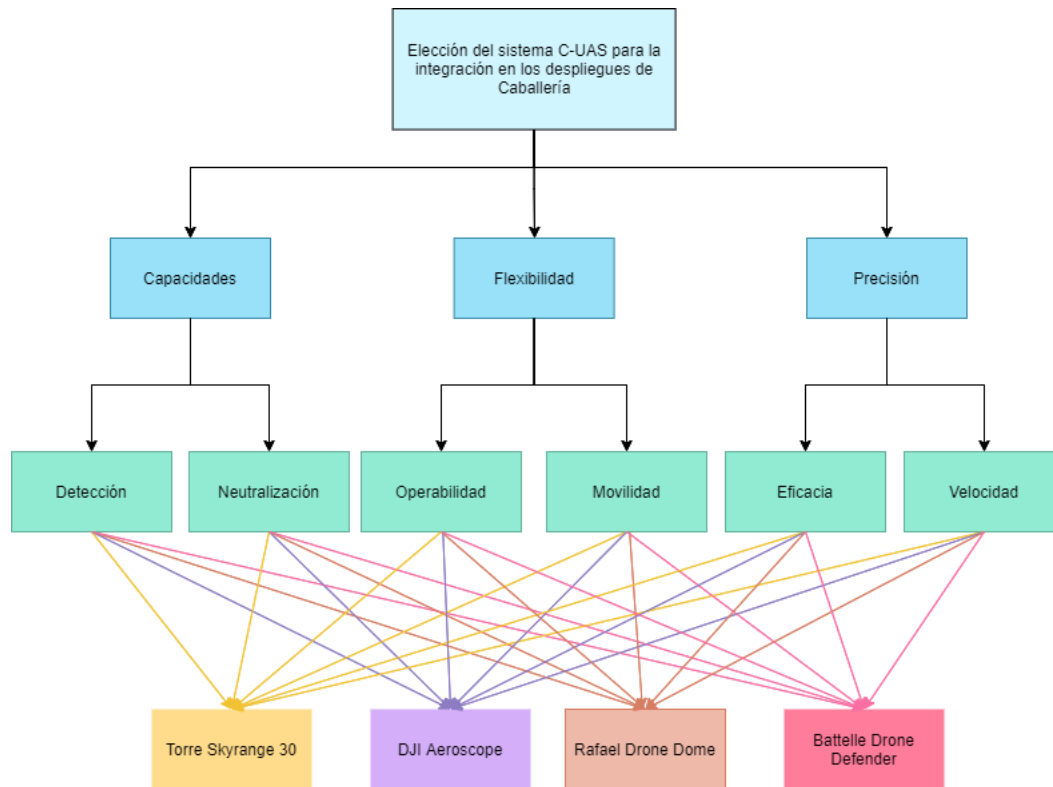


Figura 29. Representación jerarquizada. Fuente: elaboración propia

5.4.2. Valoración de los criterios y subcriterios

A continuación, se ha procedido a realizar una comparación de los distintos criterios, esta se realiza por parejas, es decir valorar por pares cual tiene más peso, para esto se han aplicado los valores especificados por la “escala de Saaty” (Tabla 10). Los siguientes valores también podrán tomar el valor de su inversa, es decir por ejemplo si tiene una “importancia moderada” podrá tomar el valor de “3” o “1/3” dependiendo de si el criterio es más o menos importante.

Tabla 10. Escala de Saaty. Fuente: elaboración propia

Valor	Definición
1	Igual importancia
3	Importancia moderada
5	Importancia grande
7	Importancia muy grande
9	Importancia extrema

Una vez comparado los criterios se calcula el peso ponderado de cada criterio (Tabla 11).

**Tabla 11.** Ponderación de los criterios. Fuente: elaboración propia

Criterios	Capacidades	Flexibilidad	Precisión	Ponderación
Capacidades	1	1/3	3	0,24
Flexibilidad	3	1	7	0,67
Precisión	1/3	1/7	1	0,09

Una vez ponderados los criterios se procede a hacer lo mismo con los subcriterios, se van a comparar los subcriterios entre sí para poder calcular su peso (Tabla 12) (Tabla 13) (Tabla 14).

Tabla 12. Ponderación subcriterios capacidades. Fuente: elaboración propia

Capacidades	Detección	Neutralización	Ponderación
Detección	1	1	0,50
Neutralización	1	1	0,50

Tabla 13. Ponderación subcriterios flexibilidad. Fuente: elaboración propia

Flexibilidad	Operabilidad	Movilidad	Ponderación
Operabilidad	1	1/9	0,10
Movilidad	9	1	0,90

Tabla 14. Ponderación subcriterios precisión. Fuente: elaboración propia

Precisión	Eficacia	Velocidad	Ponderación
Eficacia	1	3	0,75
Velocidad	1/3	1	0,25

5.4.3. Evaluación de las alternativas

En esta etapa se procede a comparar por pares cada uno de los subcriterios en comparación con los distintos C-UAS (Tabla 15) (Tabla 16) (Tabla 17) (Tabla 18) (Tabla 19) (Tabla 20).

**Tabla 15.** Ponderación subcriterio detección en los distintos sistemas. Fuente: elaboración propia

Detección	Torre Skyrange 30	DJI Aeroscope	Rafael Drone dome	Battelle Drone Defender	Ponderación
Torre Skyrange 30	1	3	3	9	0,51
DJI Aeroscope	1/3	1	1	9	0,23
Rafael Drone Dome	1/3	1	1	9	0,23
Battelle Drone Defender	1/9	1/9	1/9	1	0,04

Tabla 16. Ponderación subcriterio neutralización en los distintos sistemas. Fuente: elaboración propia

Neutralización	Torre Skyrange 30	DJI Aeroscope	Rafael Drone dome	Battelle Drone Defender	Ponderación
Torre Skyrange 30	1	7	1	3	0,39
DJI Aeroscope	1/7	1	1/7	1/5	0,05
Rafael Drone Dome	1	7	1	3	0,39
Battelle Drone Defender	1/3	5	1/3	1	0,16

Tabla 17. Ponderación subcriterio operabilidad de los distintos sistemas. Fuente: elaboración propia

Operabilidad	Torre Skyrange 30	DJI Aeroscope	Rafael Drone dome	Battelle Drone Defender	Ponderación
Torre Skyrange 30	1	1	1	1/3	0,17
DJI Aeroscope	1	1	1	1/3	0,17
Rafael Drone Dome	1	1	1	1/3	0,17
Battelle Drone Defender	3	3	3	1	0,50



Tabla 18. Ponderación subcriterio movilidad de los distintos sistemas. Fuente: elaboración propia

Movilidad	Torre Skyrange 30	DJI Aeroscope	Rafael Drone dome	Battelle Drone Defender	Ponderación
Torre Skyrange 30	1	3	1	1	0,30
DJI Aeroscope	1/3	1	1/3	1/3	0,10
Rafael Drone Dome	1	3	1	1	0,30
Battelle Drone Defender	1	3	1	1	0,30

Tabla 19. Ponderación subcriterio eficacia de los distintos sistemas. Fuente: elaboración propia

