



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Aproximación a un sistema eficaz contra mini
y micro UAV para pequeñas unidades

Autor

Diego Carrera Pérez

Directores

Directora académica: Silvia Guillén Lambea

Director militar: David Sanz Vilches

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2021

[Página intencionadamente en blanco]

Agradecimientos

Al Capitán David Sanz Vilches, por su apoyo y las facilidades que me ha dado para integrarme en la Batería y en el Grupo.

Al Teniente Alberto Bermejo Vesga y al Teniente Jaime Peña Abades por la claridad y precisión en sus respuestas a las preguntas formuladas en las entrevistas.

Al Regimiento de Artillería de Campaña nº 93 por su dedicación en la mejora de mi formación personal e individual durante el periodo de prácticas externas.

[Página intencionadamente en blanco]

RESUMEN

El siguiente trabajo pretende expresar la grave amenaza que representan los vehículos aéreos no tripulados o controlados remotamente de tamaño pequeño. Estos vehículos, conocidos comúnmente como drones, son de fácil adquisición y se han convertido en pocos años en una herramienta fundamental para realizar reconocimientos y ataques para grupos terroristas e insurgencia. También las grandes potencias militares están desarrollando e instruyendo a sus tropas en el uso de estos aparatos. Por todo ello, las Fuerzas Armadas españolas necesitan adquirir sistemas de defensa contra esta nueva amenaza que garanticen la neutralización del dron enemigo. Para ello, en este trabajo se muestran diversas ofertas que el mercado ofrece en cuanto a sistemas contra dron y se analizan las fortalezas y debilidades de cada uno de los sistemas. Finalmente, se muestra el sistema que reúne las características más relevantes de un sistema contra dron para las Fuerzas Armadas que ofrezca una protección eficaz a sus pequeñas unidades en el teatro de operaciones.

PALABRAS CLAVE

C-UAS

DRON

NEUTRALIZACIÓN

PROTECCIÓN

UAV

ABSTRACT

The following work aims to express the serious threat posed by small-sized unmanned or remotely controlled aerial vehicles. These vehicles, commonly known as drones, are easily acquired anywhere and in a few years have become a fundamental tool to perform reconnaissance and attacks for terrorist groups and insurgents. Furthermore, the great military powers are developing and instructing their troops in the use of these devices. Therefore, the Spanish Armed Forces must acquire defense systems to provide protection against this new threat. In order to achieve it, different systems available in the international anti-drone systems market will be exposed and the strengths and weaknesses of each system will be analyzed. Finally, the system that combines the most relevant features of an anti-drone system for the Spanish Armed Forces that offers effective protection to its small units in the operations theatre will be shown.

KEYWORDS

C-UAS

DRONE

NEUTRALIZATION

PROTECTION

UAV

[Página intencionadamente en blanco]

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	i
PALABRAS CLAVE.....	i
ABSTRACT.....	ii
KEYWORDS	ii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	v
ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS	vii
1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1 Contextualización.....	- 1 -
1.2. OBJETIVOS Y ALCANCE.....	- 4 -
1.3. METODOLOGÍA	- 4 -
2. ANTECEDENTES	- 5 -
3. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	- 11 -
3.1. ANÁLISIS PRELIMINAR	- 11 -
3.2. CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DE UN SISTEMA EFICAZ CONTRA MINI Y MICRO UAV	- 14 -
3.3. COMPARATIVA ENTRE DIVERSOS SISTEMAS CONTRA UAS	- 15 -
3.4. RESULTADOS	- 27 -
4. CONCLUSIONES.	- 34 -
BIBLIOGRAFÍA.....	- 35 -
ANEXO 1. SECCIÓN RECTA RADAR DE DRONES DE PEQUEÑO TAMAÑO	I
ANEXO 2. EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE DRONES ESPÍA	II
ANEXO 3. CUESTIONARIO.....	III
ANEXO 4. ENTREVISTA A EXPERTOS.....	V

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

<i>Ilustración 1: Momento de la explosión del dron durante el desfile militar que presidía Nicolás Maduro [Fuente: Euronews.com].....</i>	<i>- 6 -</i>
<i>Ilustración 2: Militares heridos tras la explosión del dron durante el desfile. [Fuente: Cibercuba.com].....</i>	<i>- 6 -</i>
<i>Ilustración 3. Dron DJI Phantom con granadas de 40mm modificadas para ser lanzadas desde el aire con precisión. [Fuente: Clipset.com].....</i>	<i>- 7 -</i>
<i>Ilustración 4. Marine de los EEUU haciendo pruebas con el “Drone 40”. [Fuente: Elradar.es]-</i>	<i>8 -</i>
<i>Ilustración 5. Instalaciones petrolíferas sauditas en llamas tras los ataques con drones de los hitíes. [Fuente: CNNespano.cnn.es].....</i>	<i>- 9 -</i>
<i>Ilustración 6. Avión de pasajeros dañado tras el ataque con drones al aeropuerto internacional de Adha. [Fuente: jornada.com.mx].....</i>	<i>- 9 -</i>
<i>Ilustración 7. Ataque azerí con dron suicida contra vehículos blindados armenios. [Fuente: Elconfidencial.com].....</i>	<i>- 10 -</i>
<i>Ilustración 8. Dron suicida llevando a cabo ataque de precisión en Nagorno-Karabaj [Fuente: Instituto Español de Estudios Estratégicos].....</i>	<i>- 10 -</i>
<i>Ilustración 9. Pregunta 1 de la encuesta [Fuente: Autor].....</i>	<i>- 11 -</i>
<i>Ilustración 10. Pregunta 2 de la encuesta. [Fuente: Autor].....</i>	<i>- 12 -</i>
<i>Ilustración 11. Pregunta 3 de la encuesta. [Fuente: Autor].....</i>	<i>- 12 -</i>
<i>Ilustración 12. Pregunta 4 de la encuesta. [Fuente: Autor].....</i>	<i>- 13 -</i>
<i>Ilustración 13. Sistema AUDES [Fuente: AUDES.com].....</i>	<i>- 16 -</i>
<i>Ilustración 14. Dron Defender. [Fuente: Infodefensa.com].....</i>	<i>- 17 -</i>
<i>Ilustración 15. SENDES HD-02. [Fuente: corrections.direct].....</i>	<i>- 18 -</i>
<i>Ilustración 16. Sistema Aeroscope [Fuente: djiasmadrid.com].....</i>	<i>- 19 -</i>
<i>Ilustración 17. Águila Harris capturando un dron DJI Phatom en vuelo. [Fuente:akyzoom.co]-</i>	<i>19 -</i>
<i>Ilustración 18. Sistema Thales desplegado. [Fuente: thalesgroup.com].....</i>	<i>- 20 -</i>
<i>Ilustración 19. Dron de SkyDome System capturando con una red un dron intruso. [Fuente: janes.com].....</i>	<i>- 21 -</i>
<i>Ilustración 20. Arma láser de alta intensidad sobre vehículo ligero y estación de sensores sobre vehículo pesado [Fuente: raytheonmissilesanddefense.com].....</i>	<i>- 23 -</i>
<i>Ilustración 21. UAV Coyote y estación emisora de ondas electromagnéticas de alta potencia. [Fuente: raytheonintelligenceandspace.com].....</i>	<i>- 23 -</i>
<i>Ilustración 22. Sistema Phalanx [Fuente: es.topwar.ru].....</i>	<i>- 24 -</i>
<i>Ilustración 23. Malla de protección contra drones. [Fuente: hortomallas.com].....</i>	<i>- 25 -</i>
<i>Ilustración 24. Óptica SMASH 2000 acoplada a un fusil de asalto M4 [Fuente: enlacejudío.com]-</i>	<i>26 -</i>

Ilustración 25. Rango de sección recta radar para diversos elementos, en m² y dBsm. [Fuente: Boletín de información tecnológica de defensa]..... I

Ilustración 26. Dron camuflado con forma de paloma. [Fuente: europapress.es]..... II

Ilustración 27. Dron camuflado con forma de tiburón. [Fuente Nautica.news]..... II

ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

BLOS - Beyond Line Of Sight (Más allá de la línea de vision con el objetivo)

C-UAS - Counter Unmanned Aerial System

LOS - Line Of Sight (Línea de vision con el objetivo)

OTAN - Organización del Tratado del Atlántico Norte.

RPAS - Remotely Piloted Aircraft System

UAS - Unmanned Aircraft System

UAV - Unmanned Aircraft Vehicle

UAV-IED - Unmanned Aerial Vehicle – Improvised Explosive Device



1. INTRODUCCIÓN

La siguiente memoria es el resultado del Trabajo Final de Grado en Ingeniería de Organización Industrial impartido en el Centro Universitario de la Defensa, centro adscrito a la Universidad de Zaragoza.

1.1 Contextualización.

Los vehículos aéreos no tripulados, conocidos comúnmente como drones, están en continua expansión tanto en el ámbito civil como el militar. El término dron proviene del inglés *drone*, que significa literalmente zángano, en referencia al ruido que provocan los drones más pequeños al volar. También cabe destacar las terminologías UAV (Unmanned aerial vehicle) y RPA (Remotely Piloted Aircraft), las cuales se refieren únicamente a la aeronave y los términos UAS (Unmanned Aircraft System) y RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) se refieren al conjunto entero, es decir, incluyendo además de la aeronave a todo el sistema de mando y control, de comunicaciones, al operador y la estación en tierra.

Estas aeronaves no tripuladas, guiadas por radiofrecuencia o mediante distintos puntos de paso determinados mediante GPS, han generado una amenaza cada día más creciente. Esto se debe al gran desarrollo de los UAS de uso comercial, favorecido por la reducción de costes tecnológicos y la adaptación para aplicaciones civiles de sistemas militares de control y vuelo. Estos UAS disponen de una amplia oferta en el mercado, un bajo coste de adquisición y un fácil manejo del aparato. Además, en muchos casos la falta de regulación de los límites de vuelo de estos aparatos los dota de una especial peligrosidad debido a la inmunidad que se les ofrece a los pilotos temerarios, inconscientes o con intenciones hostiles.

El uso de estas nuevas amenazas toma un especial protagonismo en el entorno urbano, en él un UAS puede pasar en un momento de ser un elemento recreativo a una amenaza en potencia para un evento público, unas instalaciones críticas o la población en general, creando una considerable alarma pública en la sociedad.¹

La mayoría de estos UAS de uso recreativo se enmarcan en la categoría LSS (Low, Slow, Small), teniendo esta consideración de gran peligrosidad debido a la gran dificultad de detección y neutralización que estos presentan. Los UAS LSS tienen la capacidad de volar a muy baja altura, de realizar vuelos estacionarios y cambios de dirección de una manera muy brusca. Además, tienen una sección radar muy pequeña, provocando que el radar lo pueda confundir con un ave o como parte del ambiente, categorizando su eco como ruido y no presentando al UAS como una amenaza aérea. [Ver anexo 1].

La sección radar es un parámetro clave para determinar si un RPAS va a poder ser detectado por un radar y a qué distancia. La sección radar depende de varios parámetros, como son la frecuencia y el ancho de banda de la señal radar, la polarización del campo con el que se transmite y recibe la señal, la geometría del blanco, los materiales constitutivos o el ángulo de incidencia de la iluminación radar.

¹ Informe *CONCEPTO NACIONAL C-UAS LSS* del Centro Conjunto de Desarrollo de Conceptos del CESEDEN perteneciente al Estado Mayor de la Defensa.



Los radares de los que dispone el Ejército de Tierra español pertenecen a la artillería antiaérea formando parte de la defensa del espacio aéreo como GBAD (Ground Based Air Defense), por lo tanto, sus radares se diseñaron para detectar aeronaves de gran tamaño, aeronaves de ala fija, de ala rotatoria y en todo caso misiles balísticos, lo que dista mucho de aeronaves pequeñas y ligeras de uso recreativo.

Las principales amenazas para las fuerzas del componente terrestre, tanto en territorio nacional como en zona de operaciones, son el uso de estos UAS como elemento de reconocimiento, observando y analizando despliegues, instalaciones y procedimientos de actuación de las tropas enemigas, llegando incluso a ser camuflados con formas y comportamientos de aves reales [ver anexo 2], y como elemento de ataque, tanto usándolo como aeronaves suicidas, llevando carga explosiva que detone con el impacto, o bien como portador de artefactos explosivos que se dejen caer desde una cierta altura sobre el objetivo que se pretenda destruir.

