



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

TÍTULO DEL TRABAJO: Propuesta de implementación de tecnología láser en el Sistema 35/90 SKYDOR para hacer frente a la amenaza emergente UAS

Autor

LUIS ÁLVAREZ DE LARA MORALES

Director académico: Dr. FERNANDO DE LEÓN-PÉREZ

Director militar: ENRIQUE SÁNCHEZ GALLEGO

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

Año 2021-2022



AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han ayudado en la realización de esta memoria.

A mi tutor militar, el Capitán D. Enrique Sánchez Gallego, por su cercanía, disponibilidad y ganas de trabajar, siempre enfocado en mi aprendizaje y compartiendo su experiencia, la cual ha sido fundamental en el trabajo.

A mi tutor académico, Dr. Fernando de León-Pérez, por su paciencia y apoyo para realizar el trabajo de la mejor forma posible, así como su gran disponibilidad siempre que lo he necesitado.

Al Grupo de Artillería Antiaérea nº 71, por recibirme con los brazos abiertos desde el primer momento que pise el Grupo. Del cual he podido aprender y experimentar su espíritu de trabajo.

A mis amigos y compañeros, quienes han estado a mi lado tendiéndome la mano siempre que lo he necesitado, y celebrando conmigo todos mis éxitos.

Y, por último, a mi familia, que siempre ha estado a mi lado, apoyándome a lo largo de toda mi estancia en la academia para poder llegar a este momento y ser quien soy hoy. Me han apoyado en los momentos más duros y han celebrado conmigo los más felices. Me han ayudado a mejorar cada día, exigiéndome siempre a ello, conocedores de mis capacidades.





RESUMEN

El siguiente proyecto se encuentra enmarcado en el ámbito de la Defensa Aérea, concretamente en los sistemas antiaéreos centrados en combatir la amenaza de un sistema aéreo no tripulado (UAS, por sus siglas en inglés). Durante los últimos años y según las experiencias recogidas de los conflictos más recientes, se ha observado una proliferación en el empleo de este tipo de amenaza. Dada esta proliferación, es necesario contar con los sistemas y tecnologías pertinentes que permitan combatir la amenaza emergente UAS con las mayores garantías de éxito. Este es uno de los principales problemas de la Defensa Aérea, ya que los sistemas de dotación del Ejército de Tierra (ET) destinados para tal fin, no son eficientes para combatir la totalidad de esta acuciante amenaza.

En este contexto, el objetivo general de este trabajo es proponer la integración de la tecnología láser como armamento de energía dirigida en los sistemas de Defensa Antiaérea en dotación. Para su cumplimiento se ha diseñado una metodología que se articula en cuatro fases: (i) conocimiento de las características específicas de la amenaza UAS y análisis de los riesgos asociados a los efectos provocados por la misma; (ii) conocimiento de las características técnicas de los sistemas de armas, con los que cuenta el ET para combatir la amenaza, y análisis de las ventajas y limitaciones de cada uno de estos sistemas, para obtener el idóneo para implementar la tecnología láser; (iii) analizar los beneficios de la implantación de la tecnología láser en el sistema de armas escogido y compararlo con sus capacidades actuales; (iv) analizar la viabilidad de la implementación de la tecnología láser en el sistema de armas analizado. Para el cumplimiento de dichas fases se ha consultado abundante bibliografía e informes especializados. Dentro de las tres primeras fases se ha procedido a la consulta de distintos grupos de expertos dentro del Regimiento de Artillería Antiaérea nº 71 compuesto tanto por oficiales como por suboficiales, contando todos ellos con dilatada experiencia en el campo estudiado. Las opiniones y valoraciones de dichos grupos fueron recogidas mediante encuestas y entrevistas. Para el cumplimiento de la última fase se realizó un estudio de mercado entre las distintas empresas civiles escogidas para realizar la implementación.

Los resultados del trabajo reflejan que los medios disponibles en la actualidad en el ET destinados para combatir la amenaza UAS, la cual presenta numerosos riesgos, poseen una serie de limitaciones que impiden neutralizar la amenaza con éxito. Una vez analizados los sistemas antiaéreos de dotación del ET y las ventajas que proporcionan los sistemas láser, se identifica el sistema 35/90 SKYDOR como el más idóneo para la integración de la tecnología láser. Tras la identificación del sistema de armas y el estudio de mercado entre las distintas empresas civiles seleccionadas, se escoge a la empresa Rheinmetall como la más viable para efectuar la implementación.

En conclusión, se erige el Sistema 35/90 SKYDOR como el sistema de armas más favorable para la integración de la tecnología láser con el fin de combatir la amenaza UAS. Esta afirmación se basa en los resultados obtenidos según los criterios identificados en el análisis (costes, letalidad, precisión, logística, contramedidas y condicionantes atmosféricos). Del mismo modo, la empresa Rheinmetall sería la más viable para efectuar la implementación abalada según los criterios del estudio de mercado (capacidad de integración en sistemas convencionales, coste de adquisición, tiempo en servicio, robustez, tiempo de reposición de repuesto).



PALABRAS CLAVE

- Láser
- Vehículos aéreos no tripulados
- Sistema 35/90 SKYDOR
- Dron



ABSTRACT

The following paper addresses about Aerial Defense, in particular about the anti-aircraft systems, focus on battle the threat of an aerial system no manned, known as UAS. During last years and taking into consideration experiences of last conflicts, it has been observed an increment of the use of this kind of threat. Therefore, there is a need to count with systems and technology which could afford to fight against UAS with the highest guarantee of success. One of the main problems of the Aerial Defense is that the Army's systems used for this aim are not efficient to beat the pressing threat at all.

Focus on this context, the main objective of this assignment is to propose the integration of laser technology as an armament of directed energy in Antiaerial Defense's systems. In order to achieve it, a methodology formed by four phases has been designed: (i) knowledge of specific features of UAS threat and analysis of risks associated to the effects caused by it; (ii) knowledge about technical features of the Army's systems to beat the threat and analysis of the advantages and limitations of each of the systems in order to get the ideal one to implement laser technology; (iii) analyze the profits of the establishment of laser technology in the arm's system chosen and compare it with its actual abilities; (iv) analyze the viability of the laser technology implementation in the arm's system that has been analyzed previously. A big amount of specialized bibliography and reports have been consulted. For the three first phases different groups of experts that belong to the "Regimiento de Artillería Antiaérea nº 71" have been asked. These groups were formed by officers and non-commissioned officers that had a wide experience in the issue that has been studied. Their opinions and assessments were collected by surveys and interviews. For the last phase a market research between the civil companies previously chosen was done.

The results of the assignment show that the means which are available at the moment in the Army destined to fight against the UAS threat, which has a lot of risks, have several limitations that prevent to neutralize the threat successfully. Once analyzed the antiaerial systems of the Army and the advantages of the laser systems, the 35/90 SKYDOR was identified as the best option to integrate laser technology. After identifying the arm's system and the market research of civil companies, Rheinmetall was chosen as the most viable for the implementation.

In conclusion, the 35/90 SKYDOR system is the most favorable arm's system for the integration of laser technology in order to beat the UAS threat. This affirmation is relying on the results obtained following the criteria identified in the analysis (costs, lethality, precision, logistics, countermeasures and atmospheric constraints). In the same way, Rheinmetall company would be the most viable for the implementation following the judgments of the market research (ability of integration in conventional systems, acquisition cost, time in service, robustness and time of replacement of replaced).



KEYWORDS

- Laser
- Unnamed Aerial Systems
- 35/90 SKYDOR System
- Drone



INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN.....	III
PALABRAS CLAVE.....	IV
ABSTRACT	V
KEYWORDS.....	VI
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
INDICE DE TABLAS	IX
ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	X
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	5
3. ANÁLISIS DE LA AMENAZA UAS.....	7
4. EVALUACIÓN DE LAS CAPACIDADES MILITARES FRENTE A LA AMENAZA UAS.	16
5. ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA LÁSER EN SISTEMAS DE ARMAS.....	25
6. CONCLUSIONES.....	38
BIBLIOGRAFÍA	39



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proliferación del empleo UAS LSS. Fuente: Elaboración propia.....	1
Figura 2. Procedimiento para resolver Problemas Militares Operativos (PMO) previamente identificados. Fuente: Elaboración propia.....	16
Figura 3. Cañón Antiaéreo 35/90 del GAAA I/71. Fuente: Elaboración propia.....	17
Figura 4. DT Skydor GAAA I/71. Fuente: Elaboración propia.....	18
Figura 5. Características del Láser en comparación con la Luz común. Elaboración propia.....	26
Figura 6. Drone Defender de la empresa Batelle. Fuente: elaboración propia.....	47
Figura 7. Aeroscope de la empresa DJI. Fuente: elaboración propia.....	48
Figura 8. Sendes de la empresa ADST. Fuente: elaboración propia.....	48



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Espectro de la amenaza aérea. Fuente: Elaboración propia.....	8
Tabla 2. Tabla de clasificación de los UAS OTAN. Fuente: Elaboración propia.....	9
Tabla 3. Características de los UAS según su clase. Fuente: elaboración propia.....	10
Tabla 4. Análisis DAFO de la amenaza UAS LSS. Fuente: elaboración propia.....	13
Tabla 5. Resumen del análisis de riesgos de la amenaza UAS LSS en el Teatro de Operaciones. Fuente: elaboración propia.....	14
Tabla 6. Matriz de probabilidad e impacto de la amenaza UAS LSS en Teatro de Operaciones. Fuente: elaboración propia.....	15
Tabla 7. Comparación de los Sistemas Fijos vs Sistemas Portátiles. Fuente: Elaboración propia.....	19
Tabla 8. Análisis DAFO del Sistema de Armas 35/90 frente a la amenaza UAS LSS. Fuente: Elaboración.....	20
Tabla 9. Resultados de la encuesta sobre el grado de satisfacción del Sistema 35/90 Skydor frente a la amenaza UAS. Fuente: elaboración propia.....	22
Tabla 10. Factores comparativos entre sistemas tradicionales y sistemas láser. Fuente: elaboración propia.....	28
Tabla 11. Parámetros a analizar previos a la compra. Fuente: elaboración propia.....	34
Tabla 12. Ponderación de los parámetros. Fuente: elaboración propia.....	35
Tabla 13. Media de los Parámetros. Fuente: elaboración propia.....	35
Tabla 14. Ponderaciones finales. Fuente: elaboración propia.....	36
Tabla 15. Empresas civiles consultadas sobre la implementación de la tecnología láser en el Sistema 35/90 SKYDOR. Fuente: elaboración propia.....	36
Tabla 16. Resumen Matriz de Decisión. Fuente: elaboración propia.....	37



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

DAA: Defensa Antiaérea

DAFO: Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades

ET: Ejército de Tierra

ETID: Estrategia de Tecnología e Innovación de la Defensa

FAS: Fuerzas Armadas

JEMAD: Jefe del Estado Mayor de la Defensa

PMO: Problema Militar Operativo

RAAA71: Regimiento de Artillería Antiaérea número 71

UAS: Unnamed Aerial Systems

UAS-LSS: Unnamed Aerial Systems (Low, Slow, Small)



1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Durante los últimos años, hemos sido testigos de un crecimiento exponencial de los Unmanned Aerial Systems (UAS), comúnmente conocidos como drones. Estos sistemas llevan presentes en nuestro entorno desde inicios del siglo XX, manteniendo una evolución sostenida en el tiempo. Ha sido desde el año 2012, cuando la evolución tecnológica de los mismos y, por ende, su empleo, se ha incrementado significativamente (Campoy, et al., 2016).

Estos UAS han teniendo recientemente su máximo exponente involucrados en conflictos cercanos como las invasiones territoriales de Rusia sobre territorio ucraniano, o los más recientes y relevantes conflictos de Armenia y Azerbaiyán, detallado en el Anexo 1, y el bombardeo a Israel desde la franja de Gaza (Delgado, 2021). En estos conflictos se ha podido apreciar la evolución tecnológica de los drones, apareciendo el concepto de UAS Low, Slow, Small (UAS LSS) dotados de unas capacidades tanto tácticas como técnicas capaces de decantar el resultado del conflicto.

La proliferación sin control de los UAS de reducido tamaño, bajo coste y fácil manejo, unido a sus prestaciones, ha provocado situaciones potencialmente peligrosas ocasionadas generalmente por un uso imprudente de los mismos, ya que se encuentran al alcance de cualquier usuario, como bien se muestra en la *Figura 1*, dónde se observa cómo nace el concepto UAS LSS según lo antedicho. Por ello actores de diversas índoles han sabido sacar partido de esta tecnología para emplearla con fines hostiles. Ampliando así su uso convencional en misiones de vigilancia, inteligencia, reconocimiento o adquisición, al empleo como vectores de ataque portando explosivos, armas o municiones.



Figura 1. Proliferación del empleo UAS LSS. Fuente: Elaboración propia.

Este hecho ha provocado la preocupación por parte de diversos ejércitos, entre ellos el español, a la hora de enfrentarse a esta nueva amenaza, la cual representa un problema a la hora de la defensa del espacio aéreo, provocando una sensación de inseguridad. Dicha preocupación, se encuentra respaldada por la falta de materiales y sistemas en dotación presentes en el Ejército de Tierra (ET) capaces de neutralizar la amenaza UAS LSS, debido a la pequeña firma radar que presentan, su vuelo a baja cota y su reducida velocidad (De Pedro



Garcimartín, 2019). Es por ello que abordar este problema supone la motivación principal de este trabajo.

Dicha preocupación ha generado que en la última década el Ministerio de Defensa (MINISDEF) haya confeccionado varios programas de colaboración con empresas universidades para impulsar la tecnología militar. Este impulso viene dado por la Dirección General de Armamento y Material, la cual ha desarrollado la Estrategia de Tecnología e Innovación de la Defensa (ETID¹), documento que divulga las necesidades tecnológicas de las Fuerzas Armadas.

En concreto para abordar la solución al problema anterior, nos centramos en la ETID 2020, publicada en enero de 2021, la cual en una de sus líneas trata el tema de defensa antiaérea frente a la amenaza UAS. Dicha línea explica como la introducción de nuevos sistemas basados en energía dirigida mejoraría la seguridad del espacio aéreo y reduciría los efectos provocados por los UAS LSS. Es por ello que la solución planteada en este trabajo se basa en seguir esta línea de actuación desarrollando un sistema dotado de esta tecnología.

Esta línea de actuación se encuentra avalada por proyectos financiados por el Programa de Cooperación en Investigación Científica y Desarrollo de Tecnologías Estratégicas (COINCIDENTE²). Para el desarrollo de esta memoria hemos elegido como antecesor el proyecto referente a armas de energía dirigida mediante láser de alta potencia (HEL, por sus siglas en inglés) (Ministerio de Defensa, 2018). En dicho proyecto se hace referencia a las capacidades que aportan las armas basadas en tecnología láser referentes a precisión, rapidez de reacción y capacidad de modificar su potencia de emisión. Siendo estas especialmente adecuadas para la defensa contra objetivos de gran velocidad e independencia de vuelo, tales como los UAS LSS.

En el ámbito operacional de las Fuerzas Armadas (FAS), el Jefe del Estado Mayor del Ejército (JEME), en el marco del desarrollo de la Fuerza experimental 2035, determina aquellas capacidades que se esperan tener para esa fecha, y define una nueva forma de entender la Defensa Antiaérea (DAA)³, en la cual se busca obtener sistemas capaces de combatir la amenaza UAS LSS. Por lo que el desarrollo de este tipo de programas y proyectos nos acerca cada vez más este objetivo propuesto (Defensa, 2019)

1.2. PROBLEMA MILITAR OPERATIVO

Los UAS están caracterizados por su reducido tamaño, sus altas prestaciones y su fácil manejo. Su bajo coste económico permite que se encuentre al alcance de cualquier

¹ La ETID es una iniciativa que se deriva de la política vigente de I+D+i del MINISDEF y que pretende servir de orientación tecnológica y como herramienta para promover la coordinación entre los diferentes actores, tanto internos como externos al MINISDEF, implicados en el desarrollo de la tecnología vinculada a las necesidades actuales y futuras de las FAS.

² El Programa COINCIDENTE es la contribución al desarrollo de los objetivos del I+D+i de Defensa, persiguiendo aprovechar diversos desarrollos y avances tecnológicos llevados a cabo en el campo civil para, mediante adaptaciones o trabajos específicos, poder desarrollar sistemas capaces de cubrir las necesidades tecnológicas de nuestras Fuerzas Armadas.

³ La DAA es la actividad condicionada por la existencia y configuración de la amenaza aérea, por los cambios en el campo de batalla y por la evolución esperable de los elementos fundamentales del sistema de DAA.



tipo de usuario. Lo que ha propiciado la disrupción de esta nueva amenaza, generando situaciones de incertidumbre y provocando situaciones potencialmente peligrosas, ocasionadas ocasionadas por el uso imprudente de los mismos.

Dicha preocupación se ha trasladado al ámbito de las Fuerzas Armadas (FAS), siendo a finales de 2017 cuando la Célula Nacional Contra Artefactos Explosivos Improvisados (CENCIED) define un Problema Militar Operativo (PMO) que identifica la incapacidad de las FAS frente a la amenaza UAS. En marzo de 2018, el Jefe del Estado Mayor de la Defensa (JEMAD) designa al Centro Conjunto de Desarrollos de Conceptos (CCDC) para liderar los trabajos de un grupo de expertos provenientes de diversos ámbitos (Industria, Ministerio de Defensa, Secretaría de Estado de Seguridad, Instituto Técnico de la Marañosa) que han culminado en el C-UAS LSS, aprobado por el JEMAD en enero de 2019.