Eficacia	Torre Skyrange 30	DJI Aeroscope	Rafael Drone dome	Battelle Drone Defender	Ponderación
Torre Skyrange 30	1	3	1	3	0,38
DJI Aeroscope	1/3	1	1/3	1	0,12
Rafael Drone Dome	1	3	1	3	0,38
Battelle Drone Defender	1/3	1	1/3	1	0,12

Tabla 20. Ponderación subcriterio velocidad de los distintos sistemas. Fuente: elaboración propia

Velocidad	Torre Skyrange 30	DJI Aeroscope	Rafael Drone dome	Battelle Drone Defender	Ponderación
Torre Skyrange 30	1	1	3	1/3	0,20
DJI Aeroscope	1	1	3	1/3	0,20
Rafael Drone Dome	1/3	1/3	1	1/5	0,08
Battelle Drone Defender	3	3	5	1	0,52



5.4.4. Análisis de los resultados obtenidos

Una vez se han calculado todos los distintos pesos que corresponden a cada criterio, subcriterio y sistemas se ha procedido a realizar una matriz de decisión (Tabla 21).

Tabla 21. Matriz de decisión. Fuente: elaboración propia

Criterios/subcriterios	Ponderación	Torre Skyrange 30	DJI Aeroscope	Rafael Drone Dome	Battelle Drone Defender
Capacidades	0,24	0,45	0,14	0,31	0,10
Detección	0,50	0,51	0,23	0,23	0,04
Neutralización	0,50	0,39	0,05	0,39	0,16
Flexibilidad	0,67	0,29	0,11	0,29	0,32
Operabilidad	0,10	0,17	0,17	0,17	0,50
Movilidad	0,90	0,30	0,10	0,30	0,30
Precisión	0,09	0,33	0,14	0,30	0,22
Eficacia	0,75	0,38	0,12	0,38	0,12
Velocidad	0,25	0,20	0,20	0,08	0,52
		0,33	0,12	0,29	0,26

En base a los resultados se puede comprobar que la que más valoración ha tenido ha sido la torre Skyrange 30 y en consecuencia, se procederá a elegir este sistema como el más adecuado para incorporarlo a las unidades de Caballería.

6. INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS C-UAS EN LOS ESCUADRONES DE CABALLERÍA

6.1. ORGÁNICA

Una vez establecido el sistema C-UAS que se empleará, se va a proceder a indicar de qué forma se introducirán dichos sistemas en los Escuadrones de Caballería.

Para poder proporcionar de toda la seguridad necesario para los distintos despliegues que puede llevar a cabo un Escuadrón de Caballería se ha decidido el crear una nueva sección de vigilancia y exploración, es decir, ahora dispondríamos de dos de ellas, una en base a VERT's (Vehículo de Exploración y Reconocimiento Terrestre) que era lo ya existente en el Ejército de Tierra, y una nueva en base a cuatro 8x8 "Dragón" con torre Skyrange 30.

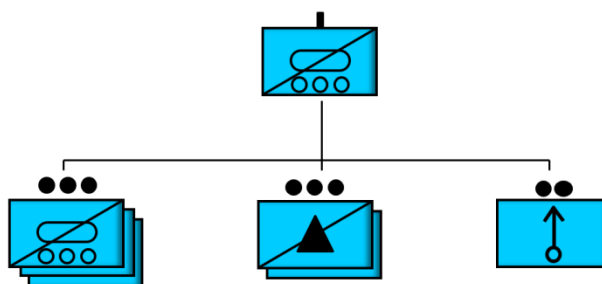


Figura 30. Nueva orgánica Escuadrón de Caballería. Fuente: Elaboración propia

De esta forma se pretende que puedan ser capaces de proporcionar la seguridad necesaria para cuando el Escuadrón despliega reunido y de la misma forma, poder integrarse en las Secciones de Caballería cuando estas desplieguen aisladas.

6.2. RECONOCIMIENTO

El reconocimiento se basa principalmente en la obtención de información sobre el enemigo, el terreno y las condiciones meteorológicas mediante el empleo de acciones terrestres y aéreas para otorgar al mando lo necesario para su toma de decisiones.

6.2.1. Reconocimiento de itinerario

Los reconocimientos de itinerario es una de las acciones tácticas que puede desarrollar la Caballería donde más expuesto se ve, sobre todo, contra amenazas aéreas. Debido a ello, es necesario que para estas acciones se haga uso de estos sistemas.

Para la realización del reconocimiento, la unidad se establece en dos núcleos, el núcleo de reconocimiento y el núcleo de apoyo.

- Núcleo de reconocimiento: es aquel que realiza el reconocimiento propiamente dicho, recorre el itinerario marcado y recopila toda la información necesaria, puede ser necesario tener que hacer pie en determinadas ocasiones.
- Núcleo de apoyo: es el encargado de proporcionar la seguridad al núcleo de reconocimiento.

El objetivo del empleo de estos sistemas es el crear una burbuja de seguridad que proteja todo el despliegue, para ello es necesario intentar llevar siempre el C-UAS lo más centrado posible. En este caso, se ha decidido colocar el sistema en el núcleo de reconocimiento, esto es debido a que el núcleo de reconocimiento es más propenso a recibir hostilidades de sistemas UAS que el núcleo de apoyo, por lo que es necesario que este sea capaz de detectar de forma temprana y así poder reaccionar rápido a la amenaza.

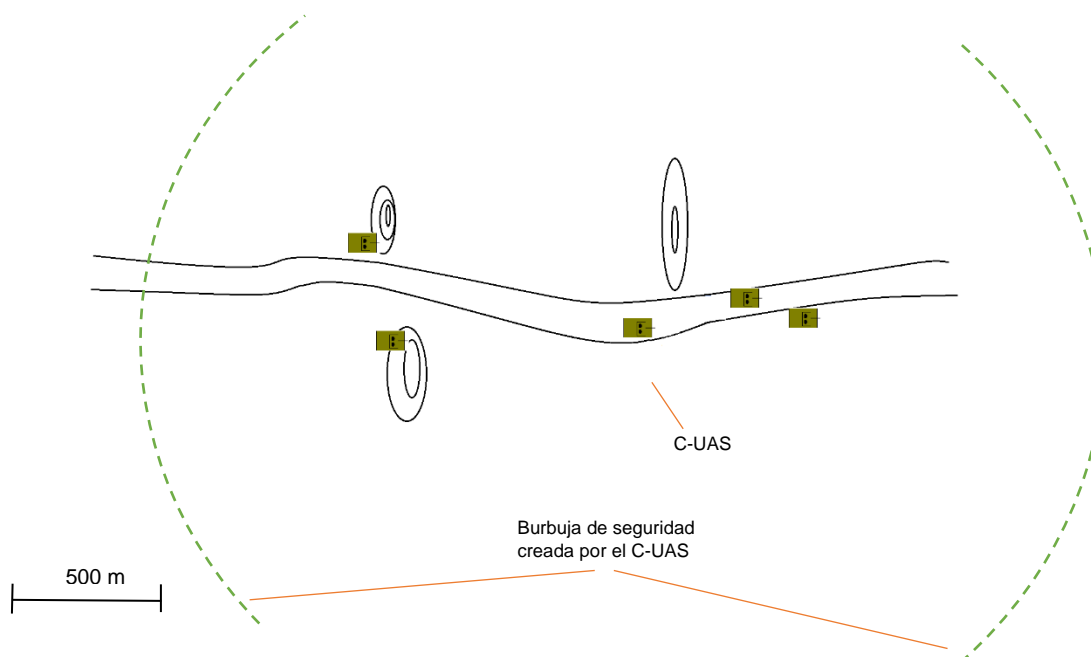


Figura 31. Posicionamiento C-UAS en reconocimiento de itinerario. Fuente elaboración propia