Todos estos riesgos y la falta de capacitación de los radares que se encuentran actualmente en servicio en el ejército español hacen necesario el estudio de un nuevo sistema de detección, seguimiento y neutralización de drones de pequeño tamaño.

De la misma manera es necesario especificar las clases de drones que serán objeto del estudio. Dichos drones se enmarcan en las categorías mini y micro que ha establecido la OTAN. En este trabajo se trabajará con esa clasificación dado que la OTAN es la organización de referencia en la integración de procedimientos comunes de los ejércitos occidentales. Dicha clasificación cataloga los drones en: MICRO < 2 kg, MINI < 2-20 kg y SMALL < 20 kg-150 kg [Ver tabla 1]. También existe otra clasificación perteneciente al Reglamento de la Circulación Aérea Operativa (RCAO), dicha clasificación define las clases de la siguiente manera: MICRO < 66J, MINI <15kg, SMALL 15- 150 kg.

Los drones micro se caracterizan por ser aptos para reconocimiento de un área cercana al punto de despegue del dron y tienen poca autonomía y el tamaño de la palma de una mano. Los drones mini pueden transportar una considerable carga varios kilómetros, pueden grabar imágenes de alta calidad y pueden tener una autonomía de varias horas.



Clase	Categoría	Empleo habitual	Altura de operación normal	Radio de Misión
clase I (<150kg)	MICRO <2 kg	Subunidad táctica (lanzamiento manual), operadores individuales	Hasta 22 pies	Hasta 5 Km (LOS)
	MINI <2-20Kg	Subunidad táctica (lanzamiento manual), operadores individuales	Hasta 3000 pies	Hasta 25 Km (LOS)
	SMALL >20Kg	Unidad Táctica (utiliza sistema de lanzamiento)	Hasta 5000 pies	50 Km (LOS)
CLASE II (150Kg-600Kg)	TÁCTICO	Formación Táctica	Hasta 10000 pies	200 Km (LOS)
CLASE III (>600Kg)	MALE (Medium Altitude Long Endurance)	Operacional/ de Teatro	Hasta 45000 pies	Sin límite (BLOS)
	HALE (High Altitude Long Endurance)	Estratégico	Hasta 65000 pies	Sin límite (BLOS)
	ATAQUE/COMBATE	Estratégico/ Operacional	Hasta 65000 pies	Sin límite (BLOS)

Tabla 1. Clasificación OTAN sobre el tamaño de los UAV. [Fuente: Publicaciones.defenensa.gob.es]



1.2. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo de este trabajo es definir las características de un sistema eficaz contra drones de clase mini y micro que pueda ser útil para una futura incorporación al material del Ejército de Tierra.

Además, existen el objetivos secundarios de identificar el grado de preparación de las tropas españolas para defenderse ante un ataque dron e identificar las necesidades del Ejército de Tierra para proveer una seguridad efectiva de sus tropas y contingentes dentro y fuera de las fronteras nacionales.

Es necesario tener presente que las adquisiciones de defensa vienen condicionadas por diversos factores, entre ellos la economía del país y el presupuesto destinado a programas de adquisición, las alianzas internacionales que ofrecen descuentos en la compra de armamento y sistemas de armas a determinados países, la reutilización de antiguos sistemas, conocimientos o cadenas logísticas de otras plataformas, sensores y sistemas de armas previamente en dotación, etc. Por exceder todos esos factores el alcance de este estudio, el trabajo se limitará a informar y aconsejar sobre las capacidades que otorgan cada uno de los sistemas disponibles en el mercado internacional y sus beneficios para las Fuerzas Armadas españolas sugiriendo un sistema que por sus capacidades ofrezca a las Fuerzas Armadas españolas la protección que demandan contra los UAV de pequeño tamaño.

1.3. METODOLOGÍA

Para hacer cumplir estos objetivos, en primer lugar, se analiza la amenaza, explicando la terminología, las capacidades de los drones de pequeño tamaño, la dificultad de detección de los mismos por parte de los sensores del ejército español y la clasificación en los drones según los criterios de la OTAN. A continuación, se narran una serie de hechos que han ocurrido en los últimos años donde los drones han realizado ataques provocando cuantiosos daños, para ello se ha realizado un trabajo de investigación en artículos periodísticos fundamentalmente. Posteriormente se analizan las ventajas que ofrecen diversos sistemas de protección contra drones. Las características técnicas de sus capacidades se han obtenido tanto de sus fichas técnicas como de los documentos y presentaciones expuestas en las jornadas de actualización contra UAS del Ejército de Tierra.

Además, se han realizado entrevistas a personal tanto de tropa como de las escalas de oficiales y suboficiales para conocer su nivel de concienciación con esta amenaza y conocer su opinión sobre la forma en la que se debería gestionar tanto la adquisición de nuevo material contra drones como su empleo y requisitos. Es especialmente útil la opinión proporcionada por aquellos mandos que han estado desplegados en el extranjero, en zona de conflicto, dado que algunos han sufrido de una manera más o menos cercana esta amenaza y todos han extraído lecciones aprendidas.

También se ha entrevistado al Teniente Alberto Bermejo Vesga y al Teniente Jaime Peña Abades pertenecientes al Regimiento de Artillería Antiaérea nº71. Ambos tenientes imparten el curso de actualización para la defensa contra drones que todo militar debe conocer antes de ser desplegado en zona de operaciones. Por ello, sus consejos y conocimientos son de una alta relevancia para el desarrollo de este trabajo y permitirán definir los requisitos que un sistema contra UAS necesita acorde a las necesidades del ejército español.



2. ANTECEDENTES

La intención de utilizar pequeños drones comerciales como medio de ataque no es nueva. Ya en 1994 la secta japonesa Aum Shinrikyo (actualmente Aleph) intentó dispersar agente nervioso sarín², por medio de un helicóptero controlado remotamente y equipado con un sistema de dispersión. El helicóptero se estrelló en las pruebas en seco, por lo que tuvieron que recurrir a otro vector para atentar. Este hecho se considera el primer intento conocido de atentado con un dron de la historia.

Posteriormente, otras organizaciones como las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia, (FARC) en 2002 o el grupo terrorista radicado en Cachemira Lashkar-e-Toiba (Ejército de los Puros) lo intentarían sin éxito. No fue hasta 2004 cuando la organización terrorista Hezbolá operaría estos artefactos con éxito.

Con la ayuda de la República Islámica de Irán, Hezbolá consiguió volar un dron sobre Israel durante 20 minutos para después regresar al Líbano sin ser interceptado. Ese fue el inicio de una serie de misiones de drones de la organización terrorista que fueron ganando complejidad en distancia y carga de los drones. En 2012 un dron recorrió una distancia de 300 kilómetros sobrevolando unas instalaciones nucleares israelíes antes de ser derribado por un avión de combate israelí. Misma suerte corrieron dos drones lanzados con 40 y 50 kilogramos de explosivo contra Israel.

El 21 de septiembre de 2014, Hezbolá realizó una operación de ataque con dron en Aarsal (Siria), contra la organización terrorista asociada a Al-Qaeda, Jabhat Fateh al-Sham, matando a 23 miembros. Cabe reseñar que los drones utilizados por esta organización eran drones militares, no disponibles en el mercado civil, pero sus acciones sentaron las bases para el posterior uso de drones civiles con fines ofensivos.

En el caso particular de España existe un caso documentado de intento de ataque terrorista con dron en agosto de 2012. Tres supuestos miembros de Al Qaeda, dos islamistas rusos de origen checheno y un tercero de origen turco, intentaron atentar con una aeronave controlada por radiofrecuencia sobre el centro comercial Puerta de Europa (Algeciras), coincidiendo con la celebración de los Juegos Olímpicos de Londres. Entre el material intervenido, además de explosivos y un aeromodelo de unos 2 metros de envergadura alar y carga de pago de aproximadamente 1 kilo, había material videográfico en el que se podía observar un aeromodelo lanzando una carga.³

También destaca el caso del ataque que sufrió en 2018 el presidente venezolano Nicolás Maduro durante un desfile militar. En dicho acto un dron cargado de explosivos se estrelló cerca de la tarima en la que se encontraba el presidente hiriendo a siete militares.⁴

²Diario BBC

https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160407_sociedad_secta_japonesa_preocupa_europa_rusia_ac

³

Diario El Mundo.
<https://www.elmundo.es/elmundo/2012/08/06/espana/1344270781.html>

⁴ Diario Europa Press. <https://www.europapress.es/internacional/noticia-siete-heridos-ataque-drones-contra-presidente-nicolas-maduro-caracas-20180805011802.html>



Ilustración 1: Momento de la explosión del dron durante el desfile militar que presidía Nicolás Maduro [Fuente: Euronews.com]



Ilustración 2: Militares heridos tras la explosión del dron durante el desfile. [Fuente: Cibercuba.com]

En abril del 2021 también se registró un ataque en el que el Cártel Jalisco Nueva Generación, una de las organizaciones criminales más grande de México, realizó un ataque combinado con drones y armas de asalto para atacar a una patrulla de la policía mexicana. En este caso los drones fueron modificados para lanzar granadas de mano.⁵ Esta sencilla y económica forma de lanzar granadas de mano a gran distancia y con la posibilidad de dejarlas caer tras haber volado por encima del muro de un complejo protegido, en el interior de un edificio tras haber volado a través de una ventana, o en lugares que se encuentren alejados del operador del dron, es tan eficaz que se está convirtiendo en una de las técnicas más populares de hostigamiento de todas las organizaciones criminales y terroristas.⁶

⁵ Diario La Octava <https://laoctava.com/estados/2021/04/20/cjng-lanza-granadas-a-traves-de-drones-contra-policias-en-aguililla-michoacan>

⁶ Página web de difusión de material tecnológico Olhar Digital. <https://olhardigital.com.br/es/2021/07/15/ciencia-e-espacio/fuzileiros-navais-dos-eua-testa-pequeno-drone-capaz-de-lancar-granadas/>



En los conflictos recientes, como el de Siria, el uso de drones por parte de las organizaciones terroristas ha sido muy extenso, teniendo gran éxito en sus ataques dado que las tropas hostigadas con estos medios no se encontraban preparadas para defenderse ante una amenaza aérea tan pequeña y letal. Debido a este éxito, el uso de los drones mini y micro para realizar ataques terroristas a población civil o de hostigamiento a tropas policiales y militares desplegados en zonas de conflictos se está incrementando notablemente, por lo que urge desarrollar soluciones para hacer frente a esta amenaza.

Durante la batalla de Mosul, los drones han sido utilizados en gran medida tanto por parte de las fuerzas yihadistas como de las fuerzas policiales y de operaciones especiales del ejército iraquí. Ambos conocían las ventajas de estos dispositivos, siendo, sin embargo, utilizados de manera distinta. Mientras que los yihadistas los han utilizado principalmente para realizar ataques, estrellando contra el objetivo el dron con carga explosiva adherida, las fuerzas del estado los han utilizado sencillamente como elemento de reconocimiento del terreno, realizando patrullas aéreas para después guiar a sus equipos de tierra hacia posibles localizaciones de los yihadistas.

Muy amplio ha sido el uso por parte de los yihadistas de los drones de la empresa china DJI, en especial el dron DJI PHANTOM, debido a que está diseñado para portar una cámara y es fácilmente modificable para que porte cargas explosivas o granadas de mano debido a la potencia y estabilidad de vuelo que aporta el dron. Tanto, que la propia empresa decidió lanzar una actualización de su software incluyendo grandes zonas de Siria y de Irak en las que sus drones no serían capaces de alzar el vuelo.⁷ Sin embargo, no es una solución definitiva, dado que solo afectaría a los drones que sean actualizados, pudiendo seguir operando en esas zonas aquellos drones que se hubiesen adquirido antes de la fecha de la actualización. Además, debido a la gran cantidad de recursos y dinero que manejan estas organizaciones terroristas, disponen de informáticos que muy posiblemente sean capaces de hackear el sistema operativo del dron, como ya han hecho en otras ocasiones, para anular estas restricciones y poder seguir operando en esas zonas de exclusión con normalidad.