1.3. DESIGNACIÓN AL REGIMIENTO DE ARTILLERÍA ANTIAÉREA Nº 71 COMO UNIDAD DE REFERENCIA EN LA PREPARACIÓN FRENTE A LA AMENAZA UAS

Como consecuencia de la falta de capacidades técnicas de los sistemas de armas de la DAA frente a una nueva amenaza disruptiva la UAS, el Mando de Artillería Antiaérea (MAAA) designa al Regimiento de Artillería Antiaérea Número 71 (RAAA 71) como Unidad de Referencia en la Preparación (URP) frente a la amenaza UAS en el ámbito de las unidades de la Fuerza Terrestre (FUTER).

El RAAA 71 ha creado un grupo de trabajo (GT CUAS) encargado de investigar la situación actual de los miembros de la alianza OTAN, de recopilar la doctrina frente a la amenaza UAS y de estudiar qué capacidades técnicas nos ofrecen los sistemas de armas C-UAS.

En la actualidad, el RAAA 71 ha sido dotado con los siguientes sistemas de armas en materia C-UAS:

- Drone Defender, de la empresa Battelle (Francia).
- Aeroscope, de la empresa DJI.
- Sendes, de la empresa ASDT (España)
- Sistema AUDS, de un consorcio de empresas de Reino Unido.

Asimismo, y con carácter semestral, el GT CUAS es el encargado de instruir y adiestrar al personal de las Unidades de Seguridad (USEG) de los diferentes contingentes desplegados en Zona de Operaciones (ZO). La concienciación frente a la amenaza UAS y el conocimiento de los modos de empleo de los sistemas de armas C-UAS desplegado en ZO se ha convertido en una de las máximas preocupaciones del Mando debido al aumento de hostilidades por parte de la insurgencia. (Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional, 2012)

La constante evolución de las capacidades militares por parte de la mayoría de los países y consigo de las nuevas amenazas, está generando que este tipo de sistemas de armas C-UAS queden obsoletos en un corto espacio temporal. Por ello el RAAA 71 como unidad de referencia en este ámbito, se encuentra en constante evolución y actualización de sus sistemas para poder evolucionar al mismo ritmo que lo hace la amenaza. Siguiendo los pasos de países líderes en defensa como Estados Unidos, Israel, Rusia o China están centrando sus esfuerzos en el desarrollo de armas no letales del tipo láser implementados en sus sistemas de armas



para garantizar la DAA frente a la amenaza UAS.

1.4. MOTIVACIÓN

Nos encontramos ante la evolución de una nueva amenaza a la seguridad en escenarios operativos cada vez más demandante y creciente. Este hecho impone el desarrollo de tecnologías militares que permitan enfrentar las nuevas amenazas. En vista de la evolución tecnológica que se está dando en esta área, es imprescindible adaptar los sistemas de armas actuales de la Artillería Antiaérea.

Por ello, debido al desarrollo constante de los UAS, los sistemas que actualmente poseen nuestras FAS pudieran quedar obsoletos en poco tiempo (Sánchez Gallego, 2021). Uno de los principales frentes de investigación para afrontar esta amenaza es la búsqueda permanente de adaptación de los medios C-UAS. Las armas de energía dirigida o de tipo láser constituyen una de las opciones más interesantes a considerar en la actualidad dadas sus prestaciones y ventajas a la hora de combatir la amenaza, como bien se detallarán en los capítulos posteriores de esta memoria.

Por otro lado, para una mejor protección de nuestro espacio aéreo, las FAS deben conseguir un nivel cada vez mayor de coordinación, tanto internamente, como con otros organismos del Estado e incluso con Organizaciones Internacionales en las que participa España. Para eso, vuelve a ser imprescindible la interoperabilidad de los medios por medio de un sistema único de mando y control.

Teniendo en cuenta lo antedicho, la motivación de este proyecto es estudiar los beneficios de las armas de energía dirigida del tipo láser, cómo han evolucionado otros países con la disrupción de esta nueva tecnología y la capacidad de integración en los sistemas antiaéreos actuales contribuyendo así en la DAA.

1.5. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

La memoria de este proyecto se ha estructurado en seis bloques diferenciados entre sí y un último punto al margen de ellos a modo de conclusión.

En el primer bloque (que incluye los apartados anteriores) introdujimos el proyecto a realizar, dando a conocer los antecedentes y ámbito de aplicación del trabajo, así como el problema a resolver para, de este modo, contextualizar sobre la actualidad de la amenaza UAS. Siendo la resolución del problema generado por la incapacidad de combatir de forma eficaz la amenaza UAS la principal motivación de esta memoria.

En el segundo apartado (que aparece a continuación) se enuncia el objetivo principal de la memoria y se indican los objetivos específicos y pasos intermedios que son necesarios para poder llevarlo a cabo. Una vez conocidos los objetivos a alcanzar, se describe cuál sería el alcance del proyecto para su puesta en marcha. Posteriormente se detalla la metodología que se va a seguir a lo largo de la memoria para conseguir los objetivos marcados.

En el tercer apartado se analiza la amenaza UAS. Primeramente, se da a conocer la amenaza y se perfilan cuáles son sus características y modos de trabajo, para posteriormente proceder a su evaluación mediante el siguiente análisis. Se realiza un estudio cualitativo pormenorizado de los riesgos potenciales de la amenaza UAS con



ayuda de una matriz de prioridad que evalúa los riesgos en sí, su probabilidad de aparición y su impacto.

En el cuarto apartado se analizan las capacidades existentes para hacer frente a la amenaza UAS. Describimos el sistema 35/90 SKYDOR junto a otros sistemas capacitados para combatir dicha amenaza. Posteriormente se evalúa el sistema de armas citado anteriormente a partir del análisis de las encuestas realizadas al personal perteneciente al RAAA 71, que está implicado tanto en este sistema de armas como en la amenaza UAS.

En el quinto apartado se analiza la implementación de la tecnología láser en el sistema 35/90 SKYDOR. Inicialmente se da a conocer en qué se fundamenta la tecnología láser, mostrando sus características y capacidades para después proceder a la confrontación entre los sistemas láser y sistemas tradicionales. A continuación, se examina su implementación en el sistema de armas para finalmente elaborar un posible estudio de mercado.

En el sexto y último apartado se esboza un pequeño avance de cuáles son las tendencias del ejército en el ámbito de aplicación de dicha tecnología, teniendo muy en cuenta la fuerza 2035 y el entorno cambiante de la amenaza UAS.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo principal de esta memoria es proponer la integración de sistemas láser como armamento de energía dirigida en los sistemas de Defensa antiaérea perteneciente al ET para que estos últimos sean capaces de enfrentarse de modo más eficaz a amenazas UAS.

Para la consecución de este objetivo principal, se definen los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar la amenaza UAS y conocer sus riesgos asociados.
- Evaluar la eficacia de los sistemas de armas para la defensa aérea actuales frente a la amenaza UAS.
- Analizar los beneficios de la implementación de un sistema de armas láser dentro del sistema de defensa antiaérea.
- Comparar el coste de los misiles utilizados por los sistemas de defensa aérea actuales frente al del arma láser.
- Analizar la viabilidad de la implementación del sistema láser en los sistemas de armas antiaéreos convencionales
- Concienciar sobre la necesidad del desarrollo de futuras líneas de acción centradas en este tipo de sistemas para garantizar la seguridad frente a todo el espectro de la amenaza actual.

Para cumplir los objetivos anteriores es necesario realizar las siguientes tareas adicionales, definiendo el alcance del producto:

- Realizar un estudio preliminar que permita vislumbrar las necesidades y carencias de los actuales sistemas de armas para la defensa aérea C-UAS.
- Analizar las prestaciones de los distintos productos existentes en el mercado y



de posible interés para el proyecto de estudio.

- Gestionar los diferentes recursos y normativas internas para la elaboración del estudio de la implementación de los sistemas láser.
- Realizar un estudio sobre la gestión de los recursos existentes para el desarrollo de los nuevos sistemas láser.

2.2. METODOLOGÍA

En dicha memoria se realizará un estudio analítico sobre la viabilidad de la implementación de la tecnología láser en el Sistema 35/90 SKYDOR, para así potenciar sus capacidades frente a la amenaza UAS. Por ello, para conseguir los objetivos propuestos se realizarán las siguientes tareas ordenadas en el tiempo.

En un primer lugar, se procederá a realizar un trabajo de selección de la información necesaria para la elaboración de la memoria, mediante una revisión bibliográfica de la información recopilada a través de distintos manuales, boletines oficiales del estado (BOE), conferencias, jornadas C-UAS y programas coincidentes trabajados en el RAAA 71. Se llevarán a cabo, además, diversas entrevistas a especialistas en la materia.

Con todas estas referencias, se procederá a su estudio y procesamiento mediante diferentes herramientas estudiadas en el grado, como el análisis de debilidades, fortalezas, amenazas y oportunidades (DAFO) y el análisis modal de fallos y efectos (AMFE). Esta metodología nos permitirá evaluar las fortalezas y debilidades de los sistemas estudiados, así como sus potenciales riesgos asociados. Del mismo modo, la realización de numerosas reuniones con distinto personal con experiencia en el tema nos ayudará a conocer cuáles son los aspectos críticos a tratar. Finalmente, elegiremos la opción menos costosa de implementar con ayuda de una matriz de decisión.

Por ello, buscamos en primer lugar analizar las características y capacidades de la amenaza a la cual nos enfrentamos, para así detectar el problema que nos presenta este tipo de desafío. Se realizará una revisión bibliográfica y su correspondiente análisis DAFO, al igual que su análisis de riesgos.

En segundo lugar, una vez conocida la amenaza, se procederá a evaluar los sistemas convencionales de Defensa Antiaérea, para comprender cuáles son sus carencias contra esta amenaza. Se realizará una revisión bibliográfica y diversas entrevistas a especialistas, así como entrevistas y análisis DAFO.

Posteriormente, se determinarán los beneficios que aportaría la introducción de la tecnología láser a la defensa aérea. Se analizarán las capacidades del láser mediante una revisión bibliográfica.

A continuación, se confrontarán los sistemas láser frente a los sistemas convencionales entorno a diversos factores. Se realizarán entrevistas, así como los estudios pertinentes a las mismas.

Por último, se determinará la viabilidad de la implementación de la tecnología láser al Sistema 35/90 SKYDOR. Se realizarán diversas entrevistas para terminar con la elaboración de un estudio de mercado basado en una matriz de decisión entre las opciones que ofrecen distintas empresas.



3. ANÁLISIS DE LA AMENAZA UAS

3.1. ESTADO DEL ARTE DE LA AMENAZA UAS

Estamos siendo testigos de un aumento exponencial del número de sistemas aéreos no tripulados, empleados para diversos fines y por diferentes actores (Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2011). La proliferación sin control de los UAS, con grandes capacidades al alcance de un gran número de usuarios gracias a la gran oferta de mercado, su facilidad de manejo y bajo coste, ha ocasionado situaciones potencialmente peligrosas debido a su uso imprudente. Actores tanto estatales como no estatales han dotado de nuevas aplicaciones a estos sistemas como reconocimientos o diversos ataques.

Con la aprobación de la Directiva 2/20 del Jefe del Estado Mayor de la Defensa para la implantación del concepto nacional Against Unnamed Aerial Systems; Low, Small, Slow (C-UAS LSS), se orienta a las unidades en el sentido de que la amenaza UAS de altas prestaciones y de mayor tamaño sea combatida con las capacidades y procedimientos actuales de la DAA, del mismo modo que frente a aeronaves convencionales (Centro Conjunto de Desarrollo de Conceptos (CCDC), 2018). Sin embargo, la evolución apreciada en el conflicto de Nagorno y Karabaj, donde se pudo observar un elevado empleo de este tipo de aeronaves con unas consecuencias decisivas para el desarrollo del conflicto, ha hecho que los planteamientos actuales deban ser revisados en aras de ampliar la eficiencia de estos sistemas (Sánchez Gallego, 2021). Este hecho pone en duda que los medios actuales de la artillería antiaérea sean capaces de responder con eficacia a estas nuevas amenazas de reducido tamaño. No pudiendo abarcar todo el espectro de la amenaza aérea que hace referencia a los distintos niveles de la amenaza, tal y como se explica en la *Tabla 1*, donde se desglosa el espectro en sus diversas modalidades: aeronaves tripuladas (aviones y helicópteros), aeronaves de quinta generación como el caza F-22 Raptor, amenaza emergente donde encontramos los UAS, sistemas de denegación de acceso y de área y por último el ciberespacio.








Amenaza tripulada de ala fija y rotatoria	
Aeronaves de 5º generación con baja sección equivalente radar (RCS por sus siglas en inglés)	
<p>Amenaza Emergente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • UAS • Aeronaves con baja detectabilidad • Misiles balísticos • Misiles de crucero • Misiles Tierra-Aire • LSS 	
Influencia en la capacidad de bloquear el acceso a zonas por parte del enemigo (A2/AD)	
Ciberespacio (Entorno Electromagnético saturado mediante ciberataques)	

Tabla 1. Espectro de la amenaza aérea. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior, cuya información ha sido extraída del Taller DAA de la Fuerza 2035, podemos observar como la mayoría de los niveles han aumentado, a excepción de las aeronaves tripuladas convencionales y cómo se ha incluido en los mismos tanto la amenaza UAS como UAS LSS.

3.1.1. Clasificación OTAN de los UAS

Para el estudio de esta nueva amenaza, la OTAN ha establecido una clasificación de los UAS en tres clases o tipologías:

Clase I: menor de 150 kg.

Clase II: entre 150-600 Kg

Clase III: superior a 600 kg.

En principio, los UAS de clase II y III pueden ser detectados debido a sus características físicas y perfiles de vuelo, y en su caso neutralizados, por los medios de Defensa Antiaérea (De Pedro Garcimartín, 2019). Sin embargo, los UAS pertenecientes a la clase I son más difíciles de detectar, para su posterior identificación, por su reducida superficie equivalente radar (RCS, por sus siglas en inglés), su trayectoria de vuelo a baja cota o estacionaria, así como su reducida velocidad (OTAN, 2020). Esta clase, tal y como se puede apreciar en la *Tabla 2*, se subdivide, a su vez, en función de su masa en UAS de tipo pequeño, mini y micro.



CLASIFICACIÓN UAS						
CLASE	CATEGORIA	EMPLEO	ALTITUD OPERATIVA	RADIO OPERATIVO	CATEGORÍA CIVIL	EJEMPLO
Clase 1 < 150 kg	Micro < 2 kg	Uso individual	Hasta los 200 pies	5 km	Grupo 1 < 20 kg	Black Widow
	Mini 2-20 kg	Subgrupo Táctico	Hasta los 3000 pies	25 km		Scan Eagle, Skylark, Raven, DH3
	Small >20 kg	Grupo Táctico	Hasta los 5000 pies	50 km	Grupo 2 (20-150 kg)	Luna, Hermes 90
Clase II 150-600 kg	Tactical	Formación Táctica	Hasta los 10000 pies	200 km	Grupo 3 > 150 kg	Hermes 450, Aerostar
Clase III > 600 kg	Male	Teatro Operacional	Hasta los 45000 pies	Ilimitado		Hermes 900, Predator
	Hale	Estratégico Nacional	Hasta los 65000 pies	Ilimitado		Global Hawk
	Strike/ Combat	Estratégico Nacional	Hasta los 65000 pies	Ilimitado		

Tabla 2. Tabla de clasificación de los UAS OTAN. Fuente: Elaboración propia.

De sus características técnicas, se detallarán también sus características tácticas y los modos de actuación que tiene cada una de las clases, centrándonos posteriormente en los pertenecientes a la clase I. Dichas características tácticas vienen explicadas en la *Tabla 3*, donde se comparan las tres clases en cuanto: maniobrabilidad, manejo, instrucción para su empleo y radio de acción. La información de dicha tabla, viene suministrada por expertos con dilatada experiencia pertenecientes al RAAA 71, durante las conferencias ofertadas en el mes de septiembre del presente año 2021, con motivo de las prácticas sobre los sistemas C-UAS realizadas en las unidades. Estas características serán de gran utilidad en el apartado de análisis 3.2.1.



CLASE I	CLASE II	CLASE III
<p>Sistemas de reducido tamaño, con baja sección radar equivalente (RCS) y radio limitado de acción, así como autonomía.</p> <p>Son sistemas controlados por señales de Radio Frecuencia (RF) y de GPS, por lo que son operados dentro de la línea de visión (LOS).</p> <p>Son lanzados de forma manual por lo que son mucho más fáciles de adquirir y no necesitan de personal especializado para su manejo.</p>	<p>Sistemas de mediano tamaño, capaces de realizar misiones de inteligencia y vigilancia.</p> <p>Su rango de acción es más elevado que los de clase I.</p> <p>Generalmente necesitan instalaciones de lanzamiento para su uso y a diferencia de los UAS Clase I, necesitan personal especializado para su manejo.</p>	<p>Sistemas de mayor tamaño y alcance por lo que son más complejas de manejar.</p> <p>Pueden realizar tanto misiones de vigilancia como ataques con una mayor relevancia ofensiva.</p> <p>Se requiere una mayor preparación para su pilotaje, así como una pista de aterrizaje convencional para su despliegue y recuperación.</p> <p>Su control se realiza vía satélite ya que estos dispositivos trabajan más allá de la línea de visión (BLOS).</p>

Tabla 3. Características de los UAS según su clase. Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Misiones de los UAS

Se ha puesto de manifiesto la necesidad de definir los diferentes tipos de misiones para las cuales se emplean dichos sistemas. Entre estas misiones destacamos:

- **Misiones de Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento.** Estas misiones son utilizadas en la actualidad mayoritariamente por milicias y tropas insurgentes de diversa índole.