6.2.2. Reconocimiento de punto concreto

De forma análoga al caso anterior, el reconocimiento estará orientado a la obtención de información de determinados puntos. Estos pueden ser por ejemplo núcleos de población, posiciones enemigas, puentes o desfiladeros, obstáculos, etc. En este caso también se ha decidido que el C-UAS esté posicionado en el núcleo de reconocimiento ya que será el que más a vanguardia vaya y el que estará más expuesto al peligro de las aeronaves.

6.3. ESCOLTA A CONVOY

La escolta de convoyes es otra acción táctica que puede realizar la Caballería dentro de las operaciones de seguridad y son necesarias para garantizar la libertad de movimiento en una zona

La escolta a un convoy tiene como objetivo el proteger el transporte de personal, material o recursos de todo, estas son llevadas a cabo cuando se prevean posibles acciones hostiles sobre los convoyes.

Se pueden diferenciar tres partes en una escolta: vanguardia, grueso y retaguardia.

- Vanguardia: se encargará principalmente de la función de reconocimiento y exploración, así mismo deberá garantizar la viabilidad del terreno eliminando los obstáculos que se encuentren en el itinerario si tuvieran la capacidad
- Grueso: aquí se encontrará la mayor parte de los vehículos que se van a escoltar, además aquí se posicionará el mando.
- Retaguardia: contará del mismo modo con elementos de protección y de recuperación.



Según la longitud del convoy, este puede considerarse como corto (menos de 12 vehículos), convoy largo (más de 12 vehículos) o muy largo (más de 30 vehículos).

En el caso de los convoyes cortos, el C-UAS se posicionará en el centro del despliegue, de forma que se consiga crear una burbuja de seguridad para todo el convoy (Figura 32).

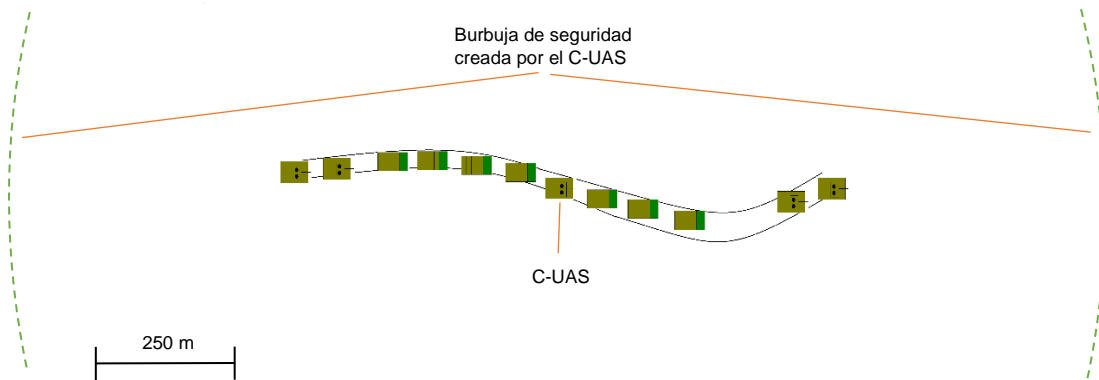


Figura 32. Posicionamiento C-UAS escolta de convoy corto. Fuente: elaboración propia

En el caso de una escolta de convoy largo o muy largo es posible que no sea suficiente el uso de un C-UAS centrado en el despliegue por lo que será necesario utilizar más de estos para poder proporcionar la seguridad adecuada (Figura 33).

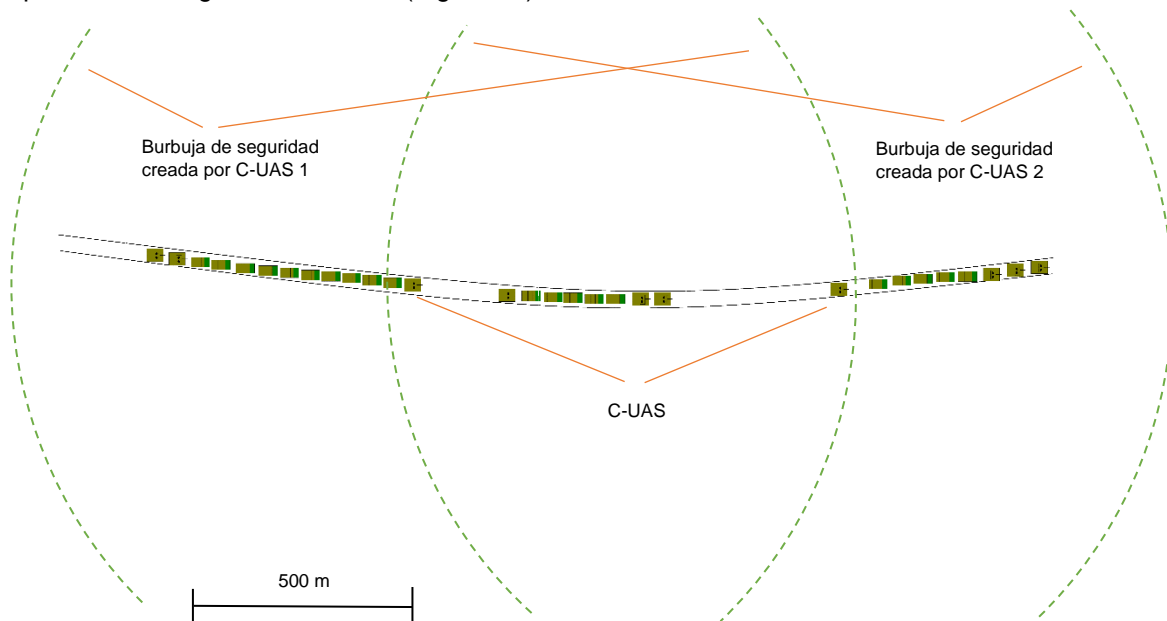


Figura 33. Burbuja de seguridad escolta de convoy largo. Fuente: elaboración propia



6.4. ACCIONES DEFENSIVAS

En numerosas ocasiones la Caballería va a tener la necesidad de realizar acciones defensivas, esto puede ser debido a que se establezca contacto con el enemigo que le obligue a detenerse o que la situación táctica o logística haga necesarias este tipo de acciones.