Ilustración 3. Dron DJI Phantom con granadas de 40mm modificadas para ser lanzadas desde el aire con precisión. [Fuente: Clipset.com]

⁷ Página web de difusión de material tecnológico Clipset <https://clipset.com/dji-bloquea-drones-guerra-irak-siria/>



Tan grande ha sido el impacto en el desarrollo de los conflictos de este nuevo tipo de ataques, a distancia, aéreos, con cargas explosivas pequeñas y de precisión, que incluso el ejército de los Estados Unidos está probando un nuevo sistema de ataque con granadas aerotransportado emulando las tácticas empleadas por los insurgentes. El sistema, desarrollado por una empresa con sede en Melbourne, se ha denominado 'Drone 40', en alusión a los milímetros de la granada que es capaz de aerotransportar. Dicho dron es capaz de volar durante unos 12 minutos portando una carga de útil de 110 gramos. El operador puede desarmar el dispositivo en vuelo, en caso de ser necesario abortar el ataque y puede recuperarse para su uso en otra ocasión. Además de su uso contra personal o contracarro, puede actuar como plataforma de sensores para recopilar información y transmitir video e imágenes a una distancia de 10km en línea directa de visión. También puede recorrer un trazado predefinido mediante GPS para realizar reconocimiento o una ruta de ataque.



Ilustración 4. Marine de los EEUU haciendo pruebas con el "Drone 40". [Fuente: Elradar.es]

Grandes potencias tecnológicas y armamentísticas han sufrido también ataques a instalaciones críticas con este tipo de dispositivos tan económicos y en cierta manera precarios. Destaca el caso de Arabia Saudita, país que ha sufrido ataques con drones por parte de los hutíes, un grupo insurgente de Yemen. En septiembre de 2019 sufrió un ataque con drones contra una de sus principales instalaciones petrolíferas privándola temporalmente de la mitad de su capacidad petrolera, 5 millones de barriles por día, el 5% del suministro mundial de petróleo diario, provocando un consecuente aumento del precio del petróleo en todo el mundo. En febrero del 2021 un avión estacionado en tierra en el aeropuerto internacional de Adha, también en Arabia Saudita, sufrió el impacto directo de un dron que portaba una carga explosiva provocando un agujero de dimensiones considerables en el fuselaje del avión.



Ilustración 5. Instalaciones petrolíferas sauditas en llamas tras los ataques con drones de los hitfes. [Fuente: CNNespano.cnn.es]



Ilustración 6. Avión de pasajeros dañado tras el ataque con drones al aeropuerto internacional de Adha. [Fuente: jornada.com.mx]

Pero no solamente los grupos terroristas y organizaciones criminales hacen uso de los drones como medio ofensivo. En la reciente guerra de Nagorno-Karabaj entre Armenia y Azerbaiyán, en los meses de septiembre a noviembre del año 2020, el ejército azerí hizo un extenso uso de los drones, lo que sin duda contribuyó en gran medida a decantar el conflicto a su favor.

Por una parte, utilizó drones de gran tamaño y peso capaces de portar armamento bombas de gran tonelaje, sin embargo, el mayor uso que le dio a esos drones de altas prestaciones fue el uso de su cámara de televisión de gran resolución para guiar los ataques de drones mini y micro contra posiciones defensivas de la infantería armenia, así como para atacar vehículos ligeros o puestos de control y de vigilancia armenios, causando numerosas bajas. Una vez grabado un ataque con éxito contra las tropas armenias, el ejército azerí publicaba los videos grabados con el dron en las redes sociales



para infundir terror en la población y ejército armenio y demostrar al resto del mundo la eficacia y el dominio de nuevas tácticas de combate.



Ilustración 7. Ataque azerí con dron suicida contra vehículos blindados armenios. [Fuente: Elconfidencial.com]

De esta manera, los drones cumplieron también su papel en una de las armas más determinantes de cada país, la propaganda. A mediados del conflicto, los soldados ya sufrían psicosis cada vez que escuchaban el zumbido de los rotores de un dron, abandonaban sus puestos y corrían a esconderse en el refugio más cercano. De la misma manera, Azerbaiyán había desarrollado nuevos modelos de drones suicidas y ya había comenzado a exportarlos a diversos países.

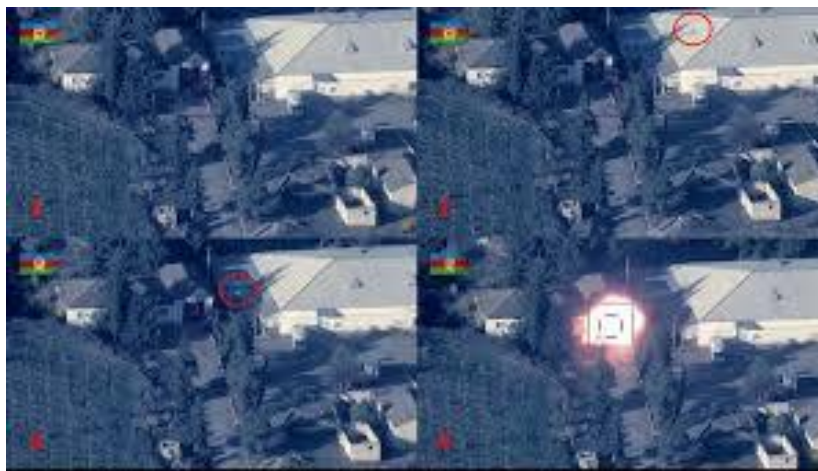


Ilustración 8. Dron suicida llevando a cabo ataque de precisión en Nagorno-Karabaj [Fuente: Instituto Español de Estudios Estratégicos]

Mientras que hace menos de 10 años la concepción de los drones de pequeño tamaño no había sido más que meramente recreativa, hoy en día han demostrado su utilidad en combate y se posicionan como un activo de gran relevancia en los conflictos modernos.



3. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

Como se ha evidenciado, son numerosos los ataques que se han dado hasta el momento mediante el uso de drones, sin embargo, y dado que las tropas españolas no han tenido grandes incidentes con este tipo de medios, la preocupación del personal de las fuerzas armadas sobre este tema no es muy notorio, hecho que los hace más vulnerables aún a un ataque por no ser conscientes del peligro y por lo tanto no tomar las medidas de protección adecuadas. Así se ha evidenciado con la siguiente encuesta en la que se ha entrevistado a un total de 23 personas, 12 personas pertenecientes a la escala de tropa, 7 suboficiales y 4 oficiales y cuyos resultados se muestran a continuación.

3.1. ANÁLISIS PRELIMINAR

A la pregunta sobre la capacidad de las fuerzas armadas para abatir drones, solamente los oficiales muestran un claro conocimiento del riesgo que estos suponen con los medios que tienen a su disposición. Mientras que los suboficiales se encuentran prácticamente divididos, la tropa sin duda no considera a los drones una amenaza o cree que no es necesaria una alta tecnología para detener a los drones hostiles.

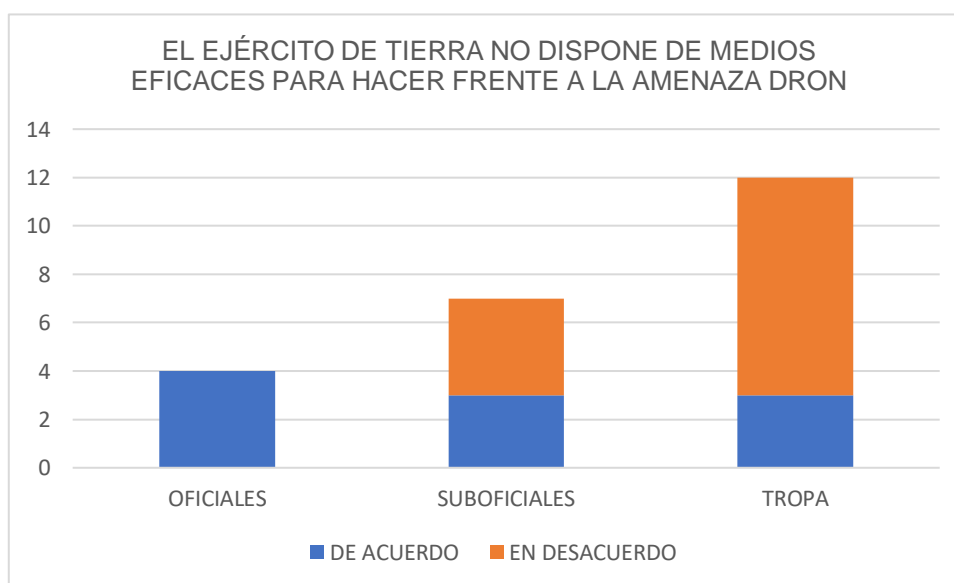


Ilustración 9. Resultados de la pregunta 1 [Fuente: Autor]

En lo que respecta a la autosuficiencia en materia de armamento y autoprotección, los oficiales mostraron un mayor interés por ser independientes mientras que la tropa y los suboficiales mostraron una mayor predisposición a la integración con otras naciones, principalmente debido a la inmadurez de los sistemas de defensa contra dron.

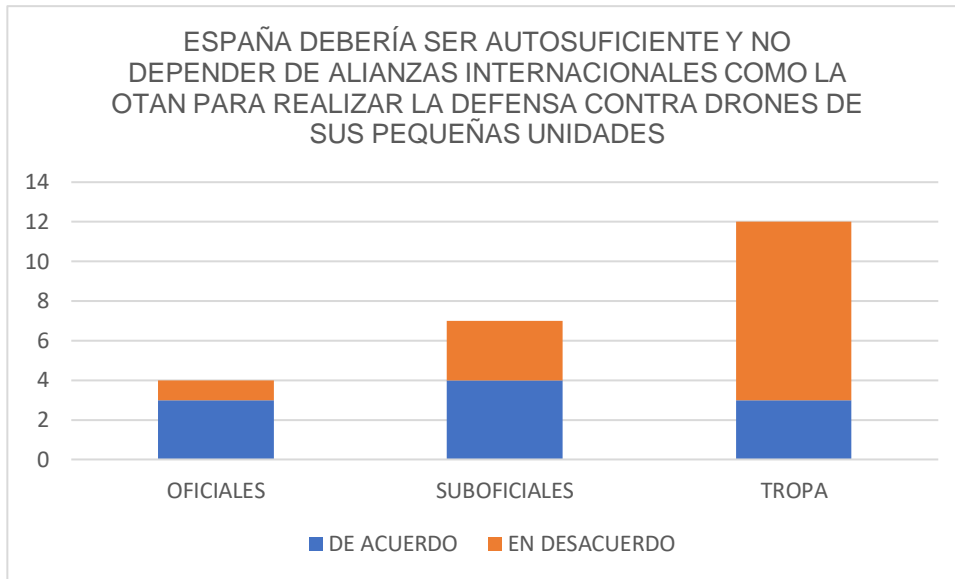


Ilustración 10. Resultados de la pregunta 2. [Fuente: Autor]

Además, existe una clara predisposición por parte de los oficiales entrevistados de adquirir con urgencia sistemas contra dron, considerándose incluso de mayor importancia que la renovación de algunos sistemas de artillería antiaérea, algunos de ellos ya desfasados. Mientras que los suboficiales y principalmente la tropa no le otorgan tanta importancia y prefieren mantener los sistemas que existen en dotación, los cuales ya conocen y dominan, en lugar de tener que rehacer procedimientos e instrucción con nuevos sistemas.