Su pequeño tamaño, RCS y la introducción de nuevos sistemas, como nuevos modelos de cámaras o sistemas infrarrojos, facilitan su infiltración y rápida actuación, consiguiendo así información e inteligencia de las unidades desplegadas en la zona de operaciones. Para que un UAS pueda realizar este tipo de misión debe contar con capacidades de Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance (ISTAR), (Watson, 2017).

Algunos ejemplos de este tipo de misiones son:

1. Vigilancia de rutas críticas
2. Vigilancia de puntos sensibles
3. Vigilancia marítima tanto de plataformas como de navíos.

- **Misiones de Guerra Electrónica (EW).** Un UAS dotado de sistemas de EW puede realizar acciones de inhibición a los sistemas electrónicos pertenecientes a bases de operaciones o vehículos, además de poder interrumpir las comunicaciones a



través de perturbaciones EM (Integrated Office of the Secretary of Defense, 2007).

- **Misiones ofensivas mediante el empleo de explosivos.** Un sistema UAS puede albergar en su interior una carga explosiva lo suficientemente potente como para conseguir ocasionar grandes daños. Dentro de este tipo de empleo se pueden utilizar de dos maneras diferentes:

- 1- Configurar la carga explosiva del interior de su sistema para que detone cuando el sistema vaya a ser recuperado. Como se ha podido observar en conflictos como el de Iraq donde se han producido numerosas bajas de tropas por este tipo de configuraciones.
- 2- Configurar la carga explosiva del interior de su sistema para que detone cuando este se utilice como un arma dirigida contra algún objetivo. Los conocidos como drones suicidas, que han sido bastante empleados en conflictos como el de Nagorno Karabaj.

- **Misiones ofensivas mediante el empleo de municiones.** Un sistema UAS puede incorporar pequeños sistemas de armas, con los cuales podrán realizar ataques sobre objetivos tanto fijos como móviles, creando así las llamadas Improvised Weapon Devices (IWS).

3.2. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA UAS

Teniendo en cuenta que los UAS pertenecientes a las clases II y III pueden ser tanto detectados como neutralizados por los medios convencionales ya existentes en las unidades de Artillería Antiaérea (AAA), y combatidos por los sistemas antiaéreos de baja y muy baja cota (SHORAD Y VSHORAD), nos centraremos exclusivamente en los sistemas pertenecientes a la clase I, o LSS, los cuales suponen la actual amenaza debido al incremento de su uso y su dificultad para ser identificados y neutralizados

Para realizar la evaluación, se realizará, en primer lugar, un análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (DAFO) de la amenaza UAS LSS. De esta manera conoceremos aquello a lo que nos enfrentamos y así entender la forma de combatirlo de manera eficaz.

En un segundo lugar, y una vez analizadas las características de este tipo de aeronaves, se realizará un análisis de riesgos de la amenaza. De este modo se podrán conocer cuáles son los principales riesgos potenciales asociados a sus acciones, así como sus probabilidades de ocurrencia y su impacto.

3.2.1. Análisis Amenaza UAS LSS

Con este análisis se cumple uno de los objetivos marcados al comienzo de la memoria, esto es, la necesidad de conocer la amenaza UAS, más concretamente la perteneciente a la clase LSS. Ya que resulta fundamental conocer de primera mano la amenaza, para así después poder obtener la forma de combatirla y abordar el problema.

La necesidad del análisis de esta amenaza está motivada por el incremento del uso de los UAS LSS en conflictos en el extranjero (ver apartado 3.1) y su fácil accesibilidad (ver *Tabla 1*). Por ello se ha llevado a cabo el desarrollo de un análisis DAFO. Esta herramienta nos ayudará, en un primer lugar, a conocer en detalle la situación interna del sistema presentando sus



debilidades y fortalezas de una forma esquematizada y ordenada. Luego conoceremos su situación externa cuando mostremos la tendencia de la evolución de dichos sistemas y son las herramientas disponibles para hacerles frente.

Para la realización de dicho estudio se han revisado de manera exhaustiva diversas conferencias impartidas por varios Tenientes, especialistas en la materia, pertenecientes al RAAA71 durante las jornadas C-UAS durante el mes de septiembre del 2021, en las cuales tuve la oportunidad de participar. Las jornadas se iniciaron con un ciclo teórico de conferencias en las cuales se estudiaba la amenaza y su modo de actuación. Seguidamente, se realizó la parte práctica en la localidad de Talamanca del Jarama en la Comunidad de Madrid, donde se colaboró con la empresa civil Tecnidron4 y se pudo observar sobre el terreno el funcionamiento, características y manejo de este tipo de drones, observando de primera mano cómo trabaja el piloto de este tipo de sistemas.

Gracias a dichas jornadas se pudo reunir la información contrastada, por el personal adecuado, suficiente para la realización del estudio con la mayor veracidad y precisión posible. Las características más determinantes de dichos sistemas se resumen en el siguiente análisis DAFO. Nótese que, por una cuestión de conveniencia, hemos elegido presentar, únicamente en este apartado concreto, estas características desde el punto de vista del usuario del UAS y no desde el punto de vista de quienes queremos combatir esta amenaza.

⁴ Empresa ubicada en Las Rozas (Madrid) reconocida por AESA y EASA para la formación de pilotos profesionales de drones.



	Situación Interna	Situación Externa
■	<p style="text-align: center;">DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limitación de su uso en condiciones meteorológicas adversas ya sea lluvia o viento. • Limitación en su radio de acción, siendo este de un alcance máximo de 40 km. • Limitación en su tiempo de acción, ya que su autonomía no es muy elevada. • Fácil inhibición con los sistemas adecuados, una vez detectados. • Limitaciones en su capacidad transportar munición o explosivos. 	<p style="text-align: center;">AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de la tecnología EW para interrumpir e inhibir tato comunicaciones como navegación. • Aumento de la concienciación sobre esta amenaza. • Aumento de la instrucción a la hora de enfrentarse a la amenaza, ya sea por información de sus procedimientos y un mayor conocimiento del sistema. • Capacidad de detección del inicio de la señal y por lo tanto localización del piloto.
+	<p style="text-align: center;">FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dificultad a la hora de su detección dado su pequeño tamaño y RCS, baja firma IR y su modo de actuación a baja cota y gran velocidad. • Económicamente accesible. • No se necesita una gran instrucción para su empleo. • Fácil accesibilidad. 	<p style="text-align: center;">OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de agregar una gran variedad de nuevos sistemas. • Capacidad de trabajar en conjunto, en enjambre, por lo que se dificulta su neutralización. • Capacidad de usarse en misiones ISTAR. • Capacidad de albergar cargas explosivas o municiones.

Tabla 4. Análisis DAFO de la amenaza UAS LSS. Fuente: elaboración propia.

Este análisis DAFO nos proporciona una visión general de la amenaza que nos permitirá generar un plan de actuación contra la misma y tomar medidas concretas basadas en las debilidades que presentan.

De este análisis derivan de manera evidente varias conclusiones:

1. Son sistemas con una gran accesibilidad, tanto en términos económicos como en términos de empleo. Siendo esta una de sus principales fortalezas.
2. Son sistemas con una gran versatilidad, al adaptarse a diferentes tipos de misiones a realizar. Ya que pueden incorporar distintos tipos de sistemas según la misión a realizar y dada la dificultad para su detección. Siendo esta una de sus principales oportunidades.
3. Son sistemas que precisan de una atención focalizada, ya que se encuentran en constante actualización dadas las dos conclusiones anteriores. Por ello existe cada vez una mayor concienciación sobre la importancia de los UAS, presentándose como una de sus principales amenazas.

Es por ello que esta amenaza precisa de sistemas creados específicamente para



combatirla, y por ello se pretende desarrollar sistemas de energía dirigida adaptados a los ya existentes, como se explicará en los próximos capítulos de la memoria.

3.2.2. Análisis de Riesgos UAS LSS

Tras analizar las características de los UAS LSS en el apartado anterior, nos centraremos, a continuación, en analizar los riesgos potenciales asociados a su uso. Por ello se realizará un estudio cualitativo de una serie de riesgos, mediante una matriz de probabilidad e impacto, fundamentados en las misiones específicas de los UAS LSS vistas en el apartado 3.1.2.

Con este análisis se busca la consecución final del objetivo, comenzado con la realización del análisis DAFO del apartado anterior, de conocer y analizar la amenaza UAS. Por ello el principal foco de atención se centrará en conocer qué riesgos nos afectan a las FAS a la hora de enfrentarnos a este tipo de sistemas controlados por posibles insurgentes.

Se han establecido cinco riesgos potenciales detallados en la *Tabla 5*. La clasificación ha sido realizada con ayuda del personal experto (con rango de Capitán) del RAAA 71. Nuestra clasificación ha sido contrastada con la información recogida durante las jornadas C-UAS, detalladas en el apartado anterior. Dichos riesgos hacen referencia a los modos de actuación de los UAS recogidos en las misiones de nuestras FAS en el exterior y mencionados en el estado del arte.

ID	Descripción del Riesgo	Clase de Riesgo
1	Ataque a una posición fija	3H
2	Ataque a una unidad móvil	2H
3	Detonación de la carga del UAS durante su recuperación	2H
4	Operaciones de vigilancia y seguimiento	3M
5	Empleo de drones civiles en el espacio aéreo propio	3L

Tabla 5. Resumen del análisis de riesgos de la amenaza UAS LSS en el Teatro de Operaciones. Fuente: elaboración propia.

A cada uno de estos riesgos le ha sido asociada una probabilidad comprendida entre los niveles 1 al 3, según su grado de ocurrencia. Para asignar esta probabilidad se ha utilizado la información facilitada por el RAAA 71, basada en diversos estudios estadísticos proporcionados por el Centro de Inteligencia y Difusión de Inteligencia (CIDI), órgano encargado de estas dentro del ET. Gracias a dichos estudios y la supervisión del personal cualificado del RAAA 71 se han podido asignar las probabilidades con el mayor grado de veracidad posible.

Del mismo modo, cada riesgo lleva asociado un impacto Low (L), Medium (M), High (H) representado con diferentes colores. Esta clasificación determina cuáles serían las consecuencias de la aparición de riesgo y cuáles sus efectos. Al igual que en las



probabilidades, mencionadas anteriormente, la información requerida para asociar cada riesgo con su impacto ha sido facilitada por el personal del RAAA 71 durante las jornadas C-UAS.

Dichos riesgos han sido establecidos y clasificados según lo correspondiente al *Anexo 3*.

ID	Descripción del Riesgo	Clase de Riesgo
1	Ataque a una posición fija	1M
2	Ataque a una unidad móvil	1M
3	Detonación de la carga del UAS durante su recuperación	1M
4	Operaciones de vigilancia y seguimiento	2L
5	Empleo de drones civiles en el espacio aéreo propio	1L

Tabla 6. Matriz de probabilidad e impacto de la amenaza UAS LSS en Teatro de Operaciones.

Fuente: elaboración propia.

En la *Tabla 6*, se muestra un resumen del análisis de riesgos tras la aplicación de las medidas correspondientes, incluidas en el *Anexo 2*, en el cual se presentan 5 alternativas basadas en la implementación de nuevos sistemas capaces de identificar, inhibir y neutralizar la amenaza. Observándose, como cada uno de los riesgos se ve disminuido.

En el *Anexo 2*, se puede observar como cada uno de los riesgos es causado por una determinada configuración específica de los UAS LSS: dotados de armamento/ explosivo, dotados de capacidades ISTAR, dotados con capacidad IED. Y son clasificados: según su probabilidad e impacto, como se muestra en la *Tabla 5*. Posteriormente se explican los efectos asociados a cada uno de los riesgos estudiados. A continuación, detallamos cuáles serían las medidas adoptadas para afrontar ese riesgo lo que provoca que, o bien la probabilidad de dicho riesgo se vea reducida, el impacto se vea reducido o bien ambas simultáneamente. Provocando que el peligro potencial se vea reducido en importancia y no suponga un riesgo tan elevado para nuestras FAS.

En la *Tabla 5*, se observa que los riesgos con mayor impacto son el ataque a una posición fija (tal como una base o punto sensible), el ataque a unidades o dispositivos móviles y la detonación de la aeronave tras su recuperación. El primero de ellos muestra un riesgo alto y los otros dos, riesgos medio-alto. A las operaciones de vigilancia y seguimiento se les asocia también un riesgo medio-alto porque, aunque su probabilidad es alta, su impacto, en caso de aparición, sería menor que en las operaciones anteriores. Por último, encontramos el riesgo asociado al empleo de drones en el espacio aéreo propio, al cual se le asocia una probabilidad alta y un impacto leve, por lo que sería el riesgo menos relevante a tener en cuenta. Todo ello atendiendo a los parámetros de clasificación de los riesgos establecidos en el *Anexo 3*.

Tras aplicar las medidas necesarias para hacer frente a los UAS LSS, contrastadas con el grupo de expertos mencionado al inicio de este punto se conseguirá, en cada uno de los riesgos, reducir al menos en un grado tanto la probabilidad de aparición de los mismos como de los efectos que producirían, según los criterios establecidos en el *Anexo 3*. En este caso, ningún riesgo estaría catalogado como riesgo alto ni sería especialmente relevante, por lo que las medidas adoptadas serían útiles para reducir su aparición y, en su caso, para minimizar los daños ocasionados. La solución estaría centrada en la implantación de un nuevo sistema que



contribuya a que las acciones hostiles generadas por los UAS insurgentes no tengan una probabilidad de éxito tan elevada como hasta la fecha. Este tipo de sistema podría estar basado en la energía dirigida, como el láser.

4. EVALUACIÓN DE LAS CAPACIDADES MILITARES FRENTE A LA AMENAZA UAS

El contexto global en el que se enmarca la actuación de los sistemas de armas de la DAA se caracteriza por sus constantes cambios y transformaciones frecuentes, lo que obliga a realizar un esfuerzo de constante actualización de las capacidades militares. A través del documento *Entorno Operativo 2035* difundido por el Estado Mayor de la Defensa (EMAD), (Jefe del Estado Mayor de la Defensa (JEMAD), 2018) se trata de explicar las líneas futuras donde las FAS deberán focalizar sus misiones.

Una de las líneas de actuación definidas está relacionada el entorno de la amenaza UAS, la cual supone un Problema Militar Operativo (PMO) dada la falta de capacidades técnicas para hacerle frente. La *figura 2* muestra cómo se resuelve un PMO siguiendo una serie de procedimientos establecidos. Primeramente, detectado el problema, se comienza el ciclo de planeamiento llevado a cabo por Defensa mediante El Objetivo de Fuerza a Largo Plazo (OFLP) y El Objetivo de Capacidades de la Fuerza (OCM). Dicho ciclo se centra en analizar las capacidades militares disponibles y analizar como varían tanto sus sistemas como sus funcionalidades agregando diversas tecnologías.

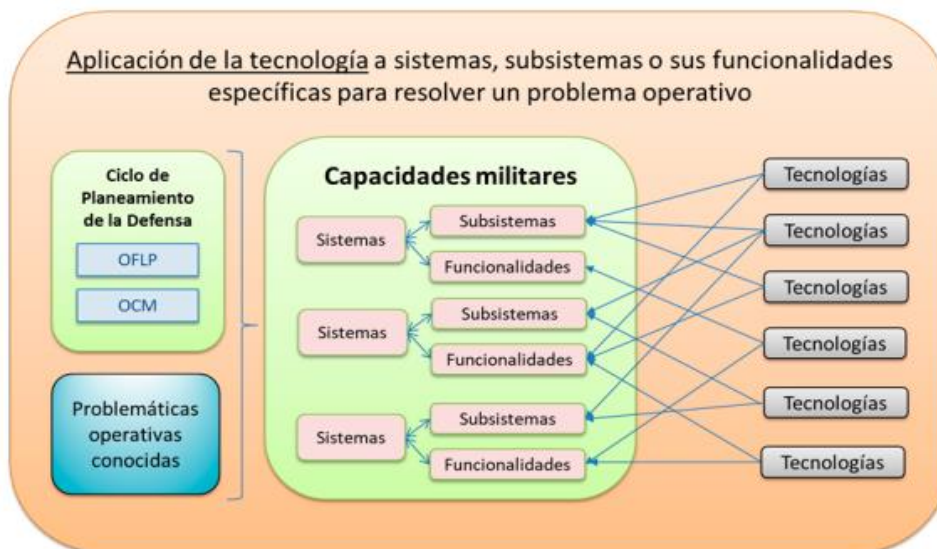


Figura 2. Procedimiento para resolver Problemas Militares Operativos (PMO) previamente identificados. Fuente: Elaboración propia.

En la actualidad, el Ejército de Tierra ha adquirido Sistemas C-UAS y, además, se encuentra en fase de experimentación con el Sistema de Armas 35/90 SKYDOR, siendo éstos los sistemas más idóneos para enfrentarse a la amenaza UAS y poder así solucionar este PMO. Por ello, este capítulo se centrará en evaluar tanto el Sistema 35/90 SKYDOR como los sistemas C-UAS, mostrando cuáles son sus fortalezas y debilidades a la hora de enfrentarse a la amenaza y observando si son realmente eficaces contra la



misma.

4.1. ESTADO DEL ARTE

4.1.1. Sistema 35/90 SKYDOR

El sistema de armas SKYDOR-35/90 contra aeronaves a baja o muy baja altura se compone de cañones antiaéreos de 35 mm y de una dirección de tiro SKYDOR con vigilancia radar y/o sistema óptico de asignación de blancos.