La defensa de posición defensiva consiste en una acción defensiva en la que se pretende preparar una zona para que pueda ser eficazmente defendida con el objetivo de rechazar un posible enemigo. En esta se deberán preparar asentamientos para los distintos vehículos que la componen, así como posiciones alternativas para cada uno (Figura 34).

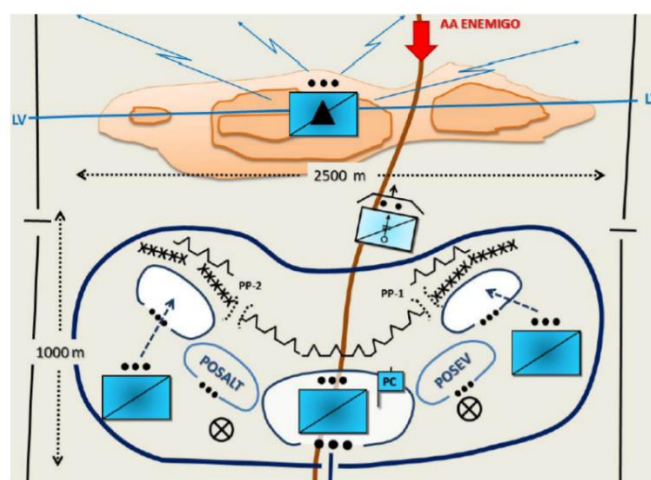


Figura 34. Posición defensiva de Partida (A. García García, 2021).

De forma parecida a la anterior, la Caballería también realiza la defensa de una línea de terreno. Esto se diferencia de la anterior principalmente en que esta tiene un carácter más temporal y se ocupa un frente mucho más amplio.

El establecimiento en una línea de posición puede deberse a los siguientes motivos:

- Hay poca información del enemigo.
- El enemigo cuenta con una gran cantidad de avenidas de aproximación que no puedan cubrirse solamente mediante una posición defensiva.
- No está previsto el defender el terreno por un largo periodo de tiempo.
- Es necesario dotar flexibilidad a la maniobra.

Debido al amplio frente que puede adoptar un Escuadrón de Caballería es difícil el proporcionar una seguridad absoluta frente al uso de UAS por parte del enemigo, por ese motivo se ha decidido el posicionar los C-UAS en las secciones laterales centradas en el despliegue para poder proporcionar la máxima seguridad posible, ya que cubren las zonas donde es más posible el uso de estos sistemas por el enemigo (Figura 35).

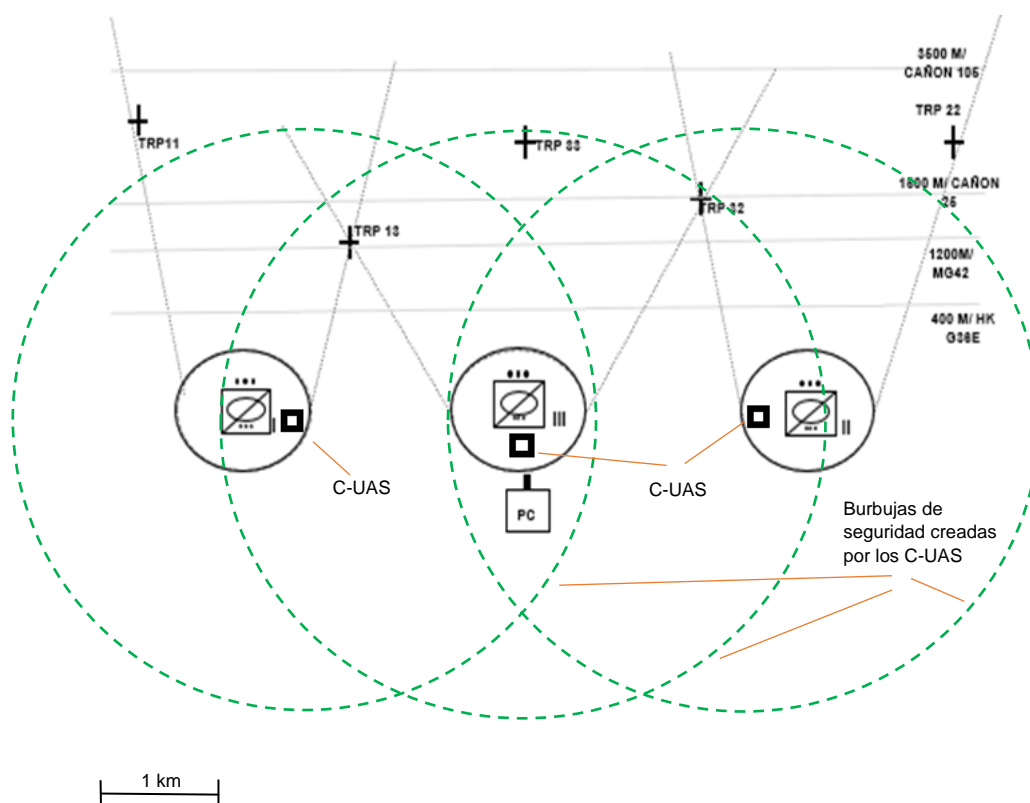


Figura 35. Burbuja creada por los C-UAS en línea de posición de un Escuadrón de Caballería. Fuente: elaboración propia

7. CONCLUSIONES

La realización de este trabajo ha permitido alcanzar todos los objetivos propuestos, donde se ha determinado que la implementación de los C-UAS en las unidades de Caballería es vital para que estas puedan desarrollar sus misiones de forma eficiente y con seguridad, garantizando la libertad de acción. Además, esto ayudaría a mejorar la moral de los combatientes que viendo cómo se enfrentan a un enemigo con el que se ven impotentes pueden acabar tomando peores decisiones.

A través de la herramienta radar chart y el método AHP se ha podido concluir que el sistema C-UAS óptimo para implementar en las unidades de Caballería sería la torre Skyrange 30. Con estas herramientas se ha visto favorecido este sistema, que tras haberse estudiado correctamente se ha decidido que es la mejor opción. Esta torre, incorporada en los 8x8 Dragón que estarán en un futuro próximo en las unidades de Caballería y dotarán de una gran flexibilidad y movilidad que no podría otorgar otro sistema C-UAS, ya que estos al constituir la misma torre del vehículo podrá realizar un gran número de funciones sin que la defensa contra UAS suponga un impedimento.