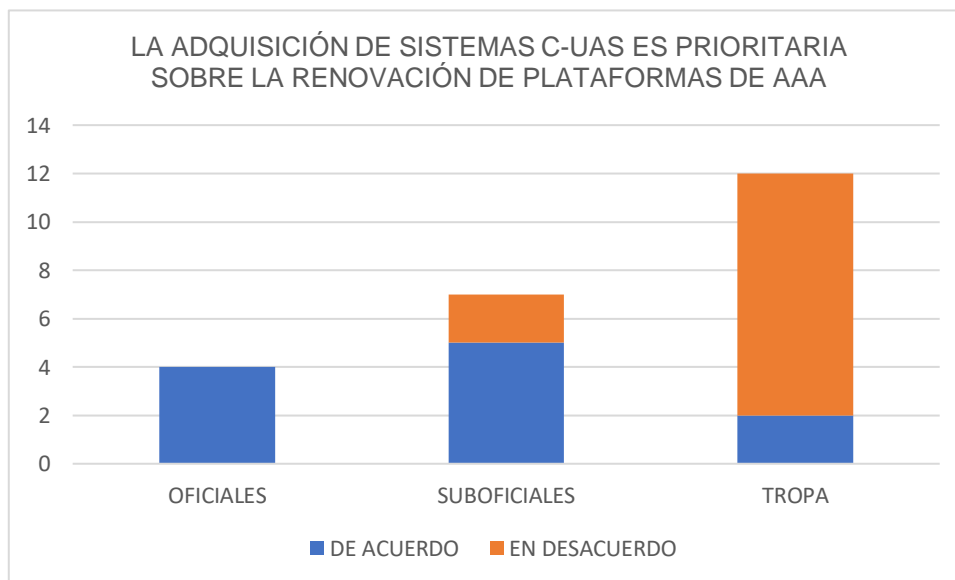


Ilustración 11. Resultados de la pregunta 3. [Fuente: Autor]



Por último, los oficiales con una clara ventaja sobre el resto se decantan más favorables por el uso de sistemas contra dron automatizados, sistemas que puedan ser configurados con las características de la amenaza y las normas de actuación ante cada tipo de amenaza y en cada momento, consiguiendo una capacidad de respuesta y una precisión seguramente mucho mayor que la que puede proporcionar un apuntador humano. Por otra parte, los suboficiales y en especial la tropa se sienten mucho más recelosos y consideran que el factor humano ha de estar presente mucho más próximo en los sistemas de armas porque su capacidad de decisión, su consciencia de la situación y sus valores morales priman mucho más en una situación de combate que la capacidad de decisión de una máquina cuyo software puede que no sea capaz de contemplar todas los factores y situaciones posibles y por lo tanto no sea capaz de tomar siempre las decisiones adecuadas.

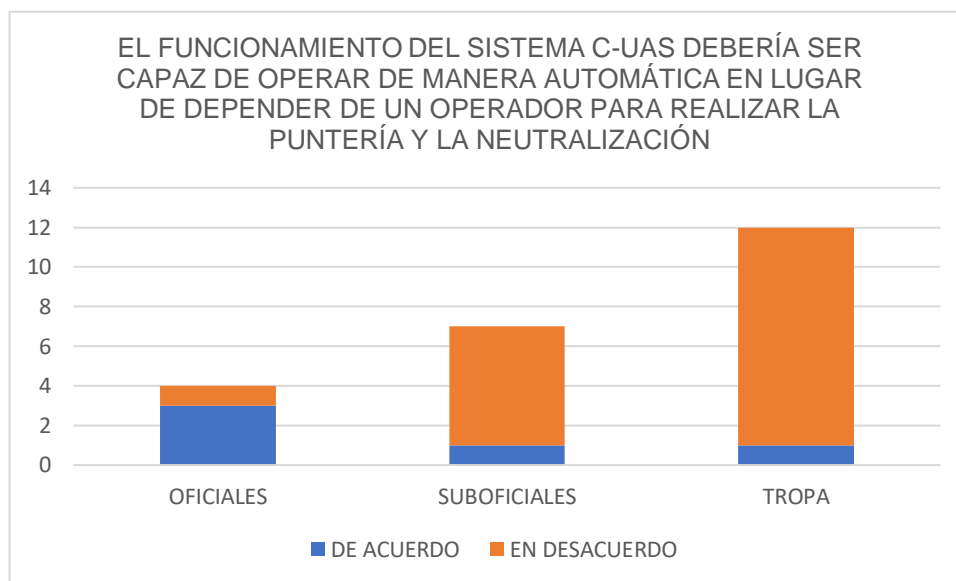


Ilustración 12. Resultados de la pregunta 4. [Fuente: Autor]

Es decir, mientras que los oficiales encuestados apuestan por una rápida incorporación de sistemas contra UAS que sean capaces de funcionar de manera autónoma y que otorgan a las Fuerzas Armadas independencia con respecto a otras naciones para realizar su defensa contra esta amenaza, los suboficiales y tropa no tienen esa amenaza en tanta consideración como la tienen de las aeronaves de ala fija o rotatoria de gran tamaño. Por ello apuestan por una actualización de los sistemas de defensa antiaérea vigentes en el ejército y que preferiblemente necesiten de operadores para realizar el fuego de las armas.

Una vez expuesta la amenaza y los graves daños que es capaz de causar tanto en personal como en infraestructura, se va a proceder a analizar los sistemas que se han desarrollado por todo el mundo para hacer frente a estas amenazas. Sin embargo, es necesario conocer antes los requerimientos que un buen sistema de defensa contra drones necesita.



3.2. CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DE UN SISTEMA EFICAZ CONTRA MINI Y MICRO UAV

Previamente al estudio del mercado internacional de sistemas contra UAV es necesario determinar las características esenciales de las que un sistema de este tipo debe disponer. Para ello es necesario basarse en la información obtenida de las entrevistas a los Tenientes del Regimiento de Artillería Antiaérea nº71, el Teniente Alberto Bermejo Vesga y el Teniente Jaime Peña Abades. Ambos imparten las sesiones C-UAS como parte de la concienciación de esta amenaza a miembros de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado y también como parte de la formación preparatoria que reciben los militares del Ejército de Tierra antes de ser desplegados en cualquier misión en el extranjero. Además, tienen dos despliegues en Turquía a sus espaldas, donde se vela por la protección del espacio aéreo europeo.

A dichos Tenientes se les preguntó acerca de las capacidades actuales de nuestro ejército en cuanto al grado de amenaza que representan los drones pequeños comerciales adaptados para realizar ataques, a la capacidad de España de realizar una defensa eficaz de sus bases contra RPAS y a la evolución futura de esta amenaza, a lo que ambos Tenientes contestaron de una manera muy similar.

Ambos Tenientes conocen de cerca la amenaza dron y en especial aquellos drones que se han transformado en armas de manera casera, convirtiéndolos en drones bomba, los conocidos como UAV-IED (Unmanned Aerial Vehicle – Improvised Explosive Device), disponiendo de “una amenaza barata, accesible y potencialmente destructiva” según el Teniente Bermejo. Estos drones causan estragos en zonas donde abunda el terrorismo yihadista, facilitando a estos grupos realizar ataques de alta visibilidad, estos ataques muy mediáticos, son utilizados rápidamente como propaganda en las redes yihadistas. Además, como comenta el Teniente Peña, “En Zona de Operaciones permiten a todo tipo de insurgencia usar todo el espacio aéreo para su interés y realizar actividades de inteligencia, reconocimientos, ataques suicidas, seguimiento y vigilancia de vehículos...”

Destacan las respuestas dadas por los Tenientes cuando se les pregunta por la capacidad de defensa de nuestras tropas frente a UAV-IED. Ambos afirman que las fuerzas desplegadas en zona de operaciones no están suficientemente equipadas para hacer frente a la amenaza. A pesar de ello, los contingentes desplegados disponen de algunos sistemas que anulan la mayoría de los drones, sin embargo, “hay marcas comerciales minoritarias para las que no funcionan algunos de nuestros sistemas y, desde luego, no tenemos nada que pueda hacer frente a amenazas más sofisticadas propias ya de ejércitos con un estado detrás, como los ataques con enjambres de drones portando material explosivo”, como afirma el Teniente Bermejo, siendo conocedores los propios instructores de una evidente debilidad de nuestras fuerzas frente a una parte de la amenaza.

A continuación, los Tenientes fueron preguntados por las capacidades que debería reunir un sistema contra dron ideal, a lo que ambos dieron la misma respuesta, un sistema eficaz y completo debe ser un “sistema de sistemas”, es decir, debe aunar diversos sistemas, tanto de detección como de seguimiento y de neutralización. Esto se debe a que la amenaza puede ser muy variada y la insurgencia podría realizar ataques combinando diversos tipos de drones en enjambre, necesitando cada tipo de dron un sistema adecuado para poder ser neutralizado.



En conclusión, a pesar de que los sistemas basados en una interceptación electromagnética, anulando las bandas de frecuencias en las que trabaja el dron, están dando un resultado adecuado hasta el momento, anulando la gran mayoría de las amenazas a las que se enfrentan, los nuevos drones y utilizarán la red 5G para comunicarse, y por lo tanto unos mayores anchos de banda. Además, serán capaces de portar sistemas de navegación inercial, (giróscopos y acelerómetros) siendo capaces de posicionarse en el espacio sin necesidad de comunicación con un operador, haciéndolos totalmente resistentes a interferencias. Por lo que un sistema contra UAS eficaz debería ser capaz de detectar drones que vuelen tanto a baja como a gran altura, y tanto en vuelo estático como en vuelo rápido y ágil e incluso imitando el vuelo de algunas aves. También debería ser capaz de batir las distintas amenazas con distintos métodos, en caso de que dichos drones tengan contramedidas o estén reforzados para reducir el efecto que puedan causar en ellos las medidas defensivas tomadas. Por lo tanto, debería de disponer de una amplia gama de sensores, que combinen tanto sensores tipo radar como sensores acústicos, como visuales, térmicos, etc. También debería ser capaz de derribar el dron tanto por medios electromagnéticos como por medios físicos, mediante láser o armamento que implique un impacto directo sobre el dron.

Una vez expuestos los requerimientos que un sistema C-UAS necesita, se va a realizar un estudio de los sistemas más avanzados de protección contra drones que se encuentran disponibles en el mercado internacional. Inicialmente se va a mostrar aquellos sistemas que el Ejército de Tierra tiene a su disposición. Todos ellos actúan en el ámbito de la interferencia electromagnética. Posteriormente, se mostrará alternativas tecnológicas que podrían ser incorporadas a las Fuerzas Armadas como sustitutos a los actuales sistemas ofreciendo una protección más completa ante la amenaza dron.

3.3. COMPARATIVA ENTRE DIVERSOS SISTEMAS CONTRA UAS

La gran demanda que diversos organismos han realizado sobre sistemas de protección contra UAS y la enorme industria tecnológica global ha permitido generar una serie muy variada de ofertas para satisfacer esta demanda. Los productos más destacados hasta el momento se muestran a continuación.

SISTEMA AUDS (Anti UAV Defense System) (AUDS, 2017)

El sistema AUDS ha sido desarrollado para hacer frente a la amenaza de drones para la protección de instalaciones grandes, como aeropuertos, o bases militares con un rango de 360 grados. También se ha extendido sus capacidades para poder ser rugerizado y utilizado montado en un vehículo, o bien ser desplegado en tejados de edificios o zonas descubiertas por un equipo de dos personas en menos de un hora, para ello se ha diseñado de forma modular en las que ningún módulo supera los 30kg.

El sistema, que no necesita de más de una persona para poder ser operado con eficacia, puede detectar, seguir e identificar un dron a una distancia de hasta 10 kilómetros objetivos que se muevan de manera imperceptible hasta una velocidad 400km/h. Detecta blancos con sección recta radar mínima de 0.01 m².

Una vez detectada una amenaza, el radar continúa barriendo en busca de otras amenazas. Tras detectar el dron, pasa el azimut al sistema de seguimiento. De la misma manera es capaz de hacer frente a drones que ataquen de forma coordinada en enjambre.

Para realizar la identificación y el seguimiento por parte del operador, el sistema dispone de una cámara óptica de alta definición y de una cámara térmica. El seguimiento del blanco se puede hacer de una manera manual por parte del operador o predeterminada.



La capacidad de inhibición es programable por RF y definida por software en el rango entre los 400 MHz y los 6 GHz. Dispone de antenas direccionables para un mayor alcance y mejor precisión, coaxiales con la cámara electroóptica. El operador elige cuando neutralizar el objetivo (el alcance máximo es aquel en el que el objetivo/amenaza es identificado como tal) y normalmente es de más de 2 km.