El cañón antiaéreo 35/90 se caracteriza por ser bitubo, tal y como se puede apreciar en la *Figura 3*, es fabricado por la empresa suiza Oerlikon Contraves, que pasó a denominarse Rheinmetall Air Defence AG tras la fusión con Rheinmetall en 2009. Se trata de un montaje bitubo con un calibre para cada uno de ellos de 35 mm. Tiene una cadencia de disparo por tubo teórica de 550 disparos por minutos, aunque en la realidad ésta es bastante menor, y una velocidad de salida en boca de 1,175 m/s. Su alcance máximo efectivo sería de 4.000 m en vertical mientras que su alcance máximo horizontal ascendería a 11.200 m. Su peso sería de 7.000 kg sin munición y de 8.000 kg con munición. La longitud del tubo es de 7,8 m y la vida útil del mismo rondaría los 5.000 disparos. El peso de su carga explosiva es de 120 hexal aproximadamente. En cuanto a sus capacidades, destacamos su movilidad y despliegue en terreno variado, así como su capacidad de defensa contra ataques aéreos a baja y muy baja cota, pudiendo emplear munición AHEAD. Para su empleo se necesitan 4 operarios.



Figura 3. Cañón Antiaéreo 35/90 del GAAA I/71. Fuente: Elaboración propia.

La dirección de tiro SKYDOR, representada en la *Figura 4*, está formada por un puesto de mando (se ve al fondo de la figura) y una unidad de sensores (se ve en la parte delantera de la figura). El puesto de mando y la unidad de sensores son transportados de forma independiente mediante camiones distintos.

El puesto de mando tiene una longitud de 2,991 m y una anchura de 2,438 m. Una altura de 2,2 m y un peso total de 2700 kg. Incorpora un grupo electrógeno con un motor diésel de 2 cilindros y una potencia de 1,2 KVa.

La unidad de sensores tiene una longitud de 3 m y una anchura de 2,44 m. Una altura de 3 m y un peso total de 3200 kg. Incorpora un grupo electrógeno con un motor diésel de 1,2 l y una potencia de 21 KVa.



Figura 4. DT Skydor GAAA I/71. Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Sistemas C-UAS en el ejército de tierra

Ante la presencia actual de esta amenaza UAS en los diferentes Teatros de Operaciones en los que las FAS españolas se encuentran desplegadas, ha sido necesario dotar a nuestras fuerzas de una cierta capacidad frente a esta amenaza emergente hasta que finalicen las acciones previstas en el Programa Cóndor. De esta manera, a través de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), se han adquirido los siguientes sistemas C-UAS, actualmente desplegados en diferentes zonas de operaciones (De Pedro Garcimartín, 2019):

- Sistema fijo 'AUDS'.
- Sistema portátil 'Drone Defender'.
- Sistema portátil 'Aeroscope'.
- Sistema portátil 'Sendes'.

Se puede afirmar que no existe una única solución tecnológica C-UAS que sea eficaz contra todo el espectro de la amenaza, sino que se debe considerar qué tipo de sistema es más adecuado para cada escenario de empleo de las FAS, cada entorno concreto y la situación general del objetivo a defender.

Los sistemas C-UAS deben reunir una serie de requisitos específicos:

Ser modulares, escalables y actualizables rápidamente para poder adaptarse a la evolución de la amenaza.

- Permitir la integración de diferentes tipos de sensores para la detección, identificación, adquisición y de elección del sistema de armas para su neutralización.
- Deben basarse en la cooperación de tecnologías complementarias (radar, óptica, energía dirigida, etcétera).
- Poseer una fácil movilidad y requerimientos mínimos para su puesta en funcionamiento tras un cambio de ubicación. (Joint Air Power Competence Centre, 2019).

Los sistemas C-UAS deben tener un alto grado de disponibilidad operativa, que les permita su funcionamiento en ciclos de 24 horas los 7 días de la semana, lo que requiere una elevada fiabilidad y un mantenimiento programado que se pueda acometer con sencillez y rapidez. A continuación, en la *Tabla 7*, comparamos los 2 tipos de sistemas C-UAS existentes. Siendo en definitiva los sistemas fijos útiles para una defensa eficaz de un punto fijo de elevadas dimensiones como podría ser un acuartelamiento y los sistemas móviles para dar protección inmediata a unidades móviles como podría ser un convoy.



SISTEMAS FIJOS	SISTEMAS PORTÁTILES
<ul style="list-style-type: none"> • Protección de objetivos fijos de forma permanente. • Necesidad de personal cualificado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Protección temporal de objetivos fijos o móviles. • No requiere de personal técnicamente cualificado, pudiendo ser empleados por personal con responsabilidades de protección de fuerza.

Tabla 7. Comparación de los Sistemas Fijos vs Sistemas Portátiles. Fuente: Elaboración propia.

Los sistemas comparados en la tabla anterior son descritos en el *Anexo 4*.

4.2. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ARMAS 35/90 SKYDOR

Para la evaluación de este sistema de armas, se llevaron a cabo distintos análisis. En primer lugar, se realizó un análisis DAFO referente a las características del sistema para combatir la amenaza UAS LSS. En segundo lugar, y a la luz de los resultados y conclusiones obtenidas tras el primer análisis, se elaboró una encuesta que respondió parte del personal perteneciente al RAAA 71.

Para la realización de este análisis DAFO se ha utilizado la información recogida durante un ejercicio de tiro de artillería antiaérea en Gran Canaria. El pasado mes de mayo del presente año 2021, el Regimiento de Artillería Antiaérea n 94 realizó una instrucción frente a amenazas UAS LSS en el campo de tiro “La Isleta”, localizado en Las Palmas de Gran Canaria. En dicho ejercicio, se desplegaron tres secciones del Sistema de armas 35/90, a modo de Red de Vigilancia Aérea Local, y su correspondiente Puesto de Mando, configurándose como una Unidad de Defensa Antiaérea que fue denominada “Tucán”. El grupo de Artillería Antiaérea I/94 desplegó dos aviones simulando ser sistemas UAS LSS, con un peso inferior a 150 kilos. Una de las finalidades de esta práctica era la detección, a través de distintos sensores tanto ópticos como de carácter radar, de las aeronaves para que posteriormente pudieran ser neutralizadas por medio de los cañones Oerlikon bitubo de 35 milímetros, descritos al inicio de este capítulo.

Al final del ejercicio, el regimiento en cuestión concluyó, entre otras cuestiones, que era posible combatir la amenaza con este tipo de sistema de armas dada su dirección de tiro y la gran cadencia de fuego con munición AHEAD de última generación.

La información recogida de este ejercicio fue contrastada y debatida con el personal, que trabaja día a día con este sistema, perteneciente a las diferentes baterías de armas encuadradas en el Regimiento de Artillería Antiaérea n 71. Por lo tanto, se pudo analizar toda la información recogida y generar así el siguiente análisis DAFO.



	Situación Interna	Situación Externa
-	<p style="text-align: center;">DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gasto económico elevado para la neutralización de este tipo de aeronaves, teniendo en cuenta su precio de mercado. • Potencia de fuego demasiado elevada para combatir la amenaza. • Dificultad a la hora de la adquisición de objetivos, cuando estos son varios y maniobran con rapidez. • Poca velocidad de reacción frente a la amenaza. • Necesidad de adaptar la munición para cada tipo de aeronave específica. 	<p style="text-align: center;">AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acción conjunta, enjambre, en un ataque UAS. • Sofisticación software de las aeronaves LSS. • Dimensiones cada vez más pequeñas de la amenaza UAS LSS, y por lo tanto más dificultades a la hora de su detección. • Nuevas capacidades tácticas y modos de operar por parte la amenaza.
+	<p style="text-align: center;">FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema apto para la defensa inmediata de un punto fijo, como podría ser una base militar. • Gran cadencia de fuego. • Dirección de tiro apta para la detección y adquisición de este tipo de objetivos. • Elevada instrucción por parte del personal que maneja el sistema. 	<p style="text-align: center;">OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de implementar en el propio sistema, otro tipo de sistemas más innovadores como podrían ser aquellos basados en energía dirigida. • Capacidad de emplear distinto tipo de municiones más novedosas.

Tabla 8. Análisis DAFO del Sistema de Armas 35/90 frente a la amenaza UAS LSS. Fuente: Elaboración

Tras la realización de dicho estudio, se puede obtener una idea general de la situación del sistema 35/90 frente a la amenaza UAS LSS, observando cuáles son sus defectos y virtudes. Con dicho análisis se cumple otro de los objetivos marcados al comienzo de la memoria, siendo este el evaluar alguno de los medios que dispone el Ejército de tierra para hacer frente a esta amenaza.



De este análisis se pueden extraer varias conclusiones:

1. Sistema apto para combatir la amenaza UAS dadas sus prestaciones y dirección de tiro capaz de adquirir este tipo de objetivos. Pero a su vez mejorables mediante la implementación de nuevas tecnologías.
2. Sistema eficaz para la defensa inmediata de un punto fijo dadas sus características técnicas e instrucción del personal.
3. Sistema con limitaciones a la hora de neutralizar ciertas acciones conjuntas generadas por los UAS LSS, como la acción enjambre. Ya que habría que dotarle de tecnología capaz de asignar y neutralizar con rapidez los objetivos
4. Sistema capaz de integrar otro tipo de tecnologías y con gran capacidad de desarrollo y evolución, dada su dirección de tiro y capacidad de integrar distintas municiones.

Es por ello que el Sistema de Armas 35/90 Skydor se presenta como un sistema apto para combatir la amenaza UAS LSS, aunque con ciertas limitaciones como la velocidad de adquisición y neutralización de objetivos o el coste de cada acción de fuego, y la posibilidad de solucionarlas con la integración de nuevas tecnologías en el sistema para obtener las máximas garantías de éxito.

Tras procesar la información obtenida del análisis anterior, se ha procedido a realizar una encuesta elaborada a raíz de las conclusiones anteriores. Esta encuesta fue realizada durante el mes de septiembre del 2021 al personal del RAAA 71 descrito debajo, con el objetivo de finalizar la evaluación de este Sistema de Armas.

Dicha unidad se encuentra realizando pruebas con el sistema de Armas 35/90 Skydor para combatir la amenaza UAS LSS, estudiando la eficacia de la misma en múltiples escenarios y misiones llevadas a cabo para combatir la amenaza UAS insurgente. En primer lugar, debemos destacar que este regimiento es uno de los referentes dentro del Ejército de Tierra en el campo UAS, como bien se detalla en la introducción de la memoria. Y, en segundo lugar, debemos destacar que como el personal encuadrado en las baterías de armas del regimiento trabaja día a día con este sistema y conocen a la perfección sus capacidades reales.

La encuesta consta de 7 preguntas de respuesta sencilla, que se muestran en el Anexo 5 y han sido elaboradas a partir de la información recopilada anteriormente. La encuesta valora el grado de satisfacción del personal implicado respecto a los sistemas de armas empleados para combatir la amenaza UAS LSS. Se muestra un resumen gráfico de los resultados de la encuesta en la *Tabla 9*.

La muestra de la encuesta estuvo compuesta de un total de 15 personas, divididas en dos grupos. El primer grupo estuvo compuesto por cinco expertos (tres capitanes y dos brigadas) en el sistema 35/90, que se emplea para combatir la amenaza UAS LSS. La mayoría de ellos participó en las pruebas realizadas en el Regimiento mencionado anteriormente. El segundo grupo estuvo compuesto por diez operarios del sistema 35/90.

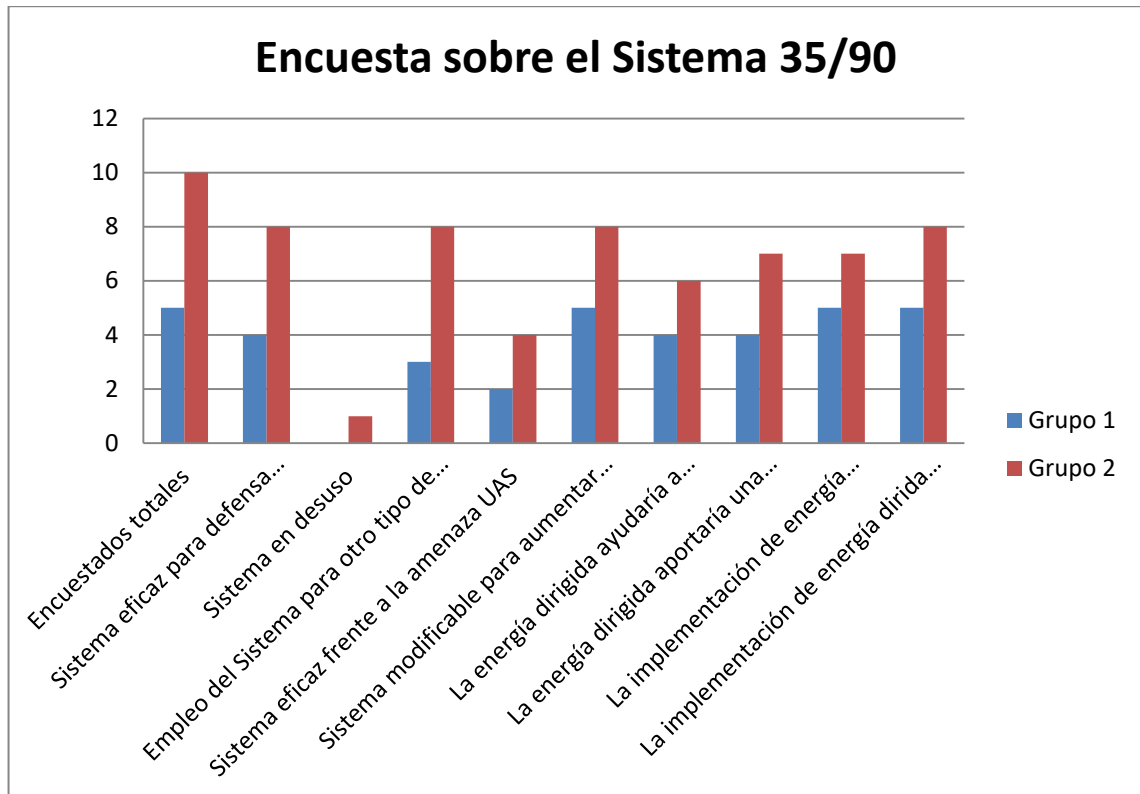


Tabla 9. Resultados de la encuesta sobre el grado de satisfacción del Sistema 35/90 Skydor frente a la amenaza UAS. Fuente: elaboración propia.

La encuesta ha sido estructurada en tres bloques distintos entre sí:

El primer bloque consta de tres preguntas que tratan el estado actual del sistema, así como de sus capacidades. El 80% de los encuestados considera eficaz el sistema para la defensa inmediata de un punto fijo, un 93% lo considera un sistema operativo actualmente y un 73% cree que este sistema podría emplearse también para otros cometidos distintos a los actuales.

El segundo bloque consta de tres preguntas, que buscan la valoración de los encuestados sobre la eficacia del sistema frente a la amenaza UAS LSS. Un 40% de los encuestados considera eficaz el sistema contra la amenaza UAS LSS, un 87% considera factible la modificación del sistema para combatir la amenaza UAS LSS y un 67% piensa que la implementación de tecnología basada en energía dirigida contribuiría positivamente a combatir este tipo de amenaza.

El tercer bloque consta de tres preguntas, que valoran la opción de la implementación en el sistema de nuevas tecnologías, basadas en la energía dirigida. Un 73% de los encuestados creen que la implementación de energía dirigida mejoraría la versatilidad del sistema, un 80% cree que la implementación de energía dirigida sería económicamente positiva para combatir la amenaza UAS LSS y un 87% considera que la implementación de esta tecnología ayudaría a combatir la amenaza múltiple UAS LSS, conocida como enjambre.



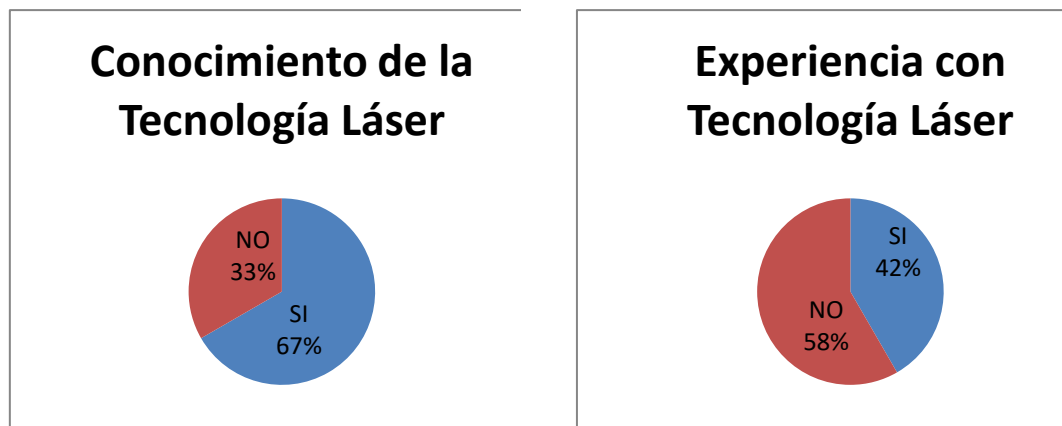
Por lo tanto, los resultados arrojan una clara preferencia del personal encuestado sobre los siguientes puntos a cerca del Sistema de Armas 35/90 SKYDOR:

- Sistema eficaz para la defensa inmediata.
- Sistema con grandes oportunidades para combatir la amenaza UAS LSS.
- Sistema con grandes capacidades de adaptación frente a la amenaza UAS LSS.
- Implementación positiva en el sistema de tecnologías basadas en la energía dirigida.

