

# Trabajo Fin de Grado

## OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA HAWK PARA SU ADAPTACIÓN AL SISTEMA DE FUEGOS EN RED Y SU IMPLEMENTACIÓN EN FUTURAS PLATAFORMAS MULTIFUNCIÓN

Autor

CAC. Diego Labrador Zea

Director/es

Director académico: D. Francisco Javier Luzón Marco

Director militar: Capitán D. Jaime García Guerrero

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2021

# **I. Agradecimientos**

La realización de este trabajo, que cierra una larga pero apasionante etapa de formación habría sido imposible de no ser por la ayuda de numerosas personas a las que quiero agradecer enormemente el apoyo prestado. En primer lugar, debo mencionar a los directores civil y militar del proyecto. El Capitán D. Jaime García Guerrero se ha involucrado en este trabajo desde el primer momento y ha supuesto una guía fiable y constante; el profesor D. Javier Luzón Marco también ha tenido un papel crucial sin el cual este trabajo no habría llegado a término.

Debo destacar también el papel del Capitán D. Gerson Heredia Canovaca como tutor militar, cuya guía y seguimiento de las distintas etapas del trabajo durante el periodo de prácticas de mando ha supuesto un gran apoyo para el desarrollo de este TFG. También, por supuesto, a todo el personal del GAAA II/74, cuya extensa experiencia con el sistema HAWK y su constante ayuda han sido indispensables para llegar a este punto. Valga esta sección como sincero agradecimiento a todos los miembros de la unidad, a pesar de que no nombre personalmente a cada uno de ellos. Sí quiero hacer especial mención de los componentes de la Sexta Batería, en la cual estuve encuadrado durante estas prácticas: los Tenientes D. Diego Blanco y D. Germán Vera; el Subteniente D. Joaquín Losquiño; el Sargento 1º D. Victoriano López; los Cabos 1ºD. David Rodríguez y D. César Lagos, o el Cabo D. Raúl Muñoz son algunos de estos militares que han hecho posible este proyecto.

# **II. RESUMEN**

Este trabajo busca determinar la forma en la que el sistema HAWK (Homing All the Way Killer) se adapte al sistema de fuegos en red y al uso de plataformas multifunción que permitan una operatividad del sistema adecuada para su empleo en los teatros de operaciones actuales y futuros con mayor eficacia y asegurando así que mantenga su efectividad en los próximos años.

El HAWK es un sistema de misiles que lleva en servicio desde los años 60 y ha demostrado durante ese tiempo ser un sistema robusto y eficaz, capaz de derribar aviones de combate desarrollados mucho después. Sin embargo, en el ambiente actual, es necesaria una actualización de este sistema de armas para asegurar su eficacia.

En este trabajo se ha determinado que la forma de lograrlo será mediante la integración del HAWK en el sistema de fuegos en red y la implementación de un sensor multifunción que permita sustituir los radares actuales de la Batería, lo cual, además de mejorar las prestaciones actuales aliviaría varias de las limitaciones que presentan las unidades.

Para llevar a cabo estos objetivos, se han determinado, a través de una encuesta y el estudio del sistema y sus necesidades, las características más importantes para valorar un radar, y su prioridad. Utilizando esta información en una selección de ocho radares multifunción, se ha elaborado un análisis de factores ponderados para determinar cuál es el más adecuado para este fin. Este estudio dio como resultado el Saab Giraffe 4A.

También se ha propuesto la implementación de protocolos de transmisiones actualizados vía enlace táctico de datos, para permitir a la Batería transmitir la información de sus sensores con la robustez, fiabilidad y velocidad necesarias para integrarse plenamente en el sistema de fuegos en red. Este protocolo es el Link-22, evolución directa del Link-11, ahora obsoleto, que es con el que operan actualmente las BCPs (Battery Command Posts). Este protocolo ha sido desarrollado por países de la OTAN y mejora en gran medida tanto la seguridad como la velocidad y la potencia de las transmisiones

### **III. Palabras clave**

Defensa aérea, Artillería Antiaérea, Sistema HAWK, Sistema Misil, SAM, sensores, sistemas radar, radar multifunción fuegos en red, puestos de mando, enlaces tácticos de datos, integración.

### **IV. Abstract**

This Project aims to determine the way in which the HAWK system is to be adapted to the fire network system and to the use of multifunction platforms that allow the system to have an adequate operational capability for today's and future theaters of operations and with better performance, in order to maintain its effectiveness in the foreseeable future.