El sistema se encuentra desplegado tanto en Mali como en Irak como parte del sistema de protección contra drones de las bases españolas en la zona, donde ha dado buen resultado, anulando drones y evitando así diversos ataques. No obstante, es posible que en un futuro cercano los dispositivos anti-inhibición que llevan a bordo algunas aeronaves sean capaces de ser miniaturizados y aligerados de manera que puedan ser capaces de integrarse en el software del dron consiguiendo ser resistentes a este tipo de contramedida. Por lo que sería necesario complementar el sistema con otro que proporcione un ataque con medios físicos.



Ilustración 13. Sistema AUDES [Fuente: AUDES.com]

DRONE DEFENDER (Defender, s.f.)

Se trata de un sistema de anulación de la señal tanto de geolocalización como de control por parte del piloto. que recrea la forma de un fusil de asalto, haciendo muy intuitivo su uso y su puntería. No obstante, se caracteriza también por un peso excesivo para poder ser operado con agilidad y movilidad por parte de su operador, a pesar de que en las nuevas versiones se pretende disminuir el tamaño y el peso, así como aumentar su alcance y autonomía. En la actualidad el sistema consta de un componente que porta las antenas direccionables que se encargan de lanzar las ondas electromagnéticas, y una mochila que se utiliza para portar el sistema de alimentación eléctrica del arma.

No tiene un alcance efectivo mínimo o máximo, la interrupción efectiva ocurre en la relación de distancias y potencia entre el dron y su controlador y entre el dron y el dron defender. El sistema garantiza una inhibición del dron a 400m de distancia, cuando el piloto está al menos a 100m.

Las tropas españolas en Mali y en Irak disponen de este sistema para complementar la protección del personal contra UAV hostiles.



Ilustración 14. Drone Defender. [Fuente: Infodefensa.com]

SISTEMA SENDES HD-02 (ASDT, 2018)

El sistema Sendes HD-02 se diferencia con claridad del Dron Defender por no tener aspecto de fusil, lo que es beneficioso en caso de tener que usarse en un ámbito urbano dado que no genera una alarma social entre la población civil. Se trata de un elemento de neutralización de drones que tiene una forma ergonómica y una pantalla que ayuda a la configuración del arma. Además, no necesita de equipo de apoyo o una batería externa que le reste movilidad. Todo el sistema se encuentra integrado en un dispositivo de fibra de carbono de tan solo 3kg.

Dado que la puntería se realiza por parte del operador de forma visual, la distancia a la que se puede neutralizar el dron de tamaño mini no es muy grande. A pesar de ello, la marca asegura que se pueden derribar drones DJI Inspire 1 entre los 1200 y 1400 metros con alta efectividad. El sistema permite tanto anular las comunicaciones del dron con su operador, se puede interferir en la señal de video, la de control o la de posicionamiento GNSS. Las condiciones meteorológicas que interfieran en la señal emitida.

La duración de la batería es de tan solo 2 horas, sin embargo, las recargas de la batería del sistema serán necesarias tras largos periodos, dado que una vez divisada la amenaza, el arma se puede encender inmediatamente y neutralizarla para después ser apagada en espera del próximo uso, de manera que se alargaría la vida de la batería considerablemente. En cualquier caso, la batería tarda tan solo 3 horas en ser recargada por completo.

La misma marca también ha desarrollado el Sendes Passive Detector. Un radar que, a diferencia de los radares comunes de aviación, no radia el espacio con microondas en busca del eco de una posible amenaza. Para evitar tener después que utilizar otros sistemas para diferenciar los ecos de los drones de los ecos de las aves, globos y otros objetos voladores que puedan causar ecos similares, el sistema detecta las radio frecuencias que el operador utiliza para comunicarse con el dron, geoposicionando su ubicación.

El sistema Sendes consta de un gran prestigio dado que ya ha sido probado en situaciones reales por diversas unidades de alta especialización como son el equipo de seguridad de Su Majestad El Rey, que lo ha utilizado en combinación con el sistema Aeroscope y el Sendes Passive Detector, el Grupo de Acción Rápida de la Guardia Civil (G.A.R.) en la protección de los ciclistas de “La Vuelta”, y por parte de la Policía Nacional en la protección del estadio en el que se jugó la final de la Copa del Rey. Además, ha sido capaz de superar todas las pruebas propuestas por el Ejército de Tierra español en el avance del programa Condor, un programa que busca mejorar la protección de la Fuerza y las instalaciones contra el ataque de drones. El sistema Sendes se ha posicionado como uno de los sistemas más seguros del mercado para el operador, emitiendo en el antebrazo del mismo un máximo de 1.4 W/m^2 , siendo los requerimientos de seguridad marcados por la Unión Europea de 52 W/m^2 .



Ilustración 15. SENDES HD-02. [Fuente: corrections.direct]

SISTEMA AEROSCOPE (DJI, 2018)

La propia marca DJI ha desarrollado un sistema que permite geoposicionar mediante GPS el número de serie de los drones de este mismo fabricante en un radio de 5 km en la versión portátil, teniendo un alcance de 50 km la versión fija del sistema, destinado a que las autoridades puedan controlar que sus aparatos no invadan espacios sensibles.

Los drones de la marca DJI ocupan el 85% del mercado, por lo que contribuye de forma significativa a la identificación de la amenaza. A pesar de ello, es conveniente tener en cuenta que a pesar de que UAS de esta marca son más sencillos de adquirir, el enemigo tendrá consciencia de estas capacidades contra UAS y buscará adquirir drones de otra marca para aumentar sus probabilidades de éxito.

Es necesario recalcar que este no es un sistema de neutralización de drones, el sistema proporciona información como la posición del dron, su vector de desplazamiento, su altura de vuelo, el punto desde el que despegó y la posición del piloto entre otros datos, por lo que necesita de un sistema complementario que se encargue de su neutralización en caso de que sea necesaria.

Se trata de un sistema ligero, de tan solo 8.5kg, portable por un solo individuo y operado de forma intuitiva.

Sus baterías, dos, para poder desconectar una batería mientras está en funcionamiento para su reemplazo, disponen de una autonomía de dos horas. Las baterías tienen un tiempo de carga de 90 minutos a pesar de que el sistema puede funcionar conectado a la red.

Funciona en un rango de temperaturas de -20° a 40°C y permite visualizar las posiciones de los drones sobre la cartografía del lugar. Los mapas se pueden cargar gracias a su conexión Wifi.

Detecta una amplia gama de drones DJI, desde la serie Inspire, Mavic y Spark como el Phantom3 y sus versiones posteriores.

Junto con los sistemas anteriores, el Aeroscope completa el sistema de protección contra drones siendo el encargado de proporcionar una alerta temprana.



Ilustración 16. Sistema Aeroscope [Fuente: djarsmadrid.com]

AVES RAPACES

Se ha demostrado que no resulta difícil adiestrar a aves rapaces para que capturen drones de pequeño tamaño en vez de otras presas. Este sistema presenta ventajas como la independencia del ave de ningún sistema de baterías o de conexión por ondas electromagnéticas con el operador, de manera que es totalmente robusto frente a interferencias o fuentes de energía eléctrica. Además, es un sistema de defensa que no se quedaría obsoleto a pesar de que los drones pudiesen portar dispositivos anti inhibición de alta tecnología. Por otra parte, su principal debilidad es que cada rapaz solamente puede hacerse cargo de un dron por vuelo, por lo que sería prácticamente imposible disponer de tantas rapaces para hacer frente a un ataque de un enjambre de decenas de drones.



*Ilustración 17. Águila Harris capturando un dron DJI Phantom en vuelo.
[Fuente:akyzoom.co]*



SISTEMA THALES (Group, s.f.)

Sistema Thales se ha desarrollado específicamente para defender instalaciones grandes como puertos comerciales contra mini y micro UAV. Se trata de un sistema compacto y modular, pudiendo funcionar con una o varias estaciones de sensores, gracias a su naturaleza modular, cubriendo cada una de ellas 90°. Gracias a su naturaleza modular, permite que el sistema de defensa crezca desde una única estación de sensores hasta el número necesario para cubrir las necesidades.

Mediante radares y detectores de frecuencias puede detectar y clasificar objetivos micro dron a una distancia superior a 4 km. La identificación y seguimiento se consigue mediante sistemas optrónicos que permiten una confirmación visual de la amenaza a una distancia superior a 2 km. A esa distancia se puede conseguir la inhibición de las señales GPS o de control por radiofrecuencia de forma automática o manual. De la misma manera, permite obtener la ubicación del operador del dron a una distancia de hasta 8 km.

Todo el sistema se coordina mediante el sistema de control Horus, el cual además de poder establecer criterios de actuación automática para que actúen los sistemas contra dron, con posibilidad de intervención manual por parte del operador, tiene la capacidad de establecer áreas de protección que activarán una alarma cuando se vean sobrepasadas por un dron.



Ilustración 18. Sistema Thales desplegado. [Fuente: thalesgroup.com]

SKYDOME SYSTEM (Technologies, 2020)

El sistema SkyDome se caracteriza por integrar en el componente de neutralización de la amenaza un dron “policía” que despegue cuando el operador marca uno de los drones detectados por el radar como amenaza.

El dron policía, un robusto dron de ocho rotores que a su vez integra un radar propio que le permite hacer una adecuada persecución de los drones intrusos, se posiciona cerca del dron objetivo y entonces le dispara una red con unas pesas en los extremos, que facilitan la captura del objetivo. La red se encuentra atada al dron policía, por lo que el dron objetivo no cae al suelo de una manera descontrolada (situación muy peligrosa en caso de realizarse la captura encima de una masa de gente o de que el dron intruso porte explosivos o agentes químicos), sino que el dron policía tiene la capacidad de transportarlo hasta un lugar que se determine para depositarlo suavemente evitando cualquier situación de peligro.

La empresa, Fortem Technologies, presume de tener un fantástico radar para detectar estos mini y micro UAV. Algunos de sus radares han sido instalados en aeronaves del ejército de los Estados Unidos para ofrecer a la tripulación de las aeronaves mejor consciencia del



ambiente que les rodea y poder evitar ataques o accidentes con este tipo de aeronaves no tripuladas.

Estos radares utilizan inteligencia artificial para ser capaces de diferenciar a los drones pequeños que vuelan a una altura muy baja y de manera esquiva de la fauna animal que se encuentre en la zona y así evitar falsos positivos. Tanto la NASA (National Aeronautics and Space Administration) como la FAA (Federal Aviation Administration) han recomendado este radar como el sensor número 1 para la detección de aeronaves no tripuladas. El radar es capaz de detectar personas y pájaros a 1800 m.

Las ventajas de este sistema son indudablemente el uso de un radar con un prestigio tan alto y la capacidad de recuperación de los drones hostiles. El hecho de que la NASA y la FAA hayan certificado el radar con tal alta cualificación da una idea de las pruebas de alta exigencia que ha superado con éxito. La capacidad de recuperación del dron hostil mediante la red permite no solamente evitar su daño estructural o destrucción en el caso de que lleve sustancias tóxicas o explosivos, sino que a su vez permite una investigación posterior en el aparato para conocer su origen o modificaciones realizadas en el dron que en caso de ser dañado o destruido serían mucho más difíciles. Como desventaja se observa una clara vulnerabilidad ante ataques de enjambres de drones, dado que el dron "policía" solamente tiene capacidad para transportar un dron por cada vez que despegue, necesitando una enorme cantidad de estos drones para hacer frente de una manera eficaz a un ataque en enjambre.



Ilustración 19. Dron de SkyDome System capturando con una red un dron intruso. [Fuente: janes.com]

RAYTHEON SYSTEM (Raytheon, s.f.)

El sistema C-UAS que propone Raytheon destaca por encima del resto por disponer de unas capacidades muy variadas con los que consigue cubrir todo el espectro de la amenaza UAS. Se trata de un sistema rugerizado diseñado para hacer frente a drones de las clases I y II, drones pequeños y baratos.

El operador controla el arma con un mando de una videoconsola Xbox, aprovechando sus características intuitivas y ergonómicas. Con la ayuda de sensores ópticos e infrarrojos el operador puede observar con claridad el blanco antes de decidir hacer fuego.

Debido a la capacidad de estos drones de volar cerca del suelo, a muy baja altura aprovechando las irregularidades y obstáculos del terreno, se necesita una amplia gama de sensores para maximizar las posibilidades de detección del dron enemigo. Para ello el sistema puede integrar tanto sensores de radio frecuencias, como radares, sensores acústicos, cámaras infrarrojas y térmicas o observadores en tierra.