Una vez extraídas las conclusiones anteriores, nos centraremos en evaluar la implantación de tecnología basada en energía dirigida en el sistema 35/90 SKYDOR. Para ello, se procederá a una segunda encuesta al personal que, en la pregunta al respecto de la anterior encuesta, respondió afirmativamente y opina que sería positiva la implementación de este tipo de energía. Dicha encuesta se encuentra detallada en el *Anexo 6*.

En este caso, el tamaño de la muestra ha sido de 12 personas entre los dos grupos encuestados. La encuesta constaría de un total de 5 preguntas estructuradas en 3 bloques:

- Un primer bloque de 2 preguntas en las cuales se busca conocer el grado de conocimiento sobre la tecnología láser por parte del personal encuestado. A continuación, se muestran unos gráficos a modo de resumen de los resultados de este bloque.

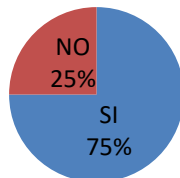


En el gráfico de la izquierda se puede observar como el 67% de los encuestados conoce de forma general las capacidades de la tecnología láser. Mientras que el gráfico de la derecha muestra como solo el 42% ha trabajado anteriormente con sistemas de armas que dispongan de este tipo de tecnología.

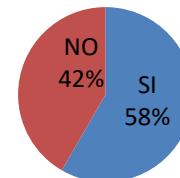
- Un segundo bloque de 2 preguntas en las cuales se busca conocer la opinión de los encuestados sobre la capacidad de esta tecnología para combatir la amenaza UAS LSS. A continuación, se muestran unos gráficos a modo de resumen de los resultados de este bloque.



Tecnología Láser para la neutralización de objetivos



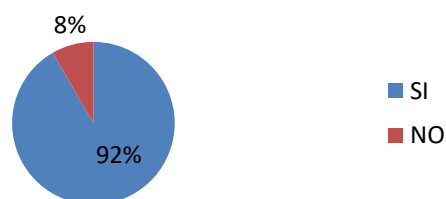
Tecnología Láser frente municiones convencionales



En el gráfico de la izquierda se observa como el 75% de los encuestados cree que también se puede utilizar la tecnología láser para la neutralización de este tipo de aeronaves aparte de para la adquisición de objetivos. Mientras que el gráfico de la derecha muestra como el 58% cree que este tipo de tecnología sería más eficaz que el empleo de municiones convencionales.

- Un tercer bloque compuesto de una única pregunta la cual busca conocer la opinión de los encuestados sobre el futuro de esta tecnología. A continuación, se muestran un gráfico a modo de resumen de este bloque.

Futuro de la Tecnología Láser en el Sistema 35/90



Como se puede observar en el gráfico, el 92% de los encuestados opina que se debería desarrollar más este campo y experimentar con la implantación de la tecnología láser en el Sistema de Armas 35/90.

La encuesta arroja un amplio grado de aceptación por parte del personal, de la conveniencia de implementar la tecnología láser en el Sistema de Armas 35/90 SKYDOR. Aunque no se haya trabajado mucho con este sistema, conocedores de sus capacidades opinan que sería positiva su introducción para combatir la amenaza UAS LSS y consideran necesario un mayor desarrollo en dicho campo para adaptarse a las exigentes demandas que requiere este tipo de amenaza.



5. ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA LÁSER EN SISTEMAS DE ARMAS

5.1. ESTADO DEL ARTE

La creciente evolución tecnológica y de los materiales armamentísticos vivida en la última década, acompañada de la miniaturización de los componentes tecnológicos, ha facilitado el desarrollo de proyectos I+D+i en el ámbito militar. Entre los cuales destacamos el desarrollo de los sistemas de armas que emplean el láser cuyos efectos estarían destinados a combatir todo el espectro de la amenaza aérea en sus múltiples modalidades: aeronaves pilotadas de ala fija y rotatoria, misiles, municiones Rocket, Artillery and Mortar (RAM), al igual que en sistemas de aeronaves no tripulados (UAS), (De Pedro Garcimartín, 2020).

5.1.1. Características de la Tecnología Láser

Los sistemas láser se diferencian del resto de fuentes luminosas, naturales o artificiales, debido al mecanismo de emisión estimulada, el cual los dota de una serie de características específicas. Entre ellas podemos destacar las siguientes, (LASIT, 2018) :

- **Monocromaticidad:** Se trata de la existencia de una sola frecuencia de oscilación, a diferencia de la luz natural que abarca un determinado rango de longitudes de onda definidas en el espectro electromagnético entre el ultravioleta y el infrarrojo.
- **Coherencia Espacial y Temporal:** Una onda es completamente coherente en el espacio si en un instante de tiempo tiene la misma fase en todos los puntos del frente de onda. En cambio, una onda es completamente coherente en el tiempo si, al comparar la fase del frente de onda en un tiempo y la fase después de un intervalo de tiempo, la diferencia de fases es constante.

Ambos conceptos se encuentran íntimamente ligados. Sin embargo, la coherencia temporal va a venir dada en función del comportamiento del medio activo y la coherencia espacial viene determinada por las dimensiones y forma de la cavidad resonante. Esta doble coherencia define las características del haz de un láser, ya que minimiza las pérdidas por difracción⁵ y de este modo hace que la luz sea direccional e intensa. Estas dos últimas propiedades se definen de la siguiente forma:

- **Direccionalidad:** Al encontrarse el medio activo dentro de una cavidad compuesta por dos espejos reflectores, se estará favoreciendo una determinada propagación de los fotones cuyas oscilaciones producidas en una frecuencia determinada serán las que sufran más ganancias que pérdidas. Al producirse ganancias solo en la dirección que se ha favorecido, el haz de salida será muy direccional.

⁵ Se atribuye a los fenómenos que ocurren cuando una onda se encuentra con un obstáculo o una rendija. Está definida como la desviación de ondas alrededor de las esquinas de un obstáculo o a través de la abertura en la región de una sombra geométrica.



- Intensidad: La energía por unidad de superficie del haz láser es muy elevada, mucho mayor que la de la luz normal, debido a la sinergia producida por las características anteriores de coherencia, direccionalidad, las cuales provocan muy poca difracción y una gran concentración de la energía disponible.

En la *Figura 5*, se compara de modo esquemático un rayo láser con un rayo de luz corriente.

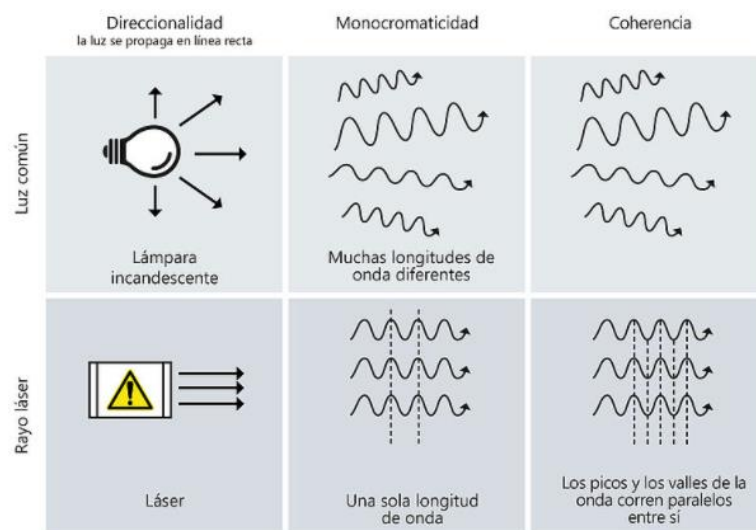


Figura 5. Características del Láser en comparación con la Luz común. Elaboración propia.

5.1.2. Capacidades de la Tecnología Láser

El horizonte a medio y largo plazo en los sistemas antiaéreos, parece estar enfocado en el desarrollo de diferentes tipos de energía dirigida, como es el caso del láser (Rachel, 2019).

Dichos desarrollos representarán un concepto revolucionario para la guerra, principalmente porque están diseñados para incapacitar equipos en lugar de causar bajas enemigas, la cual se vislumbra como la principal línea a seguir en los futuros enfrentamientos antiaéreos.

Este nuevo enfoque es en parte provocado por la aparición de los UAS y es por ello que los desarrollos de sistemas de cañón acompañados de sistemas de energía dirigida, como el láser, podrían volver al frente de la defensa antiaérea, pues resultan tanto eficaces como rentables para batir estos sistemas de pequeñas dimensiones (Priego, 2020).

Entre las capacidades que actualmente los sistemas láser nos ofrecen, encontramos:

- Modificar su potencia de emisión de forma rápida para así poder conseguir unos objetivos específicos distintos, desde la detección y cegamiento de aeronaves, hasta la destrucción de las mismas.
- La rapidez de reacción de estos sistemas y su puntería, lo cual hace que estos sistemas sean fundamentales contra amenazas múltiples que saturan la defensa



aérea, como es el caso de la nueva amenaza denominada enjambre, conjunto de varios UAS LSS que actúan de forma conjunta (Air Force Research Laboratory (AFRL), 2016).

- Elevada precisión frente a cualquier tipo de amenaza. Dadas las características del láser, este es muy efectivo frente a blancos de reducida RCS como es el caso de los UAS LSS.
- Los sistemas de armas láser resultan más económicos que cualquier otro sistema de armas convencional de defensa antiaérea y por consiguiente la reducción de la carga logística que supone el almacenar, mantener y transportar los misiles antiaéreos.

5.2. EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA LÁSER FRENTE A LA AMENAZA UAS

El desarrollo tecnológico alcanzado está propiciando un proceso de transición en el campo de batalla como la aparición de nuevos prototipos dotados de tecnología láser sumamente prometedores, que muestran una amplia gama de posibilidades, tanto defensivas como ofensivas. Es por ello que este tipo de sistemas de energía dirigida ofrece un gran potencial a la hora de la defensa aérea, gracias en gran medida a los desarrollos realizados por países referentes en el sector, como es el caso de EEUU y China.

La naturaleza de este tipo de sistemas los convierte en especialmente resolutivos dentro del ámbito de la defensa aérea ya que presentan diversas ventajas a la hora de batir objetivos móviles y de tamaño reducido, como sería el caso de los UAS-LSS, a una ratio coste-beneficio muy reducida, al igual que su elevado grado de precisión respecto a los tradicionales sistemas de armas cinéticos, como bien se ha dejado patente en el punto anterior donde se detallan sus características y los beneficios que aportan.

Por ello, para proceder a su evaluación, se realizará primeramente un análisis comparativo en el cual se enfrentarán las capacidades que presentan los sistemas tradicionales con las capacidades correspondientes a la tecnología láser. De dicho análisis se obtendrán unas conclusiones que serán utilizadas para comprender, de una manera más amplia, la necesidad de implementar la tecnología láser en nuestros sistemas convencionales.

A la luz de los resultados obtenidos en el estudio anterior, se evaluará la viabilidad de implementar la tecnología láser en el sistema 35/90 SKYDOR, cuya idoneidad se describe en el capítulo 4.

5.2.1. Análisis Comparativo entre los Sistemas Láser y los Sistemas Tradicionales

Para la realización de dicho análisis se ha procedido a la realización de entrevistas personales dentro del RAAA 71. Destacamos la entrevista realizada, el 18 de noviembre de 2021, al Capitán D. Enrique Sánchez Gallego, experto en la amenaza UAS y procedimientos C-UAS, la cual se puede encontrar en el *Anexo 7*. En el transcurso de esta entrevista se trataron, como tema principal, los aspectos de mayor relevancia a la hora de comparar las capacidades de los sistemas convencionales disponibles hoy en día para combatir la amenaza UAS con aquellas hipotéticas capacidades que presentaría el uso de la tecnología láser en sistemas de armas destinados a tal fin.



De la reunión, se dedujeron los criterios de comparación expuestos en la siguiente tabla:

<u>Sistemas Láser vs Sistemas no Láser</u>
COSTES
LETALIDAD
PRECISIÓN
LOGÍSTICA
CONTRAMEDIDAS
CONDICIONANTES ATMOSFÉRICOS

Tabla 10. Factores comparativos entre sistemas tradicionales y sistemas láser. Fuente: elaboración propia

Una vez obtenidos los criterios de comparación anteriores, considerados críticos a la hora de neutralizar la amenaza UAS, se procedió a confrontar las capacidades y limitaciones de los sistemas de armas cinéticos convencionales con las propias de la tecnología láser a la hora de hacer frente a la amenaza aérea contemplada en esta memoria.

COSTES	
<p>El coste por disparo constituye un elemento fundamental de valoración a la hora de neutralizar una amenaza. Para que resulte rentable un empeño sobre un determinado objetivo, el valor económico del mismo debe de ser mayor que el valor económico de la munición empleada en la acción.</p>	
SISTEMAS TRADICIONALES	SISTEMAS LÁSER
<ul style="list-style-type: none"> • Fabricación compleja de los sistemas de armas y por lo tanto mayor coste asociado. • Precio condicionado por la munición que se desee emplear y por el tipo de sistema utilizado. Detallado en el <i>Anexo 8</i>. • Elevado mantenimiento y conservación. • Alto coste de munición. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricación sencilla de los sistemas de armas y por lo tanto bajo coste asociado. • Precio condicionado por la amplificación de luz que se desee alcanzar. • Escaso mantenimiento. • Bajo coste de generación del haz de luz.



Conclusiones:

1. Los Sistemas Láser presentan un bajo coste por disparo, determinado por el coste de la generación de energía. Mientras que los sistemas tradicionales presentan un alto coste por disparo, determinado por el coste de la munición.
2. El coste de drones de tipo LSS no es elevado por lo que se evidencia la ineficiencia en términos económicos de los sistemas tradicionales, exceptuando el sistema 35/90, como se muestra en el *Anexo 1*.
3. El bajo coste por disparo de los Sistemas Láser permitiría una capacidad prácticamente ilimitada de disparo y de forma continuada en el tiempo (en ambos casos se debe extender que la cantidad de energía disponible en las baterías eléctricas que alimentan al láser puede ser grande pero siempre finita) pues no se requeriría munición material para efectuar el empeño.

LETALIDAD	
Se basa en la consecución de una serie de efectos deseados en el objetivo, siempre encaminados a su neutralización.	
SISTEMAS TRADICIONALES	SISTEMAS LÁSER
<ul style="list-style-type: none"> • Efectos concretos según el sistema de armas empleado. • Mayor tiempo de espera a la hora de realizar la acción de fuego. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de graduación de los efectos durante la utilización de un mismo sistema de armas. • Realización de la acción de fuego de forma instantánea.

Conclusiones:

1. Los Sistemas Tradicionales destruyen el objetivo mediante impacto directo sin posibilidad de modificar los efectos a conseguir. Mientras que los Sistemas Láser pueden regular el haz de energía emitido para poder así graduar los efectos a conseguir.
2. Los Sistemas Tradicionales deben calcular la trayectoria para identificar el punto de impacto, lo que conlleva más tiempo y provoca que la aeronave enemiga pueda reaccionar frente a la amenaza modificando su trayectoria. Mientras que, como el haz se propaga a la velocidad de la luz, los Sistemas Láser incidirían de forma instantánea dejando a las aeronaves enemigas sin tiempo para reaccionar.



PRECISIÓN	
Factor fundamental inherente a todo tipo de Sistema de Armas a la hora de combatir cualquier amenaza.	
SISTEMAS TRADICIONALES	SISTEMAS LÁSER
<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de predicción de la trayectoria del objetivo para producir un impacto efectivo. Posible aparición de errores y por ende disminuye la probabilidad de derribo. • Ineficiencia para batir objetivos múltiples, como la amenaza enjambre. Alta probabilidad de saturación de la defensa. A excepción del Sistema de armas 35/90. • Ausencia de necesidad de establecer una línea de visión directa con el objetivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de necesidad de predicción de la trayectoria del objetivo, se establece puntería directa. Efecto inmediato sobre el objetivo, lo que aumenta la probabilidad de derribo. • Gran potencial para neutralizar objetivos múltiples, gracias a su alta capacidad de reacción y de fuego selectivo. • Necesidad de establecer una línea de visión directa con el objetivo.

Conclusiones:

1. Los Sistemas Tradicionales emplean demasiado tiempo a la hora de adquisición de objetivos, los cuales se caracterizan por una elevada velocidad de maniobra. Mientras que los Sistemas Láser emiten la energía a la velocidad de la luz y se eliminan los contratiempos asociados con el apuntado del arma y la predicción de la trayectoria, pudiendo así reaccionar frente objetivos de gran movilidad de forma instantánea.
2. La actuación de los Sistemas Tradicionales va enfocada a la neutralización de los objetivos de forma grosera, aumentando de este modo los posibles daños colaterales. Mientras que la capacidad de fuego selectivo inherente a los Sistemas Láser permite que el haz pueda ser direccionado para incidir sobre un punto concreto del objetivo, minimizando así los daños colaterales.
3. Los Sistemas Tradicionales presentan serias dificultades a la hora de enfrentarse a objetivos múltiples dada su escasa velocidad de reacción. Mientras que, dado el elevado grado de precisión que presentan los Sistemas Láser, pueden discernir entre múltiples objetivos, evitando así la posible saturación del sistema o un posible fratricidio entre dos aeronaves.