Por último, se ha decidido la incorporación de los C-UAS en las Secciones de exploración y vigilancia de los escuadrones de Caballería. Para ello se propone la creación de una nueva Sección de exploración y vigilancia, con lo cual los Escuadrones de Caballería pasarían de tener una Sección de exploración y vigilancia a contar con dos de ellas, una en base a los 8x8 "Dragón" con la torre Skyrange 30. De esta forma el objetivo de la implementación de 4 de estos vehículos es que estos



sean capaces de dotar de la seguridad necesaria a los despliegues de Caballería o incluso como refuerzo a las Secciones cuando estas actúen de forma aislada en los distintos cometidos que exija la misión encomendada a la unidad.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. García García, J. B. G., 2021. *La Sección de Caballería en defensiva [Presentación Power Point]*. Zaragoza: s.n.
- ASTD-SENDES, 2018. *SENDES*, s.l.: s.n.
- Atherton, K., 2021. *Brookings*. [En línea] Available at: <https://www.brookings.edu/techstream/loitering-munitions-preview-the-autonomous-future-of-warfare/> [Último acceso: 20 10 2021].
- B. Patel, D. R., 2019. *Counter-Unmanned Aircraft System*, Nueva York: s.n.
- Battelle, 2020. *Drone Defender Counter-UAS Device*. [En línea] Available at: <https://www.battelle.org/insights/case-studies/case-study-details/dronedefender-technology> [Último acceso: 15 09 2021].
- C. Cuerno Rejado, L. G. H. A. S. C. A. C. J. L. S. L. P. C., 2015. *Evolución histórica de los vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad*, Madrid: s.n.
- Department 13, 2017. *MESMER Counter Unmanned Aerial System*, s.l.: s.n.
- DJI Aeroscope, 2020. *DJI Aeroscope [Figura]*. [En línea] Available at: <https://www.dji.com/es/aeroscope> [Último acceso: 12 09 2021].
- DJI Ars Madrid, 2020. *DJI Aeroscope*. [En línea] Available at: <https://djiarsmadrid.com/es/content/17-dji-aeroscope> [Último acceso: 12 09 2021].
- Epequip, 2019. *RPAS, Evolving Threats & Counter RPAS Technology*, Australia: s.n.
- Fernández, A. C., 2020. *UAS. Sensibilización y concienciación de la amenaza*. s.l.:s.n.
- Gallego, E. S., 2020. *Introducción al sistema y capacidades*. s.l.:s.n.
- García, J. M. N., 2021. *Aviones de combate, helicópteros, UAV's y municiones loitering. La nueva torre antiaérea Skyranger 30 de Rheinmetall quiere derribarlo todo*. [En línea] Available at: <https://www.defensa.com/industria/aviones-combate-helicopteros-uavs-municiones-loitering-nueva-30> [Último acceso: 25 09 2021].
- Gwen Ackerman, R. T., 2021. *Bloomberg [Figura]*. [En línea] Available at: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-05-21/what-is-israel-s-iron-dome-anti-rocket-system-quicktake> [Último acceso: 20 10 2021].
- Hunter, D., 2016. *Drone Hunter. Detección y neutralización de drones (UAV)*. [En línea] Available at: <http://drone-hunter.com/es/index/> [Último acceso: 16 09 2021].
- Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, 2019. *¿UAV, UAS, RPAS o drones?*, s.l.: s.n.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2016. *PD4-013. Empleo táctico de la unidad de RPAS*, Granada: s.n.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2021. *Lecciones de la guerra en Nagorno Karabaj*, s.l.: s.n.
- Marduk, 2020. *Targeting the Next Generation of UAV's*. [En línea] Available at: <https://www.marduk.ee/> [Último acceso: 18 09 2021].



- Ministerio de Defensa, 2015. *Plan director de RPAS (RemotelyPilotedAircraftSystem)*, Madrid: s.n.
- Ministerio de Defensa, 2019. *Concepto Nacional C-UAS LSS*, Madrid: s.n.
- Morris, D. Z., 2016. *Fortune [Figura]*. [En línea] Available at: <https://fortune.com/2016/05/21/pentagon-anti-drone-systems/> [Último acceso: 15 09 2021].
- OTAN, 2020. *Rapidly Deployable Mobile Counter Rockets Artillery and Mortal (C-RAM)*, s.l.: s.n.
- Pirqueras, V. Y., 2018. *Victor Yepes*. [En línea] Available at: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/> [Último acceso: 15 10 2021].
- Rafael Advanced Defense System, 2019. *DRONE DOME - C-UAS*. [En línea] Available at: <https://www.rafael.co.il/worlds/air-missile-defense/c-uas-counter-unmanned-aircraft-systems/> [Último acceso: 22 09 2021].
- Sanz, J. M., 2017. *Defensa*. [En línea] Available at: <https://www.defensa.com/espana/drone-hunter-blindara-cuartel-general-retamares> [Último acceso: 22 09 2021].
- Tecnología e Innovación de la Dirección General de Armamento y Material, 2018. *Las narices electrónicas aplicadas a la Seguridad y la Defensa*, Madrid: s.n.



ANEXO A

Modelo de entrevistas a expertos

Se realizó una entrevista al teniente coronel D. Sergio Martínez Ordóñez, jefe del Grupo de Caballería Santiago I/12, la cual ha servido para guiar el proyecto y ayudar a definir las conclusiones finales. A continuación, se muestra el modelo de entrevista realizado:

- ¿En qué grado considera usted como una amenaza el uso de sistemas UAS por parte del enemigo?

- ¿Cree usted que es adecuado el conocimiento e instrucción contra sistemas UAS que tiene actualmente el personal de las distintas unidades de Caballería

- ¿Qué opina de la integración de sistemas C-UAS en los Escuadrones de Caballería?

- Desde su punto de vista, ¿cuál cree usted que es la entidad mínima en la que deberían encuadrarse las unidades C-UAS

- ¿Cree usted que es viable la incorporación de medios C-UAS en las Unidades de Caballería? En caso afirmativo, ¿En cuánto tiempo estima usted que se podrán incorporar estos sistemas?

- Desde su punto de vista, ¿Cree que es suficiente con que el C-UAS disponga de un sistema de detección de aeronaves o también es necesario un sistema para su neutralización?

- ¿Conoce usted algún sistema C-UAS que considere que sería una adecuada incorporación a las unidades de Caballería?



ANEXO B

Lecciones aprendidas. Conflicto nagorno karabaj

El conflicto de finales del pasado 2020 entre Armenia y Azerbaiyán ha debajo una serie de lecciones aprendidas donde destacan el uso de nuevas armas y procedimientos.

El uso de R-PAS en este conflicto fue en gran medida lo que produjo que la victoria se decantara de forma más notable hacia el ejército de Azerbaiyán. Mientras que las bajas azeríes se concentran principalmente en las fuerzas de contacto con el ejército armenio, las bajas del ejército de Armenia se distribuyen a lo largo de su despliegue. Esto se debe a que los R-PAS usados por Azerbaiyán fueron capaces de atacar objetivos en profundidad tales como puestos de mando, zonas de reunión, unidades logísticas, etc (Mando de Adistramiento y Doctrina, 2021).

Además de usar R-PAS de combate, también cabe destacar el uso de estas aeronaves para fines de reconocimiento y para designar objetivos que posteriormente serían batidos por la artillería.

Con relación a este conflicto y otros actuales, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- El uso de UAS se está siendo cada vez más popular en los conflictos, tanto para fines ISTAR como para fines de combate.
- El empleo de estos sistemas supone maximizar la economía de medios.
- La escasez de sistemas capaces de hacer frente a estos sistemas aumenta el peligro que los R-PAS generan
- No solo se debe apoyarse en C-UAS para batir la amenaza, sino que también se deberán usar medias de protección pasivas tales como el enmascaramiento, la decepción y la ocultación

Armenia carecía no solo de sistemas C-UAS, sino que, además, no disponía de radares con la discriminación suficiente para detectar los ataques con tiempo suficiente que permitiera la reacción de sus fuerzas. Los ataques se produjeron a relativamente baja cota, entre 600 y 1200 metros de altura, lo que supuso que los radares de los que disponen no se activaran.