En lo que respecta al arma láser, el sistema podría realizar descargas ilimitadas si se conectase a un generador. De la misma manera, cuanto mayor sea la fuente de energía, más energéticas serán las descargas láser que realice, pudiendo abatir blancos más grandes y con mayor rapidez. Característica muy destacable para su aplicación por parte de la artillería antiaérea a una escala mayor (aeronaves de ala fija y rotatoria), así como para el ejército del aire, en sus aviones de caza y en los grandes aviones de transporte, y los buques de la armada, aprovechando los enormes generadores de los que disponen.

Cuando la amenaza dron viene en forma de enjambre que ataca de forma coordinada, generando una gran nube de drones hostiles que se dirigen hacia la posición a defender, Raytheon ha desarrollado un arma alternativa al láser. Mientras que el láser se caracteriza por su gran precisión en el punto de aplicación, para hacer frente a los enjambres la marca ha desarrollado un pulso de ondas electromagnéticas en forma de cono que se emiten desde una antena en forma de plato, inutilizando numerosos drones al mismo tiempo.

Tanto el arma láser como la onda electromagnética de alta potencia se pueden utilizar de forma independiente o simultánea.

Sin embargo, es posible que debido al escenario en el que se dé la amenaza no sea conveniente utilizar armamento láser u otros métodos que derriben el dron sin control. En un escenario en el que haya población civil cerca o tropas propias que se deseen proteger es necesario otro tipo de respuesta no destructiva. Para ello Raytheon ha desarrollado también un sistema que pudiendo ser operado desde una Tablet o en modo automático es capaz de interferir en la señal de control del dron y permite tomar el control del mismo permitiendo aterrizarlo allí donde sea conveniente. Se le puede introducir al software del sistema una lista de drones aliados para evitar interferencias en ellos.

Además, el UAS Coyote, desarrollado también por Raytheon, es un sistema dron que tiene capacidad contra dron. Las misiones de este dron son principalmente de reconocimiento de zonas peligrosas, dado que se trata de un dron de pequeño tamaño, de bajo coste y de fácil lanzamiento, por lo que puede utilizarse como armamento fungible. Posee una cámara de gran resolución que le permite detectar drones en el aire y derribarlos mediante impacto. El UAS Coyote presenta un alto grado de autonomía pudiendo volar en enjambre con otros drones Coyotes y pudiendo ser desplegado desde una batería en tierra o desde vehículos o aeronaves. Además, es importante recalcar que el dron se puede recuperar mediante un aterrizaje controlado para ser lanzado de nuevo tras ser reconfigurado y reabastecido.

Debido a la gran cantidad de misiones que se le puede dar a este dron, presenta economía de alcance para los Estados. El dron puede emplearse por parte de la administración en las misiones de reconocimiento de territorio enemigo, lucha contra dron, vigilancia de fronteras y lucha contra el narcotráfico. También se ha utilizado por parte de Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos para la vigilancia y supervisión de huracanes, como sucedió con el Huracán María en 2017, pudiendo ser lanzado desde un avión de patrulla marítima P-3 Orión para la recolección de datos vitales para la elaboración de las predicciones meteorológicas de seguimiento del huracán, demostrando la gran polivalencia que ofrece este sistema. Durante su vuelo en el huracán el dron aguantó vientos racheados con una velocidad superior a 160 km/h sin interrumpir su emisión de datos.

La marca también está trabajando en un programa que permita infiltrarse en el software del dron objetivo y conocer la posición del operador que lo pilota sin que este se percate.

En cualquier caso, si todas estas contramedidas fallasen, el sistema también permite acoplar un misil Stinger para su uso en caso de que la situación sea muy extrema. No es necesario que el misil impacte directamente contra el dron dado que detona por proximidad, por lo que también tendría un gran efecto contra formaciones de drones cerradas que vuelen en enjambre.



Dado que se puede montar sobre diversas plataformas, entre ellas buques, vehículos ligeros y helicópteros, es un sistema polivalente que puede ser empleado tanto por la Armada como por los Ejércitos del aire o de Tierra, permitiendo compartir sistemas y ahorrando costes de mantenimiento y logísticos.



Ilustración 20. Arma láser de alta intensidad sobre vehículo ligero y estación de sensores sobre vehículo pesado [Fuente: raytheonmissilesanddefense.com]



Ilustración 21. UAV Coyote y estación emisora de ondas electromagnéticas de alta potencia. [Fuente: raytheonintelligenceandspace.com]

SISTEMA PHALANX (Raytheon, s.f.)

El sistema Phalanx, desarrollado y producido por General Dynamics, se diseñó inicialmente para ser instalado en buques de guerra y proporcionar defensa contra misiles antibuque soviéticos en los buques de la OTAN durante la Guerra Fría. A diferencia de otros sistemas, el Phalanx es un sistema integrado con un alto grado de autonomía, por lo que no necesita realizar grandes modificaciones en el diseño del buque o instalar componentes adicionales, pudiendo ser fácilmente instalado en la cubierta del buque o en una estación en tierra. Actualmente presta servicio en las armadas de 15 países, entre las que se encuentra Estados Unidos, Canadá, Egipto, Chile, Corea del Sur, Grecia, India e Israel entre otros, lo que proporciona una idea de la calidad y efectividad del sistema.

A raíz de la guerra de Irak, donde las bases eran hostigadas constantemente con morteros, cohetes y artillería, el ejército de los Estados Unidos solicitó un sistema para protegerse de esta amenaza, una rápida actualización del Phalanx, montado sobre un camión y con un generador en el remolque, fue capaz de proteger las bases contra esta amenaza de una manera altamente efectiva. Desde su despliegue en Irak en 2005 hasta el año 2008, el sistema ya había neutralizado 105 ataques contra bases estadounidenses.

Esta gran efectividad se debe no solo a su capacidad de detección de objetivos de pequeño tamaño y gran velocidad, sino también a sus seis cañones rotatorios de 20 mm que son capaces de disparar entre 1500 y 2000 balas por minuto, dependiendo de si el modelo del cañón es el



M246 o el M940 respectivamente, pudiendo barrer la trayectoria del proyectil enemigo hasta destruirlo. Un único Phalanx puede defender un área de 1,2 kilómetros cuadrados.

Una característica reseñable de este sistema es el diseño de su munición. Mientras que la versión naval utiliza balas perforantes de tungsteno, la versión terrestre utiliza balas que explotan al impactar con el blanco o en su defecto al terminarse la mezcla trazadora que porta cada bala. De esta manera el sistema se puede instalar en lugares cuyas inmediaciones estén altamente pobladas sin preocuparse por bajas colaterales.

Teniendo en cuenta la experiencia en combate de este sistema, su alta tasa de efectividad y el tipo de objetivos para los cuales fue diseñado puede posicionarse como un sistema altamente eficaz para su uso contra MINI y MICRO UAV. No obstante, también se evidencia la enorme carga logística que este sistema necesita, y es que necesita ingentes cantidades de proyectiles para poder responder a numerosas amenazas, problema que no se genera en sistemas de defensa basados en ondas electromagnéticas.



Ilustración 22. Sistema Phalanx [Fuente: es.topwar.ru]

RED DE MALLA

En caso de recibir un ataque con drones micro aislados o en forma de enjambre que porten la carga explosiva justa para matar a combatientes por impacto directo, y que, por su tamaño, por su forma y comportamiento similar a animales reales el sistema de defensa contra dron no sea capaz de detectarlo y seguirlo, la solución pasa por refugiarse en vehículos blindados durante el ataque, hasta que impacten contra ellos o se les agote la batería y caigan al suelo.

En caso de las fortificaciones ligeras de infantería, elementos de transmisiones o depósitos de armas y municiones, una solución posible pasa por desplegar una red con una luz muy pequeña para evitar que los drones alcancen el personal o al equipo.

Debido a que este tipo de dron no tiene un alcance muy grande debido al reducido tamaño de su batería y por lo tanto su baja autonomía, no es probable que ataque piezas de artillería u otros elementos de apoyo al combate que no se encuentren cerca del frente en un conflicto de guerra convencional.

Sin embargo, en los conflictos asimétricos, las tropas propias suelen estar rodeadas de población civil y de núcleos urbanos en los cuales la insurgencia tiene la oportunidad de camuflarse y aproximarse a una distancia corta de nuestro personal y medios para poder atacarlos con este tipo de drones, por lo que un espectro mayor de nuestros elementos estaría bajo este riesgo.



Por lo tanto, se evidencia la gran desventaja de este método, y es que es imposible proteger grandes zonas, como un acuartelamiento, un aeropuerto o un base en zona de operaciones con una gran malla para evitar que penetren drones de pequeño tamaño en la zona de exclusión aérea. Esta solución solamente podría aplicarse a elementos pequeños, siendo de esa manera una solución un tanto precaria a pesar de que en ausencia de otros medios más tecnológicos es una técnica a la cual se puede recurrir y que dispone de una notable eficacia.



Ilustración 23. Malla de protección contra drones. [Fuente: hortomallas.com]

ÓPTICAS SMASH 2000. (Shooter, 2019)

La empresa israelí Smart Shooter ha creado un dispositivo óptico de puntería para fusiles de asalto que combina un hardware de fácil instalación sobre fusiles con un software avanzado de procesamiento de imágenes. La empresa afirma que puede garantizar el impacto directo sobre el objetivo.

El sistema funciona rastreando, allí donde apunte el visor, posibles objetivos aéreos y drones utilizando un modo diurno o nocturno con una mira tradicional de punto rojo superpuesta para facilitar la puntería. Ni la respiración natural ni la fatiga del operador puede hacer fallar el tiro, dado que una vez el tirador comienza a apretar el disparador (gatillo), el sistema Smash 2000 no permite efectuar el disparo hasta que la posición del fusil haga que la bala impacte directamente sobre el objetivo. Esta óptica ya está en uso en algunos componentes de las Fuerzas de Defensa de Israel.

La óptica Smash 2000 Plus es la última variante del sistema Smash. Dicha variación está especialmente diseñada para fijar, rastrear y abatir con precisión drones pequeños, rápidos y maniobrables durante el día y la noche.

Las ventajas que inequívocamente presenta este sistema es que, al poder atacar a los drones enemigos con munición cinética, es decir, balas, independientemente de las medidas de protección electromagnética que tenga el dron integradas o las capacidades de los sistemas de hackeo de las armas contra dron, causará daños considerables en la estructura del dron, haciéndolo caer. Además, se podrá hacer fuego efectivo contra drones con cualquier armamento convencional al que se le pueda acoplar este visor. Como contrapartida, se recomendaría el uso de este sistema en espacios abiertos y muy poco habitados o en situaciones límite como último recurso, ya que, si se utilizase en un ambiente urbano o una zona densamente poblada como un estadio de fútbol, un concierto o un mitin político, las probabilidades de causar heridos y bajas colaterales son cuantiosas.



Ilustración 24. Óptica SMASH 2000 acoplada a un fusil de asalto M4 [Fuente: zona-militar.com]



3.4. RESULTADOS

Tras analizar diversas ofertas que el mercado ofrece, se van a resumir las características principales en la siguiente tabla comparativa que recoge una serie de características que un sistema contra dron adecuado para su uso por parte de las Fuerzas Armadas debería poseer. Dicha tabla se va a emplear para mostrar de una manera ordenada las principales ventajas de cada sistema en comparación con el resto de los sistemas que se proponen. No obstante, debido a reservas de las propias empresas, no se disponen de todos los datos de los sistemas por lo que no se consigue una comparación real en todo los aspectos que se pretenden contrastar.