LOGÍSTICA	
Factor determinante a la hora de buscar la rapidez necesaria para combatir este tipo de amenaza con un grado de maniobrabilidad tan elevado.	
SISTEMAS TRADICIONALES	SISTEMAS LÁSER
<ul style="list-style-type: none"> • Elevada huella logística. • Necesidad de gestión de residuos. • Necesidad de transportar la munición. 	<ul style="list-style-type: none"> • Huella logística prácticamente nula. • No producen residuos. • No hay munición material para transportar. Aunque se requieren grandes baterías eléctricas para acumular la energía necesaria.

Conclusiones:

1. Los Sistemas Tradicionales llevan consigo una elevada carga logística, munición, material adicional...Por lo que necesitan a su vez un mayor espacio y un mayor número de personal que se encargue de su gestión. Mientras que los Sistemas Láser reducirían su carga logística, con los beneficios que esto aporta.

CONTRAMEDIDAS	
SISTEMAS TRADICIONALES	SISTEMAS LÁSER
<ul style="list-style-type: none"> • Vulnerabilidad ante perturbaciones electromagnéticas sobre los sistemas tanto de adquisición como de detección. • Alto grado de maniobrabilidad por parte de la aeronave enemiga para derrotar cinemáticamente al proyectil. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vulnerabilidad ante perturbaciones electromagnéticas sobre los sistemas tanto de adquisición como de detección. • Blindajes de las aeronaves enemigas más robustos, al igual que superficies espejo que reflejen el haz. • Utilización de humo a modo de ocultación y cancelar así la visión directa.

Conclusiones:

1. Ambos Sistemas comparten su vulnerabilidad frente a las perturbaciones electromagnéticas.
2. Los Sistemas Láser se encuentran más comprometidos frente a contramedidas ya que si se cancela la línea de visión directa con el objetivo, el sistema queda inoperativo. Mientras que los Sistemas tradicionales solo tendrían el inconveniente de verse superados cinemáticamente por las maniobras de las aeronaves enemigas.



CONDICIONANTES ATMOSFÉRICOS	
Ningún sistema de armas hasta la fecha está exento a la influencia de los factores atmosféricos, por lo que éstos constituyen un elemento clave que cualquier sistema de defensa tiene que tener en cuenta a la hora de efectuar el tiro.	
SISTEMAS TRADICIONALES	SISTEMAS LÁSER
<ul style="list-style-type: none"> • Variables según la fuerza gravitatoria y los efectos aerodinámicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Variables según la cantidad de partículas en suspensión en el aire que provocan la atenuación y dispersión del haz.

Conclusiones:

1. Los Sistemas Tradicionales deben tener en cuenta los condicionantes atmosféricos a la hora de calcular las trayectorias de tiro para evitar en la medida de lo posible su influencia sobre las municiones. Mientras que los Sistemas Láser deben tener en cuenta aquellas partículas en suspensión tales como las que forman las nubes o la niebla que impiden la visión directa con el objetivo.
2. Se hace patente por tanto que ambos sistemas se enfrentan a problemas que limitan su operatividad. Por ello una defensa aérea basada en la combinación de ambos sistemas compensaría las deficiencias individuales que presentan.

En síntesis, dicho análisis comparativo pone de manifiesto el potencial de los sistemas dotados con tecnología láser para introducir una mejora sustancial en prácticamente todos los factores estudiados para afrontar la defensa aérea frente a la amenaza UAS, con respecto a los tradicionales sistemas de cañones. Por lo tanto, los sistemas dotados con tecnología láser se convertirían en una potente herramienta con la cual completar las capacidades antiaéreas existentes en la actualidad.

5.3. ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA LÁSER EN EL SISTEMA 35/90 SKYDOR

Una vez realizado el análisis de confrontación entre los Sistemas Tradicionales y los Sistemas Láser y ver los beneficios que aportan estos últimos, comenzamos con el estudio de la implementación de la tecnología láser en el Sistema 35/90 SKYDOR. Para ello, aprovechando la estancia en la unidad de referencia del Ejército español en esta área, el RAAA 71, se procedió a la realización de una serie de entrevistas a personal cualificado sobre dicha implementación. Este personal ha estado involucrado en ejercicios en los cuales se ha testado la susodicha implementación, por lo que la información recogida en estas entrevistas será de vital importancia a la hora de conocer realmente si la hipótesis es factible.

Las reuniones, detalladas en el *Anexo 9*, tuvieron lugar durante los días 27 y 28 de noviembre de 2021. En ellas fueron entrevistados tanto el Capitán D. Alejandro Campoy Fernández como el Capitán D. Javier Alaez Pérez, expertos en este campo y participantes de los dos tiros experimentales llevados a cabo en el Campo de Maniobras y Tiro “CMT Médano del Loro” en la localidad de Huelva. Por lo que a través de las mismas se procedió a la extracción de lecciones aprendidas.



El primer ejercicio fue ejecutado en marzo de 2021. Su objetivo prioritario radicó en el empleo de las técnicas de detección, seguimiento y neutralización utilizando las técnicas de “Hard Kill” (Jamming de la señal de GPS y Radiofrecuencia) y de “Soft Kill” (Impacto Directo). Para su realización se utilizaron los medios C-UAS detallados en el apartado 4 de esta memoria, y los siguientes sistemas de armas: ametralladora pesada de 12,70 mm; ametralladora ligera de 7,62 mm y el Sistema 35/90 SKYDOR.

La conclusión principal obtenida a través de la experiencia de los encuestados sobre este primer ejercicio fue la notable eficacia de ciertos sistemas C-UAS y la necesidad de implementar una nueva tecnología en los sistemas de armas convencionales, ya que estos son capaces de realizar la detección y seguimiento del UAS, pero por el contrario incapaz de realizar su neutralización por medio de la concentración de sus fuegos.

El segundo ejercicio fue ejecutado en noviembre de 2021, con el mismo objetivo. Con la diferencia de que en este caso fueron invitadas al mismo diversas empresas civiles como Escribano Mechanical and Engineering (EM&E). Dichas empresas tuvieron la oportunidad de mostrar y probar algunos de sus prototipos basados en energía dirigida.

Durante el desarrollo del segundo ejercicio se llegó a la conclusión, a través de las manifestaciones de los participantes in situ, de la gran versatilidad de ciertos sistemas C-UAS y afianzar su notable eficacia, así como la necesidad de implementar las capacidades láser en los sistemas convencionales de armas para aumentar su grado de eficiencia. De la entrevista también se obtuvo información acerca de cómo la empresa Rheinmetall, fabricante de los cañones 35/90 y de su software de integración en la dirección de tiro SKYDOR, había sido capaz de desarrollar un cañón láser de 50 KW de potencia en el año 2012, integrando dicho cañón con la unidad de control de fuegos Oerlikon Skyguard, sistema de armas antecesor al Sistema SKYDOR.

Tras la elaboración del análisis de la información recopilada durante las entrevistas a los expertos, se han podido extraer las siguientes conclusiones:

- Necesidad de renovación de los Sistemas tradicionales para mejorar su eficacia contra la amenaza UAS.
- Los Sistemas C-UAS en su mayoría son eficaces, pero necesitan el acompañamiento de una potencia de fuego que complete y mejore sus capacidades.
- La creciente colaboración con empresas civiles centradas en el desarrollo de innovadores sistemas basados en energía dirigida, ha puesto de manifiesto la importancia de dicha tecnología en el mercado.
- Eficacia de prototipos de sistemas basados en tecnología láser frente a la amenaza UAS.
- Viabilidad de la implementación de la tecnología láser en el Sistema 35/90 SKYDOR tras estudiar sus características y ver prototipos de implementación en sus sistemas predecesores.

5.3.1. Estudio de Mercado

Tras observar la posibilidad de la implementación de la tecnología láser en el Sistema 35/90 SKYDOR, de una forma técnica, se procede a estudiar la posibilidad de compra de este



sistema a empresas civiles. Para ello, primero se deben obtener los factores a tener en cuenta para cotejar con las diferentes empresas que ofertan dicho sistema.

Para la obtención de estos factores se realizó una entrevista conjunta, detallada en el *Anexo 10*, el día 28 de noviembre con el siguiente personal:

Capitán D. Javier Alaez Pérez.

Capitán D. Alejandro Campoy Fernández.

Capitán D. Enrique Sánchez Gallego.

Capitán D. Manuel Ojeda Bazaga.

En la cual tras un ejercicio de “brain storm” se llegó a la conclusión de 8 parámetros clave a tener en cuenta a la hora de elegir la empresa desarrolladora del sistema dotado con la tecnología láser, mostrados en la *tabla 11*.

PARÁMETROS
COSTE DE ADQUISICIÓN (A)
TIEMPO DE REPOSICIÓN DE REPUESTO (B)
CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN EN LOS SISTEMAS CONVENCIONALES (C)
TIEMPO EN SERVICIO (D)
ROBUSTEZ (E)
GARANTÍA (F)
TRATO PERSONAL (G)
INSTALACIONES (H)

Tabla 11. Parámetros a analizar previos a la compra. Fuente: elaboración propia

Una vez recopilados los parámetros considerados como más importantes tras la realización de la reunión, se procede a la selección específica dentro de los mismos. Para ello se realizó una encuesta el día 30 de noviembre al personal del RAAA 71 en la cual se presentaron los parámetros anteriores para que procediesen a su valoración.

La muestra de la encuesta estuvo formada por un total de 10 personas expertas en la materia y conocedoras de las características estudiadas anteriormente en esta memoria, entre las cuales se encuentran los propios capitanes que propusieron los parámetros. El objetivo de la misma es ponderar del 1 al 8 los diferentes parámetros expuestos para poder ordenarlos y comprobar cuáles serían los más importantes a tener en cuenta. La encuesta se encuentra detallada en el *Anexo 11*.



Parámetros	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5	E.6	E.7	E.8	E.9	E.10
A	8	7	7	6	5	8	7	6	8	7
B	4	5	8	5	4	6	4	5	4	5
C	7	8	6	7	8	7	6	7	7	8
D	6	6	4	8	6	5	5	4	5	4
E	5	4	5	4	7	4	8	8	6	6
F	2	3	1	3	2	1	2	1	3	3
G	3	1	2	2	1	2	3	3	1	2
H	1	2	3	1	3	3	1	2	2	1

Tabla 12. Ponderación de los parámetros. Fuente: elaboración propia

En la *Tabla 12* podemos observar los resultados obtenidos de la encuesta realizada según cada encuestado. La primera columna representa los parámetros y las columnas posteriores la ponderación de cada uno de los parámetros por parte de los 10 encuestados. A continuación, se mostrará el resumen de la misma.

PARÁMETRO	MEDIA ARITMÉTICA
A	6.9
B	4.5
C	7.1
D	5.3
E	5.7
F	2.1
G	2
H	1.9

Tabla 13. Media de los Parámetros. Fuente: elaboración propia

De dicho resumen, mostrado en la *Tabla 13*, se pueden extraer dos conclusiones principales. En primer lugar, se puede comprobar como hay tres parámetros que se encuentran muy por debajo de la media ya que en ningún momento se les ha asignado una puntuación mayor a 3, por lo que dichos parámetros quedarían fuera del estudio al estimarse como de menor entidad. En segundo lugar, observamos que dos de los parámetros se encuentran por encima de la media: coste de adquisición y capacidad de integración en los sistemas convencionales.



Por lo tanto, se ha procedido a la ordenación de los parámetros del 1 al 5, siendo el 5 el más importante y estando exentos los parámetros F, G, H, quedando ordenados de la siguiente forma:

PARÁMETROS	PONDERACIÓN
CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN EN LOS SISTEMAS CONVENCIONALES	5
COSTE DE ADQUISICIÓN	4
TIEMPO EN SERVICIO	3
ROBUSTEZ	2
TIEMPO DE REPOSICIÓN DE REPUESTO	1

Tabla 14. Ponderaciones finales. Fuente: elaboración propia

Seguidamente se ha procedido a analizar las empresas ofertantes que se encuentran disponibles en el mercado, de las cuales se ha podido recopilar información y establecer contacto, bien por vía correo electrónico o bien por enlaces externos. Las empresas son las siguientes:

EMPRESAS CIVILES
EM&E
LOCKHEED MARTIN
RHEINMETALL
RAYTHEON
RAFAEL

Tabla 15. Empresas civiles consultadas sobre la implementación de la tecnología láser en el Sistema 35/90 SKYDOR. Fuente: elaboración propia

Dichas empresas son líderes en el sector de desarrollo de sistemas basados en tecnología láser. Siendo la empresa EM&E la única nacional. Sus sistemas se describen someramente en el Anexo 12.

Para poder determinar cuál sería la empresa más apropiada para desarrollar la propuesta de implementación, se ha realizado una matriz de decisión, la cual se encuentra detallada en el Anexo 13.



	EM&E	LOCKHEED MARTIN	RHEINMETALL	RAYTHEON	RAFAEL
COSTE DE ASQUISICIÓN					
TIEMPO REPOSICIÓN REPUESTOS					
INTEGRACIÓN					
TIEMPO EN SERVICIO					
ROBUSTEZ					

Tabla 16. Resumen Matriz de Decisión. Fuente: elaboración propia

Para comprender mejor la *Tabla 16*, se significa que el color verde se refiere a que cumple el parámetro, el color amarillo que cumple el parámetro con limitaciones y el color rojo significa que no cumple con el parámetro.

Atendiendo a los resultados de la matriz, la empresa Rheinmetall sería la más idónea para emprender el desarrollo ya que: su disponibilidad es bastante elevada, posee una dilatada experiencia y cumple totalmente con el requisito de integración en sistemas convencionales. Como bien se ha expuesto antes, actualmente disponen de sistemas implementados en el sistema de armas anterior al 35/90 SKYDOR.

En cuanto a aspectos económicos, podemos observar como la única que cumple con el requisito y por ende la opción más asequible, sería la empresa nacional EM&E. Esta empresa ha recibido financiación por parte del Ministerio de Defensa a través del programa Coincidente (Ministerio de Defensa, 2020) del año 2020, recibiendo una cantidad no muy elevada pero que a su vez reduciría los costes. Su principal inconveniente que sus sistemas no han sido corroborados de una forma satisfactoria ante la amenaza UAS.

De igual modo podemos observar como las empresas Lockheed Martin, Raytheon y Rafael presentan la mayor robustez y a su vez el mayor coste, debido que son las empresas líderes en el mercado en este sector y las cuales tienen más prototipos de sistemas con sus correspondientes garantías de calidad y pruebas en el mercado.



6. CONCLUSIONES

A continuación, se detallarán aquellas conclusiones que han sido consideradas más relevantes tras la realización de la memoria a través de los capítulos de la misma. Consiguiendo así el cumplimiento de los objetivos establecidos al inicio del proyecto.

Se ha demostrado que es factible integrar un sistema de defensa aérea basado en la implementación de la tecnología láser en el sistema de armas convencional 35/90 SKYDOR. El sistema híbrido permite mejorar las prestaciones ya inherentes a dicho sistema mejorando sus capacidades para enfrentar la amenaza emergente UAS. Para la realización de la memoria y poder demostrar dicha integración se ha puesto un especial énfasis en conocer las opiniones de expertos tanto en combatir la amenaza UAS como en el sistema 35/90 SKYDOR. Mediante la realización de varias encuestas y entrevistas a personal perteneciente a distintos niveles, se ha conseguido recopilar la información necesaria para dicha acción.

En primer lugar, se ha demostrado la importancia que ha adquirido la amenaza UAS durante los últimos años, así como su peligrosidad, mediante un análisis de sus capacidades tanto técnicas como tácticas. Del mismo modo, se han analizado sus riesgos asociados y cómo la tecnología láser contribuiría a disminuirlos. Dejando así patente la amenaza que presentan los UAS y proponiendo una solución al problema.

En segundo lugar, se ha expuesto la necesidad de renovar los sistemas de defensa antiaérea frente a los UAS. Para ello, se analizaron los sistemas convencionales, conociendo así sus limitaciones, para centrarnos en el Sistema 35/90 SKYDOR. Después de los análisis elaborados, se ha comprobado cómo este último sistema de armas es el más idóneo para implementar la tecnología láser y poder combatir la amenaza UAS con las mayores garantías posibles.

Por último, se ha probado como la tecnología láser mejoraría las capacidades del sistema 35/90 SKYDOR en cuanto a sus prestaciones para combatir a los UAS, mediante un análisis comparativo entre las nuevas capacidades y las capacidades convencionales. Posteriormente, se han asentado las bases de adquisición de una propuesta de implementación de dicha tecnología en el sistema dado, mediante un estudio de mercado. El cual compara las empresas civiles estudiadas mediante una matriz comparativa en base a ciertos criterios preestablecidos. Argumentando finalmente como la empresa Rheinmetall sería la más factible para tal fin.

Referente a las posibles líneas futuras elaboradas a medio/largo plazo, cabría plantearse que la implementación de la tecnología láser se amplíe a otros sistemas de armas existentes en el Ejército de Tierra como el sistema de armas Mistral, conformando así un nuevo sistema híbrido. A esto habría que sumarle la implementación de otras tecnologías basadas en la energía dirigida, como la microondas, la cual ya ha empezado su fase de experimentación en el RAAA 71. Quedando renovado el sistema de defensa aérea mediante la introducción de estos sistemas híbridos.



BIBLIOGRAFÍA

Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional, 2012. *Publicaciones Defensa*. [En línea] Available at: <https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/P/D/PDF223.pdf> [Último acceso: Septiembre 29 2021].

Air Force Research Laboratory (AFRL), 2016. *Laser Weapon Systems*. [En línea] Available at: <https://www.kirtland.af.mil/Portals/52/documents/LaserSystems.pdf> [Último acceso: 15 Diciembre 2021].