ANEXO C

Radar chart

Para la realización de la valoración de los sistemas C-UAS recogidos en este trabajo de fin de grado, se ha tenido en cuenta una serie de características que dependen de una serie de factores. Se ha valorado su capacidad de detección, su capacidad de neutralización, su velocidad de puesta en marcha, su operabilidad, su movilidad y su eficacia.

- **Detección:** en este apartado se ha valorado tanto la cantidad de sensores que posee el C-UAS (radar, sensor de radiofrecuencias, sensor acústico, sensor electro-óptico) y su distancia de detección, así como su capacidad para detectar hasta los drones más pequeños.
- **Neutralización:** aquí se ha valorado la capacidad que tiene el sistema para hacer frente a la amenaza (acciones electrónicas o acciones cinéticas) y la distancia a la que puede neutralizar el UAV.
- **Velocidad:** esta característica se valora mediante la velocidad con la que se puede poner en funcionamiento el sistema y el tiempo necesario para detectar o batir un objetivo
- **Operabilidad:** este término se ha utilizado para valorar la facilidad de uso del sistema y se ha tenido en cuenta la cantidad de operarios necesarios para que el sistema funcione adecuadamente.
- **Movilidad:** en este apartado se ha valorado la capacidad que tiene el sistema para trasladarlo, así como que pueda funcionar en movimiento o en una zona fija.
- **Eficacia:** aquí se ha valorado la capacidad del sistema para detectar o neutralizar todo tipo de aeronaves.



ANEXO D

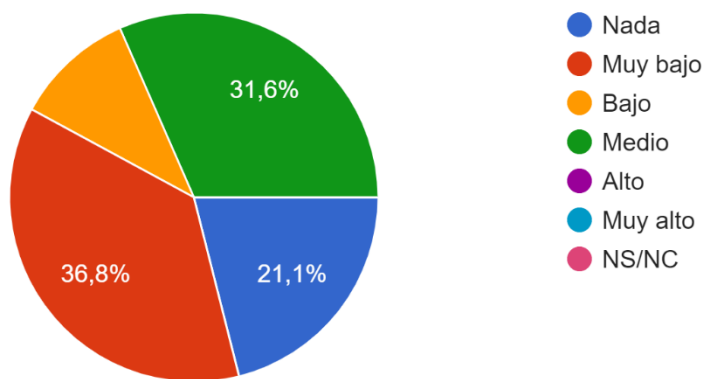
Resultado encuestas realizadas

Se ha realizado un cuestionario al personal del Grupo de Caballería Santiago I/12 sobre diferentes aspectos relacionados con los sistemas C-UAS con el objetivo de apoyar la motivación del proyecto, así como para concretar los aspectos más importantes a evaluar en la comparación comparativa de los sistemas para elegir el óptimo. Por último, los resultados también han servido para definir los despliegues de Caballería con más vulnerabilidad frente a ataques UAS para así proponer las soluciones más adecuadas.

Se han obtenido los siguientes resultados:

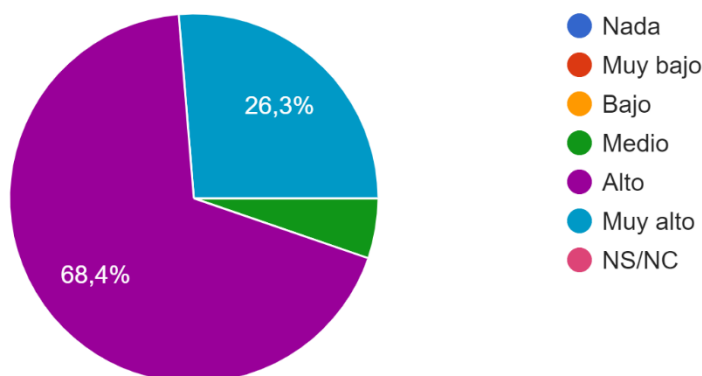
1. ¿En que grado cree usted que el personal de Caballería conoce la amenaza que supone el uso de UAS (drones) por parte del enemigo?

19 respuestas



2. ¿Qué grado de amenaza cree usted que supone el uso de UAS por parte del enemigo en las unidades de Caballería?

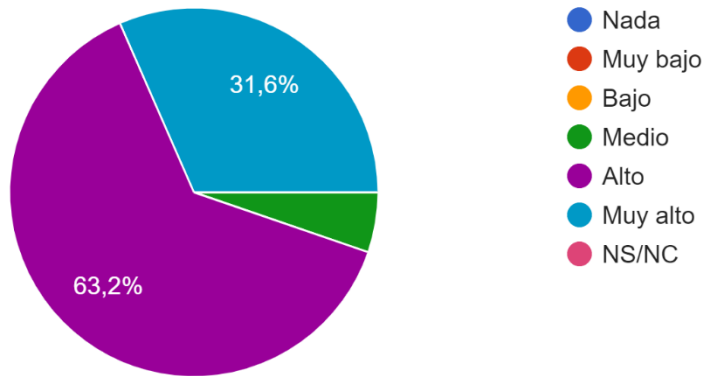
19 respuestas





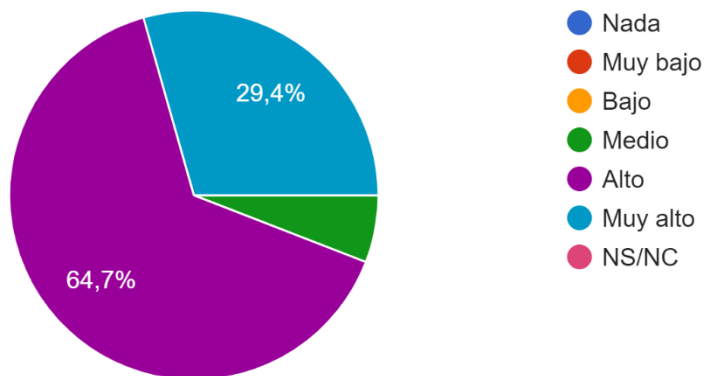
3. ¿Qué importancia cree usted que tiene la implementación de medios C-UAS (sistema contra drones) en las unidades de Caballería?