The HAWK is a SAM system which has been in service since the 60's and, since then, has proved itself a reliable and effective system, able to shoot down aircraft developed much later. However, in the current environment, an update of the system is direly needed to guarantee its usefulness.

In this project it has been established that the way of achieving that is through the integration of the HAWK system in the fire network system and the implementation of a multifunction sensor that should replace the radars that the Batteries currently employ which will, aside from helping negate most of the HAWK's current limitations, improve the capabilities and performance.

To accomplish these objectives, a survey has been done to the GAAA II/74 personnel as well as a scrutiny of the system's requirements, in order to find the most important features of a radar system to be evaluated, and their priority. This information has been used to choose a multifunction radar to replace the current HAWK sensors from a sample of eight plausible candidates. The result ended with Saab's Giraffe 4A as the most suitable one.

It has also been proposed to implement updated protocols for tactical data link transmissions to allow the Battery to broadcast the sensor's information with the reliability and speed that today's battlefield requires so to be solidly integrated in the fire network system. This proposed protocol is the NATO made Link-22, a direct evolution from Link-11, which is the one that HAWK units currently use. This upgrade improves greatly transmission and communication security, speed, and reliability.

### **V. Keywords**

Air Defence, Anti-air Artillery, HAWK system, Missile System, SAM, sensors, radar systems, multi-mission radar, fire network, command post, tactical data link, integration.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Agradecimientos .....	1
II.	RESUMEN.....	1
III.	Palabras clave .....	2
IV.	Abstract .....	2
V.	Keywords.....	2
	ÍNDICE DE CONTENIDO .....	3
VI.	INDICE DE FIGURAS .....	4
VII.	INDICE DE TABLAS .....	5
VIII.	ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS .....	5
1	INTRODUCCIÓN.....	7
1.1	Antecedentes.....	7
1.2	Objetivos y Alcance.....	8
1.3	Metodología .....	9
1.4	Estructura del trabajo .....	9
2	ESTADO DEL ARTE.....	10
2.1	Amenaza.....	10
2.2	Defensa aérea y antiaérea .....	11
2.3	Fuegos en red.....	13
2.4	Sistemas SAM.....	13
2.5	El sistema HAWK.....	14
2.6	Sensores multifunción .....	15
2.7	Antenas AESA y tecnología GaN.....	15
3	ANÁLISIS DE LA ENCUESTA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES.....	16
3.1	Realización de la encuesta.....	16
3.1.1	Primer bloque: preguntas relativas a los encuestados:.....	16
3.1.2	Segundo bloque: preguntas relativas al estado del HAWK.....	16
3.1.3	Tercer bloque: ponderación de características de un sensor.....	19
4	PROPUESTA DE MEJORA .....	19
4.1	Propuesta de mejora: sensor multifunción que sustituya a los radares PAR, CWAR, e Interrogador IFF.....	19
4.2	Sensores multifunción candidatos. ....	21
4.3	Método de puntuación de los radares multifunción.....	24
4.4	Puntuación de las características de los radares multifunción. ....	27
4.4.1	ELM-2084 MS-MMR (IAI, Israel).....	27
4.4.2	TRML-4D (Hensoldt, Alemania) .....	28
4.4.3	KRONOS Land (Leonardo, Italia) .....	28
4.4.4	Giraffe 4A (Saab, Suecia).....	28
4.4.5	Ground Master 400 (Thales, Francia) .....	29
4.4.6	TPS-77MMR (Lockheed Martin, EEUU).....	29

4.4.7	AN/TPS-80 G/ATOR (Northrop Grumman, EEUU).....	29
4.4.8	LTAMDS (Raytheon, EEUU).....	30
4.5	Puntuación de los sensores multifunción .....	31
4.5.1	Gráficas de puntuaciones ponderadas.....	31
4.5.2	Tabla de puntuaciones generales .....	36
5	CAMBIOS PROPUESTOS EN LOS SISTEMAS DE MANDO Y CONTROL.....	37
5.1	Concepto de Tactical Data link .....	37
5.2	Del link-11B al link-22.....	38
5.3	Prestaciones y ventajas que ofrece el link-22. ....	38
5.4	Propuesta de adquisición. ....	40
6	CONCLUSIONES .....	41
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42
Anexo I.	Modelos de radar multifunción.....	I
Anexo II.	Análisis de características ponderado.....	X
Anexo III.	Encuesta sobre radares multi-función.....	XV
Anexo IV.	Resultados de la encuesta. ....	XVIII