Campoy, P. y otros, 2016. Evolución histórica de los vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad. *Dyna*, 91(3), pp. 282-288.

Centro Conjunto de Desarrollo de Conceptos (CCDC), 2018. Documento Grupo de Trabajo de Tecnología. Concepto Nacional C-UAS. Volumen 4, pp. 7-10.

De Pedro Garcimartín, J., 2019. La preparación frente a los sistemas aéreos no tripulados en España. *Memorial de Artillería*, 175(1), pp. 68-77.

De Pedro Garcimartín, J., 2020. Sistemas de Armas Láser contra la amenaza Aérea. *Memorial de Artillería*, 176(1), pp. 107-120.

Defensa, 2019. Panorama de tendencias geopolíticas. Horizonte 240. *Entorno operativo 2035*.

Delgado, J. A. M., 2021. *Guerra de drones en el Cáucaso Sur: lecciones aprendidas. Documento de Opinión IEEE 21/2021*. [En línea] Available at: https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2021/DIEEEO21_2021 JOSMAR DronesCaucaso.pdf [Último acceso: 2 Noviembre 2021].

Integrated Office of the Secretary of Defense, 2007. Unmanned Systems Roadmap 2007-2032. *Department of Defense*.

Jefe del Estado Mayor de la Defensa (JEMAD), 2018. *Directiva Conceptual de Desarrollos*.

Joint Air Power Competence Centre, 2019. A comprehensive Approach to Countering Unmanned Aircraft Systems.

LASIT, 2018. *Laser Marketing Innovation. ¿Qué es un láser y cómo funciona?*. [En línea] Available at: <https://www.lasitlaser.es/marcado-laser-como-funciona/> [Último acceso: 3 Diciembre 2021].

Ministerio de Defensa, 2018. *Orden DEF/17560/2018*. [En línea] Available at: <https://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/detalleiniciativa.aspx?iniciativaID=360> [Último acceso: 20 Octubre 2021].

Ministerio de Defensa, 2020. *Orden DEF/7969/2020*. [En línea]



Available at: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-7969
[Último acceso: 16 Diciembre 2021].

Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2011. Sistemas de Aeronaves no Tripuladas (UAS). *Circular*, Volumen 328.

OTAN, 2020. NATO Counterin Class I Unmanned Aircraft Systems (C-UAS). *Handbook*.

Priego, R., 2020. Sistemas de armas de energía dirigida. Nuevas posibilidades para la Defensa Aérea. *Global Strategy*.

Rachel, C., 2019. Microwave Weapons Moving Toward Operational Use. *Airforce Magazine*.

Sánchez Gallego, E., 2021. La amenaza UAS. La necesidad de sistemas C-UAS. *Memorial de Artillería*, 177(1), pp. 26-35.

Watson, B., 2017. *Defense One*. [En línea]
Available at: <https://www.defenseone.com/technology/2017/01/drones-isis/134542/>
[Último acceso: 15 Noviembre 2021].



ANEXOS

Anexo 1 Conflicto Nagorno Karabaj.

Anexo 2 Análisis de riesgos.

Anexo 3 Niveles de valoración de la amenaza de origen hostil.

Anexo 4 Sistemas C-UAS.

Anexo 5 Encuesta del grado de satisfacción sobre el Sistema de Armas 35/90 SKYDOR.

Anexo 6 Encuesta sobre la Tecnología Láser.

Anexo 7 Ficha de Entrevista.

Anexo 8 Coste de los misiles que utilizan los Sistemas de Armas de Defensa Antiaérea.

Anexo 9 Ficha de Entrevista.

Anexo 10 Reunión Elección de Parámetros.

Anexo 11 Encuesta para ponderar parámetros.

Anexo 12 Empresas a Estudiar.

Anexo 13 Matriz de Decisión.



Anexo 1

Conflicto Nagorno Karabaj

Antecedentes y Contexto

Los recientes ataques acontecidos en instalaciones petrolíferas pertenecientes a la empresa ARAMCO, en la región de Arabia Saudita y otros conflictos como es el caso del este de Ucrania, Siria o Yemen entre otros, ponen de manifiesto la importancia de la defensa ante esta nueva amenaza, los sistemas aéreos no tripulados. Ya que este tipo de enfrentamientos y actividades han dejado de ser casos puntuales y han pasado a formar parte de los conflictos del presente, pues no cabe duda de que esta será la línea de desarrollo de los próximos conflictos dado que la amenaza presenta un alto grado de riesgo que, además, dichos sistemas pueden ser empleados por colectivos insurgentes y no regulares en conflictos híbridos.

Experiencia en Ucrania y Arabia Saudita

El conflicto acontecido en la región de Donbas, al este de Ucrania, donde los separatistas querían hacerse con el control de la zona apoyados por las fuerzas militares rusas, cambiando el conflicto desde guerra híbrida hasta escalar a un conflicto de amplio espectro, se ha caracterizado por el empleo de distintos tipos de UAS⁶. Dentro de las acciones que estos sistemas realizaban destacamos las tareas de recoger información, designa objetivos y ejecutar ataques a puntos sensibles poco protegidos como es el caso de depósitos de munición. Dentro de los UAS utilizados durante el desarrollo del conflicto, encontramos los sistemas Granat, Forpost, Orlan-10 y Zastava entre otros⁷. Destacando la aeronave Forpost, la más utilizada y con mayores prestaciones, siendo similar al modelo Searcher II israelí, y la aeronave Orlan-10 debido a sus pequeñas dimensiones.

Las operaciones realizadas por el ejército prorruso estaban bien coordinadas y en muchas ocasiones utilizaban acciones conjuntas con varias aeronaves ya que ante la incapacidad de detección y seguimiento de las defensas ucranianas ante esta nueva amenaza, estas tuvieron que centrar sus esfuerzos en conseguir una gran densidad de fuego para poder mitigar mínimamente las devastadoras acciones de los UAS. Es por ello que se tuvieron que desarrollar nuevos sistemas C-UAS y del mismo modo obtener valiosas lecciones para un futuro conflicto.

Otro incidente a destacar es el ocurrido en Arabia Saudita, en el cual fueron atacadas dos plantas petrolíferas de Saudi Aramco⁸. Para el ataque se utilizaron 7 misiles crucero y 18 UAV. La defensa saudí disponía del sistema Patriot, del sistema Skyguard y del sistema Shahine, los cuales fueron inservibles para poder repeler el ataque debido a que fueron incapaces de detectarlos dada su baja altura de vuelo.

Experiencia en Nagorno Karabaj

El conflicto desarrollado en el Cáucaso, entre Armenia y Azerbaiyán, durante el 2020

⁶ Karber, P.A. "Lessons Learned from the Ruso-Ukrainian War. Personal Observations". The Potomac Foundation.

⁷ Zhirohov, M. "Donbas Drone War: Ukraine's emerging C-UAS solutions reach the battlefield. JANE's International Defence Review. Special Report.

⁸ Binnie, Jeremy. "Analysis: Saudí air defences ill-prepared for low level attacks". Jane's Defense Weekly.



ha dejado patente la importancia del uso de UAS para obtener una ventaja decisiva en las batallas libradas por el enclave territorial de Nagorno Karabaj. El uso de UAS ha demostrado su eficacia en un conflicto convencional, de estado contra estado, con similitud de similitud de armamentos.

En un conflicto que llevaba enquistado desde los años noventa, el empleo de las aeronaves no tripuladas supuso que la balanza se decantase por aquel bando que las empleaba y de este modo romper así el empate militar. Según el coronel José Pardo de Santaya, analista del Instituto Español de Estudios Estratégicos (IEEE), las tropas de Bakú utilizaron los UAS para poder detectar las posiciones enemigas, que utilizaban el terreno montañoso a su favor para atrincherarse, asegurando la posición y así conseguir diversos éxitos tácticos, y atacarlas con mayor precisión.

También cabe destacar que, por norma general, las misiones de neutralización de las defensas aéreas son las que conllevan un mayor peligro tanto como para las aeronaves como para sus tripulaciones. De tal forma que los drones permiten eliminar de la ecuación el riesgo para la tripulación, por lo que en este tipo de operaciones puede asumirse un mayor nivel de atrición a un coste menor tanto en vidas humanas como en costes económicos⁹.

Se ha podido observar como la defensa aérea armenia ha tenido que lidiar con varios inconvenientes a la hora de acometer a los drones azeríes. La falta de sensores impide una alerta temprana al igual que el control de la RAP, por ello los sistemas de defensa antiaéreos pertenecientes a Armenia se han enfrentado a los siguientes problemas:

- Dificultad o incapacidad en la detección de drones, ya que los radares de búsqueda, adquisición y seguimiento están optimizados para la detección de aeronaves de mayor tamaño y firma radar con perfiles de vuelo rápidos. Como es el ejemplo del sistema de defensa S-300 PS, incapaz de detectar los drones empleados por Azerbaiyán.
- Alcance operativo inferior al alcance de los drones atacantes, ya que uno de los sistemas de defensa aérea más empleados por Armenia durante el desarrollo del conflicto en su parte más actual ha sido el SA-15 Gauntlet, el cual aunque si lograba detectar los drones enemigos, el alcance de sus misiles era inferior al de los misiles empleados por los diferentes drones azeríes, como el TB-2¹⁰.
- Tácticas deficientes frente a la amenaza dron, ya que Armenia se ha visto sobrepasada por la estrategia azerí. Donde ha sido evidente la falta de coordinación y movilidad de los medios empleados, operando en multitud de ocasiones sobre posiciones fijas fácilmente localizables por el enemigo.

⁹ MARÍN DELGADO, José Alberto. Guerra de drones en el Cáucaso Sur: lecciones aprendidas de Nagorno-Karabaj. Documento de Opinión IEEEn21/2021. http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2021/DIEEO21_2021 JOSMAR DronesCaucaso.pdf

¹⁰ SHAIKH, Shaan y RUMBAUGH, Wes, "The Air and Missile War in Nagorno-Karabakh: Lessons for the Future of Strike and Defense", Center for Strategic and International Studies, 08/12/20. Disponible en: <https://www.csis.org/analysis/air-and-missile-war-nagorno-karabakh-lessons-future-strike-and-defense>



Anexo 2

ANÁLISIS DE RIESGOS								
Título del Proyecto:		Propuesta de implementación de tecnología láser en el Sistema 35/90 SKYDOR, para hacer frente a la amenaza emergente UAS						
Jefe del Proyecto:		CAC Luis Álvarez de Lara Morales						
Evaluación de Riesgos								
ID	Descripción del riesgo	Causa del riesgo	Impacto (H,M,L)	Probabilidad (1,2,3)	Clase de riesgo	Efectos del riesgo	Medidas/Alternativas	Clase del riesgo tras medida
1	Ataque a una posición fija	UAS LSS dotado de armamento/explosivo	H	3	3H	Consecución de bajas materiales y personales por parte del enemigo, así como hostigar o controlar un punto sensible.	Implementación de sistemas capaces de neutralizar este tipo de amenaza con las máximas garantías.	1M
2	Ataque a una unidad móvil	UAS LSS dotado de armamento/explosivo	H	2	2H	Consecución de bajas materiales y personales por parte del enemigo, así como detener un operativo.	Implementación de sistemas capaces de neutralizar este tipo de amenaza con las máximas garantías.	1M
3	Detonación de la carga del UAS durante su recuperación	UAS LSS dotado de explosivo (IED)	H	2	2H	Consecución de bajas del personal destinado para su recuperación.	Implementación de sistemas que consigan la total inhibición de la amenaza, hasta su posterior desactivación.	1M
4	Operaciones de vigilancia y seguimiento	UAS LSS dotado de capacidad IASTAR	M	3	3M	Obtención de inteligencia por parte del enemigo.	Implementación de sistemas de inhibición y de neutralización para hacer frente a la amenaza.	2L
5	Empleo de drones civiles en el espacio aéreo propio	UAS LSS de empleo particular	L	3	3L	Dificultad para diferenciar entre amena o no.	Implementación de sistemas que puedan servir tanto para la identificación como para la disuasión.	1L



Anexo 3

Niveles de valoración de la amenaza de origen hostil.

NIVELES DE LA VALORACIÓN DE LA AMENAZA DE ORIGEN HOSTIL	
Nivel	Descripción
Muy Alta	Acción hostil muy probable de una amenaza concreta. Los niveles de actividad se consideran muy lejos de la normalidad en un entorno de crisis. Se puede acotar un plazo y lugar concreto para la realización del ataque. Es muy probable que se haya realizado un reconocimiento y planeamiento previo al ataque. Amenaza con alta capacidad y fuerte intención para actuar.
Alta	Acción hostil probable de una amenaza concreta. Los niveles de actividad se consideran lejos de la normalidad en un entorno de crisis. Se puede acotar un plazo y lugar concreto para la realización del ataque. Amenaza con capacidad suficiente para actuar.
Media	Acción hostil probable, pero no hay amenaza concreta. Los niveles de actividad se consideran fuera de la normalidad en un entorno en crisis. Se pueden establecer plazos y lugares generales para la realización de un posible ataque. Amenaza con cierta capacidad para llevar a cabo un ataque
Baja	Acción hostil con baja probabilidad y amenaza imprecisa. Los niveles de actividad se consideran normales para un entorno de crisis. Amenaza considerada como potencial. No se pueden establecer plazos ni lugares generales para la realización de la acción. Amenaza con limitadas capacidades para llevar a cabo un ataque.
Nula	No existe amenaza por cualquiera de los siguientes factores: <ol style="list-style-type: none"> 1- No hay organizaciones, grupos o elementos hostiles. 2- Incapacidad del enemigo para llevar a cabo acciones hostiles. 3- No existe intención por parte del enemigo de actuar sobre nuestras fuerzas.
Desconocida	No se dispone de información.



Anexo 4

Sistemas C-UAS

Sistema fijo C-UAS, AUDES

El sistema AUDES (Anti-UAV Defense System), es un sistema que está diseñado para la detección, el seguimiento y la neutralización de cualquier tipo de amenaza UAS, involucrada en vigilancia aérea hostil o que suponga una actividad potencialmente peligrosa.

Este sistema combina la detección de objetivos mediante su radar de exploración electrónica, el seguimiento de una amenaza UAS a través de sus cámaras y medios ópticos, así como la capacidad de inhibición direccionalmente por radiofrecuencia.

El sistema puede utilizarse en zonas remotas o urbanas para evitar que los UAS se utilicen con fines terroristas, espionaje u otras actividades que supongan un riesgo contra una infraestructura crítica o la seguridad pasiva.

Fue desarrollado en 2015 por un consorcio de tres empresas británicas dedicadas a la defensa. Cada una de ellas ha desarrollado las capacidades necesarias para crear un sistema efectivo contra la amenaza UAS.

Blighther Surveillance Systems → Subsistema radar A400

Chess Dynamics → Subsistema de cámaras electro-ópticas.

Enterprise Control Systems → Subsistema de inhibición.

El sistema AUDES se basa en la detección de una amenaza UAS mediante un radar micro-Doppler de escaneo electrónico (PESA), en el seguimiento por medio de un sistema de infrarrojos de precisión y una cámara de luz diurna que incorpora un software de seguimiento de vídeo avanzado, y por último en la inhibición por radiofrecuencia (RF) de las señales de comunicación, GPS y telemetría.

Sistemas Portátiles C-UAS

1- Drone defender

Sistema de inhibición C-UAS ligero, efectivo ante UAS Clase I. Este sistema permite dos tipos de inhibición. Por una parte, la interrupción multifrecuencia o interrupción del control, que se encarga de inhibir los medios de comunicación y control, haciendo al piloto del vehículo perder el control del sistema. Por otra parte, la interrupción GPS, que inutiliza la capacidad de navegación automatizada.

Los elementos que componen este sistema C-UAS incluyen un cuerpo tipo rifle, un componente de transmisiones formado por tres antenas, y finalmente una mochila que contiene las baterías y la electrónica que lo compone, tal y como se muestra en la *Figura 6*. El rifle, que es la parte principal del sistema consta de dos dispositivos o interruptores, uno para la inhibición del control y otro para la inhibición del GPS, pudiendo elegir el tipo de inhibición que se requiere efectuar en cada momento.

En cuanto a su funcionamiento, se deben tener en cuenta una serie de limitaciones. En primer lugar, para poder inhibir el GPS, primero debe inhibirse en cualquier caso el control ya que el dispositivo de inhibición de navegación no puede activarse si el del



control no está activado a su vez. En segundo lugar, el alcance efectivo de la inhibición será de 400 m, pero siempre que el piloto del vehículo se encuentre a menos de 100 m del dron. Por último, sus efectos de inhibición vienen limitados por un cono de 30° en el caso de la inhibición del control y por un cono de 60° para la inhibición del GPS.



Figura 6. Drone Defender de la empresa Batelle. Fuente: elaboración propia

2- Aeroscope

El sistema portátil Aeroscope, es una maleta de detección, tal y como se muestra en la *Figura 7* de la que disponen las FAS, y del que actualmente existen dos tipos en dotación: el sistema de la empresa China DJI y el de la empresa española ASDT. La razón de ser de esta situación es que la empresa ASDT presenta modificaciones que mejoran sustancialmente su eficacia frente a la adquirida inicialmente (DJI), permitiendo el aumento de espectro de detección de drones, ya que la maleta de DJI solo permite la detección de drones de su propia marca¹¹.