19 respuestas



4. Valore la importancia del sistema de detección del C-UAS (distancia de detección y cantidad de sensores)

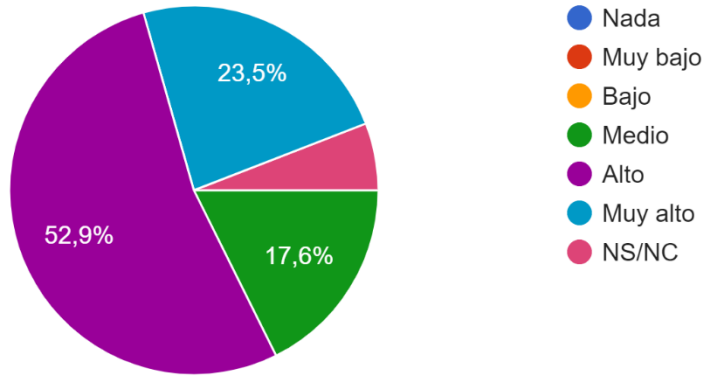
17 respuestas





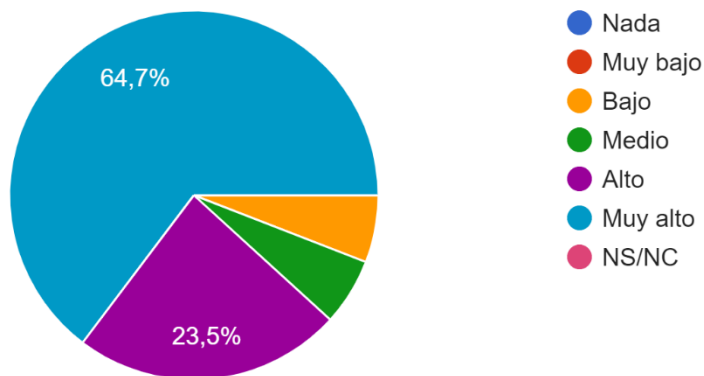
5. Valore la importancia del sistema de neutralización del C-UAS (distancia de Neutralización y cantidad de medios)

17 respuestas



6. Valore la importancia de la movilidad del sistema (capacidad para ser usado sobre vehículo)

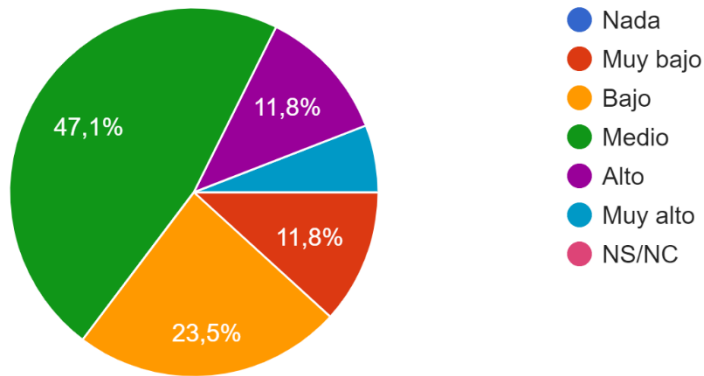
17 respuestas





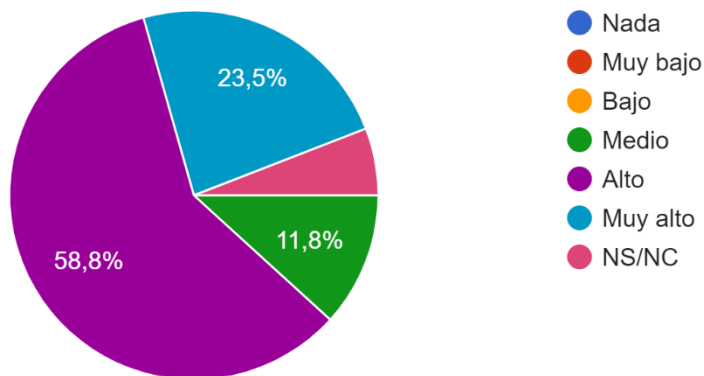
7. Valore la importancia de la operabilidad del sistema (cantidad de personas implicadas en el manejo del sistema)

17 respuestas



8. Valore la importancia de la eficacia del sistema (capacidad para hacer frente al mayor tipo posible de aeronaves)

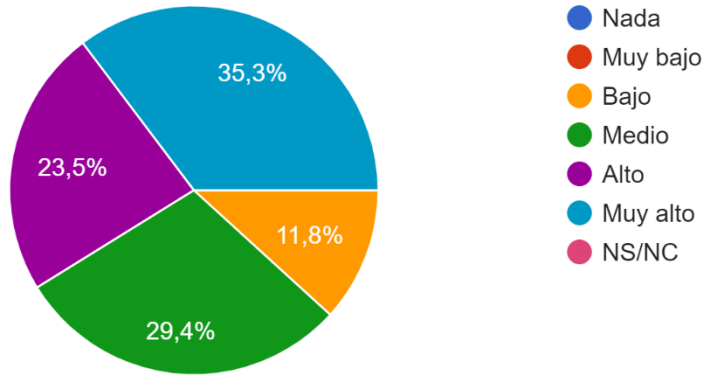
17 respuestas





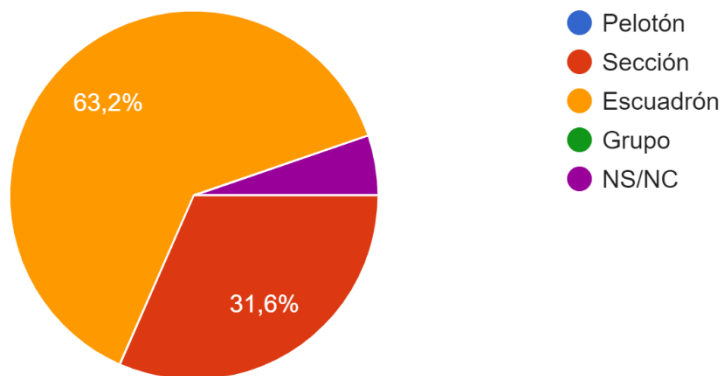
9. Valore la importancia de la velocidad (capacidad para estar operativo en poco tiempo y la velocidad con la que abate objetivos)

17 respuestas



10. ¿En qué entidad mínima cree usted que debería ir encuadrado una unidad C-UAS?