## VI. INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: clasificación de misiles según el sistema de guiado. Fuente: elaboración propia.....	14
Ilustración 2: despliegue de la Batería HAWK PIP-III. Fuente: elaboración propia a partir del PD4-315.....	15
Ilustración 3: Distribución de respuestas a la pregunta 5 de la encuesta .....	17
Ilustración 4: Características ponderadas del ELM-2084 MS-MMR .....	31
Ilustración 5: Características ponderadas del TRML-4D.....	32
Ilustración 6: Características ponderadas del KRONOS Land .....	32
Ilustración 7: Características ponderadas del Giraffe 4A .....	33
Ilustración 8: Características ponderadas del Ground Master 400.....	33
Ilustración 9: Características ponderadas del TPS-77 MMR.....	34
Ilustración 10: Características ponderadas del AN/TPS-80 G/ATOR .....	34
Ilustración 11: Características ponderadas del LTAMDS.....	35

## VII. INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Resultados de la pregunta 6 de la encuesta.....	17
Tabla 2.	Resultados de la pregunta 10 de la encuesta.....	26
Tabla 3.	Ponderación de características.....	26
Tabla 4.	puntuaciones relativas ( $p_i$ ) de los radares multifunción .....	31
Tabla 5.	Tabla 3: clasificación de los radares según su puntuación general (M).....	36
Tabla 6.	Comparativa de características entre Link-11 y Link-22 .....	39
Tabla 7.	Especificaciones de los módem DLM 3U y DLM 5U.....	40
Tabla 8.	Características del radar ELM-2084 MS-MMR .....	II
Tabla 9.	Características del radar TRML-4D.....	III
Tabla 10.	Características del radar KRONOS Land.....	IV
Tabla 11.	Características del radar Giraffe 4A.....	V
Tabla 12.	Características del radar Ground Master 400.....	VI
Tabla 13.	Características del radar TPS-77MMR .....	VII
Tabla 14.	Características del radar AN/TPS-80 G/ATOR.....	VIII
Tabla 15.	Características del radar LTAMDS .....	IX
Tabla 16.	Puntuación del radar ELM-2084 MS-MMR.....	X
Tabla 17.	Puntuación del radar TRML-4D .....	XI
Tabla 18.	Puntuación del radar KRONOS Land .....	XI
Tabla 19.	Puntuación del radar Giraffe 4A.....	XII
Tabla 20.	Puntuación del radar Ground Master 400 .....	XII
Tabla 21.	Puntuación del radar TPS-77MMR .....	XIII
Tabla 22.	Puntuación del radar AN/TPS-80 G/ATOR .....	XIII
Tabla 23.	Puntuación del radar LTAMDS .....	XIV

## VIII. ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AAA: Artillería Antiaérea

ABT: Air Breathing Target

AD / DA: Air Defense / Defensa Aérea

ADS / SDA: Air Defense System / Sistema de Defensa Aérea

AESA: Active Electronically Scanned Array

BCP: Battery Command Post

COAAAS-M: Centro de Operaciones de Artillería Antiaérea Semiautomático Medio

COMAO: Operación Aérea Compuesta

CWAR: Continuous Wave Acquisition Radar

DAA: Defensa Antiaérea

E.T: Ejército de Tierra  
ECM: Electronic Counter Measures  
EE.UU: Estados Unidos  
EMAD: Estado Mayor de la Defensa  
EPM: Electronic Protection Measures  
FAS: Fuerzas Armadas  
FDC: Fire Director Center  
GAAA: Grupo de Artillería Antiaérea  
HAWK: Homing All the Way Killer  
HIPIR: High Intensity Pulse Illuminator  
IFF: Identification Friendly/Foe  
IR: Infrarrojo  
JISR: Joint Intelligence Surveillance and Reconnaissance  
MADOC: Mando de Adiestramiento y Doctrina  
OTAN: Organización del Tratado del Atlántico Norte  
PAR: Pulse Acquisition Radar  
RAC-3D: Radar de Adquisición 3D  
RAM: Rocket Artillery and Mortar  
RBA: Red Básica de Área  
RCS: Radar Cross Section  
RF: Radiofrecuencia  
RPAS: Remotely piloted aerial systems  
SAM: Surface To Air Missile  
SBAD: Surface Based Air Defense  
SHORAD: Short Range Air Defense  
SNR: Signal to Noise Ratio  
TBM: Tactical Ballistic Missile  
TDL: Tactical Data Link  
UAS: Unmanned Aerial Systems  
UDAA: Unidad de Defensa Antiaérea  
UE: Unión Europea  
UTMAAA: Unidad de Transmisiones del Mando de Artillería Antiaérea  
V-SHORAD: Very Short Range Air Defense