Se trata de un sistema de detección pasivo que trabaja por radio frecuencia (RF) y que es efectivo contra drones Clase-I. Ese rango de detección lo condicionan las antenas que lo forman, siendo su alcance máximo de 5 km, pero su alcance efectivo de detección UAS LSS tan solo de 2 km.

Está compuesto por una pantalla táctil, mediante la cual se muestra tanto la posición de los UAS LSS como la posición de su piloto. Otra de las funciones es la capacidad de mostrar la información de la aeronave, como la traza de vuelo, su velocidad, o el tipo de dron.

A pesar de ser un sistema móvil, tiene capacidad de funcionar como sistema fijo. Esto se debe a que su alimentación puede ser tanto por baterías, teniendo una autonomía de dos horas, como por conexión a la red. Además, al existir un puerto HDMI, permite conectar el Aeroscope a una pantalla externa y tener una pantalla fija de detección, facilitando la posibilidad de que funcione como sistema estacionario.

¹¹ Actualmente el porcentaje de drones comerciales de la marca DJI supera el 70% de los drones que se pueden adquirir en el mercado. Por ello, el AEROSCOPE DJI, inicialmente era la prioridad, pero con el aumento de la amenaza, las actualizaciones en el espectro de la detección eran necesarias, apareciendo la necesidad de la compra de los sistemas de la marca ASDT.



Figura 7. Aeroscope de la empresa DJI. Fuente: elaboración propia

3- Sendes

Se trata de un sistema portátil de inhibición de la empresa española ASDT que emite señales de RF que interfieren con el control y la navegación de los drones. Se trata de la versión española del Drone Defender, que permite la interdicción del UAS siempre que se tenga una visual directa con el objetivo, ya que su alcance efectivo es de tan solo 800 m.

En cuanto a los elementos que forman el sistema, resaltar que tan solo consta de un cuerpo que descansa sobre el antebrazo. En la parte superior presenta una pantalla, tal y como se muestra en la *Figura 8*, que puede ser táctil, con tres pulsadores que permiten seleccionar el modo de inhibición que se desea, que puede ser control, GPS o ambas de manera simultánea.

Este sistema presenta una serie de ventajas con respecto al Dron Defender. Por una parte, el alcance efectivo es mayor y no presenta las limitaciones de funcionamiento mencionadas anteriormente. Y, por otra parte, se trata de un modelo más ergonómico, debido a que tan solo cuenta del cuerpo y no necesita de una mochila auxiliar, lo que facilita de manera notable su uso.

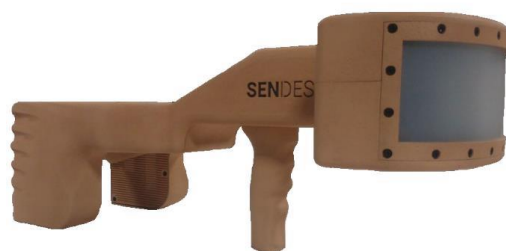


Figura 8. Sendes de la empresa ADST. Fuente: elaboración propia



Anexo 5

Encuesta del grado de satisfacción sobre el Sistema de Armas 35/90 Skydor

Marque la casilla correspondiente a su respuesta:

	SI	NO
1. ¿Considera eficaz el Sistema de Armas 35/90 Skydor, para la defensa inmediata de un punto fijo?		
2. ¿Considera que el Sistema de Armas 35/90 Skydor, se encuentra actualmente en desuso?		
3. ¿Considera que el Sistema de Armas 35/90 Skydor podría ser empleado para propósitos distintos a los actuales?		
4. ¿Considera actualmente eficaz el Sistema de Armas 35/90 Skydor contra la amenaza UAS LSS?		
5. ¿Considera factible modificar el Sistema de Armas 35/90 Skydor contra la amenaza UAS para mejorar sus prestaciones frente a la misma?		
6. ¿Cree que la implementación de nuevas tecnologías, como aquellas basadas en energía dirigida ayudaría a ello?		
7. ¿Cree que la implementación de tecnología basada en energía dirigida aportaría una mayor versatilidad al sistema?		
8. ¿Cree que la implementación de tecnología basada en energía dirigida sería económicamente positiva para la actuación del sistema frente a la amenaza UAS LSS?		
9. ¿Cree que la implementación de tecnología basada en energía dirigida ayudaría a combatir la amenaza múltiple UAS, conocida como enjambre?		



Anexo 6

Encuesta sobre la Tecnología Láser

Marque la casilla correspondiente a su respuesta:

	SI	NO
10. ¿Conoce, en general, cuáles son las capacidades que ofrece la tecnología láser?		
11. ¿A trabajado anteriormente con algún Sistema de Armas que disponga de este tipo de tecnología?		
12. ¿Cree que la tecnología láser adaptada en el sistema, permitiría neutralizar la amenaza UAS LSS, aparte de las funciones de adquisición de objetivos?		
13. ¿Considera más eficaz el empleo de tecnología láser, frente a una amenaza tan cambiante como la UAS, que el empleo de municiones convencionales?		
14. ¿Cree que sería beneficioso desarrollar e investigar más dentro de este campo?		



Anexo 7

Ficha de Entrevista

FICHA TÉCNICA	
DATOS DEL ENTREVISTADO	
Nombre	D. Enrique Sánchez Gallego
Empleo	Capitán
Destino	Regimiento de Artillería Antiaérea n1 (Madrid)
Tiempo en la Unidad	7 Años
Experiencia	Desde su ingreso en el Arma ha estado vinculado a la Artillería Antiaérea, formación en sistema C-UAS, participe de numerosas jornadas de formación impartidas por la unidad sobre la amenaza UAS, mando de baterías con el sistema de armas 35/90 SKYDOR, presencia en diversos experimentos de la unidad sobre la tecnología basada en energía dirigida.
DATOS DE LA ENTREVISTA	
Duración	90 minutos
Lugar	Videoconferencia
Motivo	Obtener factores para comparar, frente a la amenaza UAS, entre los sistemas tradicionales presentes en las unidades y los sistemas láser
Estructura	<ol style="list-style-type: none"> 1. Obtener los factores para confrontar entre los sistemas. 2. Proceder a la confrontación de los sistemas. 3. Discutir sobre las capacidades y limitaciones de los sistemas. 4. Discutir sobre las conclusiones extraídas.
Utilidad	Obtención de la información necesaria para comparar distintos sistemas frente a un mismo factor.



Anexo 8

Coste de los misiles que utilizan los Sistemas de Armas de Defensa Antiaérea

SISTEMA	PRECIO ESTIMADO (Dólares)
F-100/ MISIL SM-2 MR	1,7-1,8 MILLONES
NASAMS/ MISIL AIM-120 C	300.000-400.000
HAWK/ MISIL MIM-23HAWK	250.000
MISIL MISTRAL	120.000
MISIL IRIS-T	455.000
CAÑÓN OERLIKON 35-90/ MUNICIÓN 35 mm AHEAD	1.000- 1.786 1.786 X 25 DISPAROS (RÁFAGA) = 44.650
PATRIOT/ MISIL PAC-3 MSE	4,7- 5,6 MILLONES
AEGIS/MISIL SM-3 BLOCK 1B	14 MILLONES
THAAD (TERMINAL HIGH ALTITUDE AEREA DEFENSE)	9 MILLONES
SAM P-T/ MISIL ASTER	2 MILLONES



Anexo 9

Ficha de Entrevista

FICHA TÉCNICA	
DATOS DEL ENTREVISTADO	
Nombre	D. Alejandro Campoy Fernández
Empleo	Capitán
Destino	Regimiento de Artillería Antiaérea n1 (Madrid)
Tiempo en la Unidad	4 Años
Experiencia	Siempre vinculado a la Artillería Antiaérea, formación en sistema C-UAS, participe de numerosas jornadas de formación impartidas por la unidad sobre la amenaza UAS, presencia en diversos experimentos de la unidad sobre la tecnología basada en energía dirigida, participe en los dos tiros experimentales en el campo de maniobras y Tiro Médano del Loro (Huelva), publicación de diversos artículos sobre la amenaza UAS.
DATOS DE LA ENTREVISTA	
Duración	60 minutos
Lugar	Videoconferencia
Motivo	Recopilar información, a través de su dilatada experiencia, acerca de los ejercicios llevados a cabo sobre el uso de la energía dirigida para hacer frente a la amenaza UAS.
Estructura	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recopilación de información sobre el primer ejercicio realizado. 2. Discutir sobre las conclusiones extraídas del mismo. 3. Puesta en común de las ideas fuerza extraídas del primer ejercicio para combatir la amenaza UAS. 4. Recopilación de información acerca del segundo ejercicio realizado. 5. Discutir sobre las conclusiones extraídas del mismo. 6. Puesta en común de las ideas fuerza extraídas del segundo ejercicio para combatir la amenaza UAS.
Utilidad	Obtención de la información necesaria para comprobar la utilidad de la implementación de la tecnología láser en los sistemas de armas.



Anexo 10

Reunión Elección de Parámetros

Para la realización de la siguiente reunión se convocó al siguiente personal:

Capitán D. Javier Alaez Pérez.

Capitán D. Alejandro Campoy Fernández.

Capitán D. Enrique Sánchez Gallego.

Capitán D. Manuel Ojeda Bazaga.

La reunión se llevó a cabo de forma conjunta en uno de los despachos del Regimiento de Artillería Antiaérea n71 el día 28 de noviembre de 2021 a las 12:00 horas. Previamente a realización de la reunión, los participantes recibieron un correo electrónico en el cual se especificaban los datos de la fecha, hora y lugar de la misma, así como el tema principal a tratar y el objetivo a conseguir. También se le pidió a cada uno de los participantes que llevase a la reunión 2 parámetros a la hora de elegir una empresa que desarrollase el sistema de implementación de la tecnología láser en el sistema 35/90 SKYDOR, previamente pensado.

Desarrollo de la reunión:

1. Se pidió que para el comienzo de la reunión cada participante comentase sus 2 parámetros y el porqué de su elección. De aquí pudimos observar como 2 parámetros se repetían en su inmensa mayoría, los correspondientes a costes de adquisición y capacidad de integración en los sistemas convencionales. Otros de los factores que salieron a la luz fueron tiempo en servicio de la empresa y su robustez.
2. Se comentaron los parámetros anteriores y se puso sobre la mesa sus virtudes y porque debían ser esos y no otros.
3. Se procedió a la realización de una "brain storm" para sacar conjuntamente más parámetros a tener en cuenta. De dicha parte de la reunión salieron el resto de los factores los cuales a priori no tenían la misma relevancia que los anteriores pero que si se debían tener en consideración para poder elegir la empresa.
4. Por último, se revisaron los parámetros y se elaboró la lista definitiva de los mismos.



Anexo 11

Encuesta para ponderar parámetros

Puntué del 1 al 8, siendo 1 el valor menos importante y 8 el más importante, los siguientes parámetros según su grado de importancia a la hora de elegir una empresa civil para que desarrolle el sistema de armas buscado.

PARÁMETROS	PUNTUACIÓN (1-8)
Coste de Adquisición	
Tiempo	
Capacidad	
Tiempo en Servicio	
Robustez	
Garantía	
Trato Personal	
Instalaciones	



Anexo 12

Empresas a Estudiar

A continuación, se detallan aquellas características más importantes, así como los proyectos más innovadores en el campo de la tecnología láser por parte de las empresas civiles sometidas a estudio.

1- Empresas del Ámbito Nacional

- **AERTEC**¹²

El proyecto Tactical Advanced Laser Optical System (TALOS) está trabajando en la construcción de un láser de alta potencia para la Unión Europea que se integrará en las aplicaciones militares en 2025.

Este programa se ha desarrollado a través del Programa RPAZ¹³ impulsado por la DGAM.

Dado el hecho de que su tecnología no ha sido testada en pruebas reales frente a la amenaza UAS se quedaría fuera del estudio realizado posteriormente en la memoria.

- **ESCRIBANO MECHANICAL AND ENGINEERING (EM&E)**¹⁴

Dentro del Programa Coincidente, surge el nuevo proyecto SIGILAR, AUNANDO ESFUERZOS DEL Centro de Láseres Pulsados (CLPU) de Salamanca y la empresa EM&E. Su objetivo es diseñar y desarrollar un sistema guiado de láser pulsado de alta potencia para el ámbito militar.

2- Empresas del Ámbito Internacional

- **Rafael (Israel)**¹⁵

Drone Dome, consiste en un conjunto de componentes electrónicos y de sensores de interferencias capaces de detectar, identificar las amenazas UAS del tipo micro y mini. Para la neutralización de dicha amenaza emplea un rayo láser de alta potencia (HEL).

¹² AERTEC SOLUTIONS. Consultado en: <https://aertecsolutions.com/proyecto/talos-tactical-advanced-laser-optical-system/>. Consultado el (21/11/2021).

¹³ Este proyecto, promovido por el Ministerio de Defensa a través de la DGAM, persigue entre otros objetivos conocer el estado del arte y las capacidades de la industria nacional en el desarrollo de RPAS de clase I, así como dar a conocer a los diferentes fabricantes nacionales de RPAS las necesidades de las FF. AA., de cara a facilitar el establecimiento en un futuro de un posible proceso de adquisición de este tipo de sistemas.

¹⁴ Octavio Díez Cámara, Las Fragatas F110 de la Armada estarán dotadas de armas láser de la factoría española. Reportado de: <https://www.defensa.com/defensa-naval/fragatas-f110-armada-estaran-dotadas-armas-laser-factoria>. Consultado el (21/11/2021)

¹⁵ Artículo de Hispaviación. Recuperado de: <https://www.hispaviacion.es/el-sistema-anti-uas-drone-dome-de-rafael-intercepta-multiples-drones-con-laser/>. Consultado el (17/02/2020).



- **Lockheed Martin (EEUU)**¹⁶

El programa Self-Protect High-Energy Laser Demonstrator (SHIELD) ha sido desarrollado en colaboración con la empresa Northrop Grumman. Consiste en un láser de alta potencia denominado LANCE integrado en sistema de control de haz (STRUFFE) que dirige el láser hacia el objetivo. Tiene la capacidad de ser instalado tanto en aviones tipo caza como en plataformas terrestres.

- **Raytheon (EEUU)**¹⁷

El Mobile Experimental High Energy Laser (MEHEL) consiste en un láser de 10 KW integrado con un radar de banda KU, capaz de realizar seguimiento sobre objetivos con baja superficie equivalente radar (RCS). Su principal ventaja es la capacidad de integración con aeronaves para la asignación de objetivos o neutralización de UAS. Este sistema se encuentra montado sobre un vehículo STRYKER y en servicio en EEUU, se estima que en el año 2022 se encuentre operativo en zona de operaciones.

- **Rheinmetall (Alemania)**¹⁸

Desde el año 2010 lleva desarrollando diversos sistemas y prototipos de sistemas de armas dotados de tecnología láser. Su mayor hito al respecto fue en el año 2012 tras conseguir desarrollar un cañón láser de 50kw de potencia. Esta nueva tecnología se diseñó como un sistema de interceptación de misiles en vuelo, así como de obuses de mortero o la capacidad de derribar drones en vuelo. También dispone de diversos prototipos y pruebas realizadas en las cuales se integró este sistema con una unidad de control de fuegos Oerlikon Skyguard, sistema antecesor al Sistema 35/90 SKYDOR.

¹⁶ Global Defence Technology. Recuperado de: https://defence.nridigital.com/global_defence_technology_feb18/shield_the_us_air_force_s_aircraft-mounted_laser_weapon [Nov 6, 2017]. Consultado el (22/11/2021).

¹⁷ Army times. Láser para derribar drones. Reportado de: <https://www.elradar.es/laser-derribar-drones/>. Consultado el (22/11/2021).

¹⁸ Rheinmetall defence, archivo de 2012. Reportado de: https://www.rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall_defence/public_relations/news/archiv/archive2012/aktuellesdetailansicht_4_2368.php. Consultado el 19/11/2021



Anexo XIII

Matriz de Decisión

La matriz de decisión realizada a continuación evalúa a las 5 empresas del mercado estudiadas y las cuales serían las más óptimas para desarrollar el sistema buscado, implantando la tecnología láser. Para ello teniendo la ponderación de los requisitos a evaluar, serán cotejados por cada una de las cinco empresas. Cada uno de los requisitos a evaluar será calificado en función de las empresas, aportando un valor entre 1 y 3, siendo 1 el valor mínimo y 3 el valor máximo. Luego dichos valores serán multiplicados por la ponderación establecida a cada uno de los requisitos, para finalmente proceder a hacer el sumatorio para cada empresa.

	EM&E	LOCKHEED MARTIN	RHEINMETALL	RAYTHEON	RAFAEL
COSTE DE ASQUISICIÓN	3	1	2	1	1
TIEMPO REPOSICIÓN REPUESTOS	2	2	3	2	2
INTEGRACIÓN	1	1	3	1	1
TIEMPO EN SERVICIO	1	3	3	3	3
ROBUSTEZ	2	3	2	3	3

En esta primera tabla encontramos el valor de cada una de las empresas según el requisito a calificar.

	EM&E	LOCKHEED MARTIN	RHEINMETALL	RAYTHEON	RAFAEL
COSTE DE ASQUISICIÓN	12	4	8	4	4
TIEMPO REPOSICIÓN REPUESTOS	2	2	3	2	2
INTEGRACIÓN	5	5	15	5	5
TIEMPO EN SERVICIO	3	9	9	9	9
ROBUSTEZ	4	6	4	6	6
TOTAL	26	26	39	26	26

En esta segunda tabla se obtiene el sumatorio de cada una de las empresas tras multiplicar el valor dado en la primera tabla por la ponderación de cada uno de los requisitos.