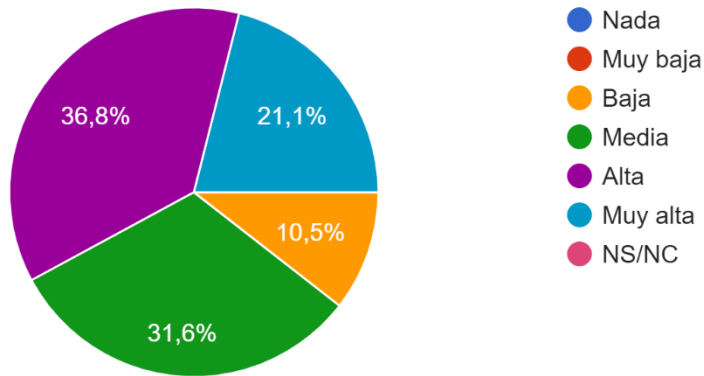
19 respuestas





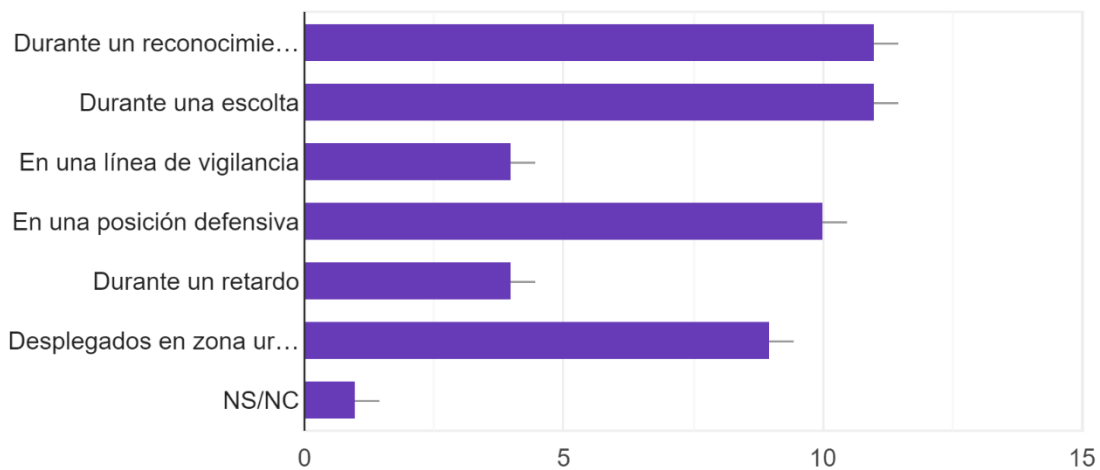
11. ¿Cuál cree que es la probabilidad de que el enemigo emplee medios UAS sobre nuestras unidades?

19 respuestas



12. ¿En qué situaciones cree usted que la caballería es más vulnerable al uso de UAS por parte del enemigo?

19 respuestas





ANEXO E

Análisis de riesgos uso de UAS por parte del enemigo

Tabla 22. Análisis de riesgos uso de UAS por parte del enemigo. Fuente: elaboración propia

Descripción riesgo	Causa del riesgo	Impacto (H,M,L)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo	Efectos riesgo	Medida / Alternativas	Clase riesgo tras medida
Sufrir un ataque a unidades logísticas	Uso de UAS con carga explosiva por parte del enemigo para atacar unidades logísticas	H	1	1H	Sufrir daños importantes que impidan la flexibilidad de la fuerza en acciones posteriores	Incorporación de sistema C-UAS a unidades logísticas	1M
Libre uso de los UAS para funciones STAR por parte del enemigo	Uso de UAS por parte del enemigo para la obtención de información crítica	M	3	3M	El enemigo consigue información crítica que obteniendo ventaja actuando de forma más temprana y con mejores decisiones	Uso de sistemas C-UAS en los despliegues para interceptar estos medios	2M
Sufrir un ataque durante una escolta	Uso de UAS con carga explosiva por parte del enemigo durante la realización de una escolta a un convoy	H	2	2H	El enemigo consigue causar daños en los VIP	Incorporación de sistema C-UAS en las unidades de Caballería	2M
Sufrir durante una línea de vigilancia o defensiva	Uso de UAS con carga explosiva por parte del enemigo en un despliegue en una línea de vigilancia o en una defensiva	M	2	2M	El enemigo causa daños en los despliegues propios generando una brecha en ésta dando una oportunidad al enemigo para avanzar	Incorporación de sistema C-UAS en las unidades de Caballería	2L
Sufrir un ataque durante un reconocimiento propio	Uso de UAS con carga explosiva por parte del enemigo en un despliegue durante un reconocimiento	M	1	1M	El enemigo causa daños en las unidades que están reconociendo	Incorporación de sistema C-UAS en las unidades de Caballería	1L
Uso del enemigo a modo de distracción para un ataque principal	Uso de UAS por parte del enemigo como forma de distracción para posteriormente realizar un ataque	M	1	1M	El enemigo provoca una distracción que le permite atacar por sorpresa en un punto distinto provocando grandes daños	Uso de C-UAS en los despliegues y TTPs para no bajar la guardia tras recibir un ataque	1L
Uso del enemigo como difusor de propaganda	Uso de UAS por parte del enemigo para distribuir distintos tipos de propaganda	L	2	2L	El enemigo es capaz de distribuir propaganda en la población consiguiendo que parte de ésta se una a él	Uso de sistemas C-UAS en los despliegues para interceptar estos medios difusores de propaganda	1L
Sufrir un ataque en instalaciones propias	Uso de UAS con carga explosiva por parte del enemigo en instalaciones críticas	M	1	1M	El enemigo destruye instalaciones críticas que impedirán el adecuado funcionamiento de las unidades	Uso de sistemas en los distintos cuarteles para poder defender de un ataque UAS	1L
Baja moral de los combatientes	Uso de UAS por parte del enemigo provoca la caída de la moral de las fuerzas propias estando desplegadas	H	3	3H	El riesgo de un ataque con UAS por parte del enemigo baja la moral de los combatientes, distrayéndolos constantemente y tomando peores decisiones	Incorporación de sistemas C-UAS en los despliegues para dar seguridad a la unidad y así aumentar la moral	1L



ANEXO F

Sistema C-RAM

C-RAM, anti cohetes, artillería y morteros por sus siglas en inglés, es un sistema de protección hacia fuego indirecto para proteger las fuerzas terrestres e instalaciones. Este sistema está compuesto de tal forma que es capaz de detectar proyectiles que se aproximen, dar alarma y responder a la amenaza (OTAN, 2020).

Estos sistemas automáticos están siendo actualmente utilizados por una variedad de países, sin embargo, podemos destacar el “Iron Dome”, el cual dispone Israel. Donde se ha podido comprobar su efectividad en los recientes conflictos entre Israel y Hamas, en los que los ataques de Hamas pudieron ser bloqueados en su mayoría por el Iron Dome.



Figura 36. Iron Dome (Gwen Ackerman, 2021).



ANEXO G

Munición Loitering

La munición tipo loitering, comúnmente son conocidos como “dron suicida” o “dron kamikaze”, consiste en un misil que adopta la forma de una aeronave, normalmente de ala fija. Esta munición es un misil autónomo que puede mantenerse en el aire hasta que encuentra un objetivo, lo identifica y posteriormente ataca (Atherton, 2021).

Este tipo de munición no puede ser considerada R-PAS o UAS ya que por definición estos pueden ser utilizados más de una vez.

Aunque inicialmente este tipo de munición era usada para atacar sistemas antiaéreos, es utilizada para atacar todo tipo de objetivos, desde personal a pie, vehículos hasta instalaciones, siendo usado de igual forma en objetivos en profundidad.

Son cada vez más los países que producen munición loitering, entre los que destacan, China, Israel, Irán, Rusia, Taiwán, Turquía y Estados Unidos. Además, existen más países que disponen de estos sistemas comprados de uno de los anteriores, como es el caso de Azerbaiyán, Alemania, India y Corea del Sur.

Cabe destacar la efectividad de estos sistemas si no se dispone de medios específicos para hacerle frente, como se pudo comprobar en el reciente conflicto entre Armenia y Azerbaiyán, donde este último fue capaz de atacar objetivos en profundidad sin demasiadas complicaciones.