Las características seleccionadas responden a la capacidad de los sistemas de detectar los UAS, es decir, la distancia a partir de la cual son capaces de identificar un dron para poder iniciar el proceso de seguimiento y posterior neutralización del mismo, distancia de neutralización que también se valora en la siguiente tabla. De la misma manera se valora la capacidad de detectar micro UAV, siendo estos los de mayor dificultad de detección debido a su reducido tamaño. Aquellos sistemas que dependen de la identificación visual del operador para poder combatirlos presentan una evidente vulnerabilidad para hacer frente a estos UAV dado que es muy difícil realizar una identificación de un micro UAV a una distancia de decenas de metros, además, dependen de las características lumínicas de la situación y de la apreciación del operador. Por lo tanto, mientras los sistemas C-UAS basados en detección radar son capaces de operar tanto de día como de noche con las mismas prestaciones, los sistemas de detección visual sufren una degradación de sus capacidades en ambiente nocturno. A pesar de que esta situación se puede solventar otorgando al operador elementos ópticos de visión nocturna, el enemigo podría planificar los ataques coincidiendo con la salida o puesta de sol, atacando desde su dirección para aprovechar la ocultación visual que este ofrece.

Es por ello que los sistemas basados en detección radar son más fiables, en lo que respecta a la capacidad de detección de micro UAV, que aquellos basados en detección visual por parte del operador. No obstante, es necesario tener en cuenta que ello implica un aumento componentes del sistema C-UAS, y por lo tanto aumenta el peso y volumen del sistema y disminuye su movilidad táctica.

Siguiendo con las características relevantes de un sistema contra UAS, se evalúa también la capacidad de funcionar de manera autónoma a una fuente de alimentación eléctrica fija. Para otorgar flexibilidad y libertad en las operaciones a las unidades militares u otro tipo de fuerzas que deseen emplear estos sistemas, permitir cierta movilidad manteniendo la operatividad de los sistemas es un factor fundamental. En esa línea se evalúa también la facilidad de transporte de cada uno de los sistemas, característica muy relacionada con su capacidad de constituir un sistema formado por módulos y con el peso y volumen de cada componente. También influye en la movilidad la carga logística que el sistema necesita para su correcto funcionamiento, disminuyendo la movilidad a medida que aumenta la carga logística del mismo. Una carga logística alta implica que el sistema necesita de una serie de elementos auxiliares para ser capaz de funcionar correctamente, como reposición de munición, baterías, vehículos de apoyo, infraestructura del sistema, carburante, etc. Es por ello que, a medida que aumentan las necesidades logísticas de un sistema, aumenta la dificultad de su transporte y despliegue en zona de operaciones.

Se han valorado con calificaciones altas aquellos sistemas ligeros, que disponen de fuente de alimentación autónoma y que son fácilmente transportados por un operador a pie. Aquellos sistemas que necesitan de uno o varios vehículos ligeros para ser transportados



reciben calificaciones medias dado que constan de alta movilidad, pero dependen de la disponibilidad de los vehículos y de un terreno favorable al uso de ese tipo de vehículo. Aquellos que por otra parte necesiten de vehículos pesados para ser transportados se han valorado con una calificación baja, dado que los terrenos favorables al transporte con ese tipo de vehículos se limitan generalmente a caminos asfaltados, condicionando mucho las zonas de despliegue de este tipo de sistema C-UAS.

Finalmente se evalúa la capacidad de defensa contra enjambres de drones por ser ésta una forma de ataque muy efectiva y común entre las tácticas que emplean los drones suicidas. Esta forma de ataque busca la saturación del sistema de defensa mediante el ataque simultáneo de un gran número de drones, con la finalidad de que algunos de ellos logren traspasar las defensas. Se ha valorado como alta la capacidad de hacer frente a enjambres de gran tamaño, ello se consigue con unas antenas de emisión de interferencias de gran tamaño o la capacidad de generar ondas de interferencia en un espacio menor, pero con una gran frecuencia. Destaca la capacidad para detener este tipo de ataques de la red de malla, que pese a no generar ninguna onda electromagnética es capaz, debido a sus características, de hacer frente a un enjambre de gran tamaño con la misma efectividad que lo haría contra un dron aislado. Los sistemas que tienen la defensa contra enjambres entre sus características, pero tienen una amplitud de antenas menor por las características del sistema, y por lo tanto pueden hacer frente a enjambres menores o a enjambres grandes, pero de una manera menos efectiva, tienen puntuaciones medias. Aquellos sistemas que están diseñados para hacer frente a drones de manera individual, pero con una frecuencia de cambio de blanco alta, tienen calificaciones bajas. Por último, aquellos sistemas que no disponen de ninguna capacidad de hacer frente a enjambres, dado que una vez se empeñan en un dron hostil no pueden hacer frente a otros hasta que lo depositan en tierra y vuelven a despegar, tienen la calificación más baja.

La siguiente tabla recoge los resultados de las calificaciones para las distintas características analizadas en cada sistema:



	DETECCIÓN	NEUTRALIZACIÓN	AUTONOMÍA
AUDS 	10.000 m	2.000 m	necesita fuente de alimentación continua
DRONE DEFENDER 	visual	al menos 400 m	1 hora
SENDES HD-02 	visual	1.400 m	2 horas
DJI AEROSCOPE 	50 km versión fija/ 5 km versión portátil	ninguna	4 horas, pero dispone de baterías intercambiables para tener siempre carga
AVES RAPACES 	visual del ave en vuelo	4.000 -5.000 m	ilimitada
THALES 	4.000 m	2.000 m	necesita fuente de alimentación continua



	DETECCIÓN	NEUTRALIZACIÓN	AUTONOMÍA
SKYDOME SYSTEM 	1.800 m	1.800 m	necesita fuente de alimentación continua
RAYTHEON SYSTEM 	no se disponen de datos	no se disponen de datos	duración de la batería del motor del vehículo
PHALANX 	1.500 m	500 m	necesita fuente de alimentación continua
RED DE MALLA 	no es necesaria	contacto con malla	ilimitada
ÓPTICA SMASH 2000 	no se disponen de datos	alcance efectivo de fusil (200-300m)	pilas AAA



	FACILIDAD DE TRANSPORTE	CARGA LOGÍSTICA	DEFENSA FRENTE A ENJAMBRES	DETECCIÓN DE MICRO UAV
AUDS 	media	media	media	radar
DRONE DEFENDER 	alta	baja	baja	visual
SENDES HD-02 	muy alta	muy baja	media	visual
DJI AEROSCOPE 	muy alta	muy baja	ninguna	radar
AVES RAPACES 	muy alta	baja	ninguna	Apreciación del ave
THALES 	media	baja	media, tiene capacidad de expansión	radar
SKYDOME SYSTEM 	media	baja	ninguna	radar







	FACILIDAD DE TRANSPORTE	CARGA LOGÍSTICA	DEFENSA FRENTE A ENJAMBRES	DETECCIÓN DE MICRO UAV
RAYTHEON SYSTEM 	media	baja	alta	radar
PHALANX 	baja	muy alta	media	no
RED DE MALLA 	muy alta	muy baja	muy alta	No realiza detección
ÓPTICA SMASH 2000 	muy alta	muy baja	media	Software electroóptico

Tabla 2. Comparación de las capacidades de los sistemas contra dron analizados. [Fuente: elaboración propia]

Tanto el AUDS como el Aeroscope se muestran como sistemas adecuados para las tropas ligeras, por sus características de movilidad y autonomía, para hacer frente a los mini y micro UAV. Sin embargo, sería necesario que fuesen complementadas con sistemas de energía cinética como la óptica SMASH 2000, para poder cubrir todo el espectro de la amenaza, en caso de que esta tuviera dispositivos anti jammer.⁸

Las aves rapaces también han obtenido buena calificación en gran parte de los requisitos exigidos, a pesar de ello, su aplicación para su uso en zona de guerra sería limitado a drones de reconocimiento, dado que aquellos que porten munición explosiva o agentes químicos o tóxicos causarían la muerte del ave, haciendo evidente la debilidad de este método.

⁸ Un **jammer** es un dispositivo que deliberadamente interfiere o bloquea diversos tipos de señales de comunicación, como pueden ser teléfonos móviles, satélites, Wi-Fi o radiofrecuencia. Fuente: teambox.com



En lo que respecta al empleo de la red, se observa que ésta protege del impacto directo de drones, especialmente de aquellos que sean clase micro, sin embargo, una explosión de un dron que porte explosivos o agentes químicos al entrar en contacto con la red provocaría su destrucción o el daño de los elementos que se pretenden proteger de una manera muy probable.

Se hace patente entonces que, las aves rapaces quedarían relegadas a un uso contra drones que realizasen labores de reconocimiento o de patrulla, quedando excluidos los drones destinados a un uso ofensivo con explosivos o agentes químicos, mientras que las redes tendrían efectividad como medio de defensa también únicamente contra drones pequeños no armados.

Por otra parte, se observa que el sistema SkyDome destaca fundamentalmente por su capacidad de recuperación sin daños del dron enemigo. Sin embargo, no obtiene tan buenos resultados como los sistemas Thales y Raytheon en la defensa contra ataques en enjambre, siendo estos los más peligrosos y por lo tanto, aquellos que decidirán las batallas en zona de operaciones.

Finalmente, se observa con claridad que el sistema de Raytheon, a pesar de no ser el más autónomo ni el que presenta la movilidad más alta, se encuentra muy capacitado para hacer frente a un espectro muy amplio de la amenaza. Primero, porque combina diversos sistemas que pueden hacer frente tanto a drones aislados como a enjambres de una manera efectiva. Segundo, porque puede aplicar medidas electromagnéticas o medidas físicas (láser, UAV Coyote o misil Stinger) que aseguren el derribo de aquellos drones que tengan protección anti jammer. Por último, cabe recalcar, que a pesar de disponer de elementos con una movilidad más reducida, como la estación de sensores o la estación de generación de ondas electromagnéticas de alta potencia, dispone de otros elementos, como los misiles stinger o las armas láser que sí que se pueden desplegar a grandes distancias con velocidad y agilidad en caso de ser montadas en vehículos ligeros.

Es por ello, que el sistema contra UAS de Raytheon destaca por encima del resto por ser capaz de integrar sistemas de sensores y de armas que son capaces de eliminar todo el espectro de la amenaza.



4. CONCLUSIONES.

Tras analizar la amenaza actual y los medios disponibles en el Ejército de Tierra, se hace patente que no son capaces de hacer frente a la amenaza con total fiabilidad a pesar poder neutralizar con gran eficacia los ataques con drones de la casa DJI, lo que ha funcionado hasta el momento, dado que son los más asequibles económicamente y más fáciles de conseguir por parte de grupos insurgentes sin grandes recursos económicos.

Dado que la amenaza evoluciona cada vez con mayor rapidez y la miniaturización de dispositivos anti jammer es inminente, se necesitan nuevos sistemas para combatir los drones que sean capaces de aplicar medidas físicas sobre el dron hostil para asegurar su neutralización en caso de que las medidas electromagnéticas sean ineficaces.

De la misma manera, drones con capacidades y aspecto similar a animales reales serán cada vez más comunes, por lo que serán capaces de engañar al radar con facilidad, necesitando el sistema ser capaz de realizar el seguimiento y la puntería del arma de manera manual.

Sin embargo, la protección de extensos recintos como aeropuertos o bases operacionales no debería basarse en equipos portátiles individuales por su dependencia del operador (pudiendo sus habilidades haber sido mermadas por falta de sueño, estrés o falta de atención) y su reducido alcance. Los medios fijos pueden disponer de bibliotecas que permitan diferenciación de los UAV enemigos de los aliados, pudiendo clasificarlos para ejercer medidas ofensivas únicamente contra aquellos drones hostiles.

Por lo tanto, a pesar de que el sistema debería tener capacidad de operación automática, las nuevas capacidades de ocultación y camuflaje hacen necesaria la intervención del operador en caso de necesitar realizar la puntería del blanco de manera manual. También el uso de munición cinética en caso de que el UAV enemigo disponga de protección electromagnética es un factor necesario en los nuevos sistemas contra drones. Finalmente, el sistema debe ser capaz de ofrecer una amplia protección a instalaciones cuando se encuentre operando de manera fija y de disponer de elementos desplegables de carácter táctico para ofrecer protección de acompañamiento de pequeñas unidades.

Es por todo ello que un sistema como el que propone la empresa Raytheon, combinando sistemas de neutralización y de puntería manual y automática, además del uso de ondas electromagnéticas como medio de inhibición, y láser, drones y misiles como medios de neutralización físicos, se posiciona como el más competente para las necesidades de las Fuerzas Armadas.



BIBLIOGRAFÍA

ASDT, 2018. *SENDES*, s.l.: ASDT.

AUDS, 2017. *Blighter. Strategic counter UAS system*, s.l.: AUDS.

CESEDEN, 2019. *Concepto Nacional C-UAS LSS*, Madrid: Estado Mayor de la Defensa.

Defender, D., s.f. *Battelle*. [En línea]
Available at: <https://www.battelle.org/government-offerings/national-security/payloads-platforms-controls/counter-UAS-technologies/dronedefender>
[Último acceso: 05 09 2021].

Defensa.com, Abril 2021. *Medios modernos rusos de lucha contra aeronaves no tripuladas*. [En línea]
Available at: <https://www.defensa.com/rusia/medios-modernos-rusos-lucha-contra-aeronaves-no-tripuladas>
[Último acceso: 28 10 2021].

Defensa, M. d., 2016. *Proyecto RAPAZ y tecnologías anti-RPAS*, s.l.: s.n.

Delgado, J. A. M., 2018. *El uso de drones comerciales como vectores terroristas*, s.l.: Instituto Español de Estudios Estratégicos.

Delgado, J. A. M., 2020. Helicópteros para la defensa aérea contra UAS. *Revista de aeronáutica y astronómica*, pp. 38-46.

DJI, 2018. *Aeroscope*. [En línea]
Available at: https://dl.djicdn.com/downloads/AEROSCOPE/20180525/Aeroscope_Mobile_User_Guide_EN.pdf
[Último acceso: 08 09 2021].

García, S. D. J. V. P., 2020. *Drones, la amenaza que representan y las posibilidades de combatirla*, s.l.: Ejército de Tierra.

Gonzalo, B., 2018. Lucha antidrones. Un nuevo campo de batalla. *Tierra*, pp. 24-28.

Group, T., s.f. *Thales Group*. [En línea]
Available at: <https://www.thalesgroup.com/es/espana/magazine/sistemas-anti-dron-para-proteccion-infraestructuras-portuarias>
[Último acceso: 08 09 2021].

Jordán, J. & Baqués, J., 2014. *Guerra de drones*. 1ª Edición ed. s.l.:Biblioteca Nueva.

Press, E., 2012. *Europa Press*. [En línea]
Available at: <https://www.europapress.es/deportes/olimpiadas-00169/noticia-jjoo-londres-islamistas-chechenos-querian-atentar-campo-gibraltar-coincidiendo-juegos-olimpicos-20120806192630.html>
[Último acceso: 12 09 2021].

Raytheon, s.f. *Raytheon Intelligence and Space*. [En línea]
Available at: <https://www.raytheonintelligenceandspace.com/news/feature/beam>
[Último acceso: 02 09 2021].

Raytheon, s.f. *Raytheon missiles and defense*. [En línea]
Available at: <https://www.raytheonmissilesanddefense.com/capabilities/products/stinger->



missile

[Último acceso: 03 09 2021].

Shooter, S., 2019. *SMASH 2000 Plus*, s.l.: s.n.

Subdirección General de planificación, t. e. i., 2020. *Boletín información tecnológica en defensa*, s.l.: Ministerio de Defensa.

Technologies, F., 2020. *The SkyDome System*, s.l.: s.n.

Tte Gral. Juan Manuel García Montaña, D. G. d. A. y. M., 2015. *Plan director RPAS*, s.l.: s.n.

ANEXO 1. SECCIÓN RECTA RADAR DE DRONES DE PEQUEÑO TAMAÑO

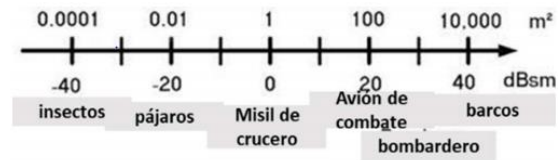


Ilustración 25. Rango de sección recta radar para diversos elementos, en m^2 y dBsm.
[Fuente: Boletín de información tecnológica de defensa]

La sección recta radar equivalente para diversos objetos abarca un rango que va desde -40 dBsm para los insectos hasta 40 dBsm para los grandes barcos. En el caso de las aves, el rango abarca aproximadamente desde -30 dBm hasta -10 dBm. En esa misma zona de valores se encuentran los RPAS de pequeño y mediano tamaño, básicamente multicópteros y plataformas de ala fija, con un tamaño aproximado de 30 cm a 1 m de dimensión característica.

RCS medida en m^2 o en dBsm				
	Dimensiones	Frecuencia	Pol. Vertical	Pol. Horizontal
DJI F450	Altura 19cm, ancho 49,5cm	Rango 5,8-8,2 GHz	---	-17 dBsm
DJI S-1000 Octocopter	Altura 64cm, ancho 130cm	Rango 5,8-8,2 GHz	8 dBsm	---
PARROT AR RPAS	Altura 45,1cm, ancho 51,7cm	8 GHz	25 dBsm	---
SYMA X5SC-1	Altura 4,5cm, ancho 32cm (plástico)	Rango 8,0-12,0 GHz	0,0312 m^2 (-15 dBsm)	0,0229 m^2 (-16 dBsm)
AIRVISION NT4 CONTRAS	Altura 22cm, ancho 57cm	Rango 8,0-12,0 GHz	0,271 m^2 (-5,6 dBsm)	0,276 m^2 (-5,6 dBsm)
DJI Phantom	Altura 33cm, ancho 35cm	Rango 12-15 GHz	-13,5 dBsm	-15,3 dBsm

Tabla 3. Sección recta radar de diversos multirotores. [Fuente: Boletín de información tecnológica de defensa]

Tipo de pájaro	Peso (gr)	RCS teórica, m^2 (dBsm)			RCS experimental	
		Banda X	Banda S	Banda L	Banda X	Banda s
Curruca	10	0,0005 (-33)	0,0005 (-33)	0,00002 (-47)	---	---
Gorrión	25	0,0006 (-32)	0,0016 (-28)	0,00013 (-39)	-37	-28
Estornino	75	0,0013 (-29)	0,0017 (-28)	0,0010 (-30)	-31	---
Chorlito	200	0,0014 (-29)	0,0014 (-29)	0,0051 (-23)	---	---
Paloma	500	0,0027 (-26)	0,0038 (-24)	0,0109 (-20)	-28	-21
Pato	800	0,0044(-24)	0,0031 (-25)	0,0088 (-21)	-21	-30
Cisne	10000	0,024 (-16)	0,027 (-16)	0,021 (-17)	---	---

Tabla 4. Sección recta radar de diversos pájaros. [Fuente: Boletín de información tecnológica]

ANEXO 2. EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE DRONES ESPÍA

China lleva varios años utilizando drones con forma de paloma y de otras aves para espiar a varias regiones del país, entre sus objetivos se encuentra el control de la población musulmana del Sinkiang. Estos drones son capaces de imitar el 90% de los movimientos de estas aves, pasando desapercibidas ante humanos y especialmente ante radares, que no son capaces de diferenciar entre estos drones y las aves reales.

Entre las ventajas que proporcionan estos drones, además ser capaces de camuflarse perfectamente con el resto de las aves, son la captura de imágenes de alta resolución, estabilizadas por software y un sistema de vuelo autónomo mediante posicionamiento satélite.⁹

Entre los avances futuros se espera que estos drones puedan volar en formaciones complejas y tomar decisiones independiente gracias a la inteligencia artificial. Otros países como Alemania o Estados Unidos también tienen líneas de investigación en este sentido.



Ilustración 26. Dron camuflado con forma de paloma. [Fuente: europapress.es]

De la misma manera, China también ha hecho público drones con forma de tiburón con una autonomía de dos horas para realizar tareas de reconocimiento. El dron es veloz, sigiloso, puede superar obstáculos y portar cámaras y sensores.¹⁰



Ilustración 27. Dron camuflado con forma de tiburón. [Fuente Nautica.news]

⁹ Diario EuropaPress en español.
<https://www.europapress.es/portaltic/gadgets/noticia-china-utiliza-drones-forma-paloma-vigilar-poblacion-varias-regiones-pais-20180625150223.html>

¹⁰ Página web de materiales náuticos NautiSports.com
<https://nautispots.com/drones-espia-estilo-tiburon/>

ANEXO 3. CUESTIONARIO

Como parte de su plan de estudio el CAC se encuentra realizando el TFG. Para la elaboración de este, necesita recoger información acerca de las medidas de defensa contra mini y micro UAV en el ejército de tierra y su opinión sobre el nivel de protección actual de la fuerza contra este tipo de amenazas.

NOTA: La información facilitada en este cuestionario será utilizada única y exclusivamente por el cadete para su TFG. El cuestionario es totalmente anónimo.

1. INFORMACIÓN PREVIA

a) ¿A qué escala del ET pertenece?

Oficiales

Suboficiales

Tropa

b) ¿Tiene experiencia/conocimientos en sistemas de defensa contra drones (aunque sea conceptual, lectura de artículos relacionados, ...)?

SÍ NO

2. BLOQUE 1. CONSIDERACIONES SISTEMAS DE DEFENSA CONTRA MINI Y MICRO UAV.

c) LOS MINI Y MICRO UAV REPRESENTAN UNA AMENAZA SERIA PARA NUESTRO PERSONAL DENTRO Y FUERA DE NUESTRAS FRONTERAS.

En total desacuerdo 1 2 3 4 5 En total acuerdo

d) EL EJÉRCITO DE TIERRA DISPONE DE MEDIOS SUFICIENTES PARA REALIZAR UNA DEFENSA EFICAZ CONTRA DRONES.

En total desacuerdo 1 2 3 4 5 En total acuerdo

e) ESPAÑA DEBE SER AUTOSUFICIENTE Y NO DEPENDER DE ALIANZAS INTERNACIONALES COMO LA OTAN PARA REALIZAR LA DEFENSA CONTRA DRONES DE SUS PEQUEÑAS UNIDADES.

En total desacuerdo 1 2 3 4 5 En total acuerdo

f) LA ADQUISICIÓN DE SISTEMAS CONTRA DRONES ES PRIORITARIA SOBRE LA RENOVACIÓN DE PLATAFORMAS DE LA ARTILLERÍA ANTI AÉREA.

En total desacuerdo 1 2 3 4 5 En total acuerdo

g) EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA CONTRA DRONES DEBERÍA SER CAPAZ DE FUNCIONAR DE MANERA AUTOMÁTICA EN VEZ DE DEPENDER DE UN OPERADOR PARA REALIZAR LA PUNTERÍA Y LA NEUTRALIZACIÓN.

En total desacuerdo 1 2 3 4 5 En total acuerdo

h) EL DESARROLLO POR PARTE DE ESPAÑA DE UN SISTEMA CONTRA DRON EFICAZ LE OTORGARÍA PRESTIGIO INTERNACIONAL Y PERMITIRÍA AUMENTAR SU INFLUENCIA EN LAS DECISIONES CONJUNTAS A NIVEL INTERNACIONAL.

En total desacuerdo 1 2 3 4 5 En total acuerdo

Muchas gracias por su colaboración.

ANEXO 4. ENTREVISTA A EXPERTOS.

Pregunta 1. ¿Podría explicar brevemente cómo ha sido su carrera profesional y que destinos ha ocupado?

Pregunta 2. ¿Opina que los drones comerciales que han sido modificados para fines terroristas representan una amenaza grave para nuestras fuerzas armadas?

Pregunta 3. ¿Cree que las fuerzas armadas españolas están suficientemente equipadas para hacer frente a los drones con efectividad?

Pregunta 4. ¿Si se encontrase desplegado en una base en zona de operaciones y sonase una alerta contra drones, cómo procedería para evitar el ataque con los medios de los que disponen nuestros contingentes actualmente?

Pregunta 5. ¿Qué características cree que debería tener un sistema eficaz contra drones?

Pregunta 6. Tanto el ejército estadounidense como el británico están apostando por armas de energía dirigida, armas láser, ¿cree usted que España debería centrarse también en este tipo de armamento?

Pregunta 7. ¿Cree que la defensa contra drones debería ser una capacidad exclusiva de la artillería antiaérea?

Pregunta 8. ¿Cuál cree que será la evolución futura a corto plazo en la guerra asimétrica con el uso de drones de pequeño tamaño?

Gracias por su tiempo.