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

El sistema HAWK (Homing All the Way Killer) es un sistema de misiles de Artillería Antiaérea de medio alcance de guiado radar semi-activo; es decir, que utiliza ondas de radiofrecuencia para guiarse hacia el objetivo emitidas por una fuente externa al misil. Este sistema emplea cinco sensores radar para cumplir su misión: dos radares de exploración; un radar secundario de identificación amigo/enemigo (IFF); y dos iluminadores de pulsos radar. En el apartado de Estado del Arte se desarrolla más en profundidad la función de cada uno de estos radares.

También es necesario hablar del concepto “Fuerza 2035”, el marco donde se plantea la visión de la evolución de las capacidades de las FAS para ese año. El concepto Fuerza 2035 es la visión del EMAD (Estado Mayor de la Defensa) sobre las capacidades, medios y doctrina que deben haber implementado las Fuerzas Armadas para esa fecha, y enmarca los ámbitos terrestre, naval, aéreo y de ciberdefensa. En el apartado de la defensa aérea, se propone la adopción de nuevos radares con capacidad multifunción. Otro concepto que está ganando protagonismo y sobre el que se centra este trabajo es el de fuegos en red. Este concepto, cuya doctrina aún está en desarrollo, consiste en la capacidad de integrar distintas unidades de DAA (defensa antiaérea) bajo un mando táctico capaz de emplear cada medio productor de fuego de la manera más eficiente y con la rapidez necesaria en cada situación. A efectos prácticos, permite por ejemplo que se puedan emplear los sensores de una unidad de fuego para realizar el seguimiento y control de fuego de misiles de una unidad diferente, lo que ofrece una gran flexibilidad y agilidad a la par que aumenta la seguridad puesto que no es necesario tener tantos sensores radiando (dificultando la detección electromagnética) (Ejército de Tierra, 2019) (Presidencia del Gobierno, 2017).

El sistema HAWK lleva en uso en las FAS desde los años sesenta y a lo largo de su vida operativa ha sido sujeto a mejoras y actualizaciones. Para poder mantener este sistema en uso dentro del concepto de la Fuerza 2035 es necesario, por una parte, adoptar nuevas plataformas multifunción (radares) que potencien las capacidades de las Unidades, liberen la carga logística y de personal y permitan a las unidades de este sistema de armas integrarse totalmente en los fuegos en red; así como modificar las actuales BCPs y principalmente los COAAS-M<sup>1</sup> para adaptarlos a estos nuevos sensores y al sistema de mando y control asociado, con un énfasis en la Inteligencia Artificial y la hiperconectividad (Ejército de Tierra, 2019) entre todos los elementos. Para integrar a las Baterías HAWK en el sistema de fuegos en red (desarrollado en el apartado correspondiente del Estado del Arte), que es el objetivo de este trabajo, sería muy beneficioso contar con uno de estos sensores multifunción, ya que los actuales radares del HAWK no se idearon para esa finalidad y sólo son capaces de lograr una integración dentro de una UDAA (unidad de defensa antiaérea) de manera limitada, aunque eficaz (MADOC, 2004) (MADOC, 2004).

Pero ¿Qué es un sensor multifunción? Aunque este concepto se desarrolla más extensamente en el apartado de estado del arte, a grandes rasgos se trata de un sistema radar que puede ser fácilmente configurado para cumplir distintos tipos de misión gracias a unas prestaciones que le dan mucha versatilidad. Para la Batería HAWK esto se traduciría en que los cometidos de todos o casi todos los radares de la unidad los llevaría a cabo un solo aparato, en lugar de los cinco actuales, con el consiguiente alivio en las necesidades logísticas y de personal.

Como se ha mencionado antes, la adopción de estos sistemas multifunción acarreará unas ventajas sustanciales que proporcionarían a las unidades antiaéreas y especialmente a las que emplean el misil HAWK una efectividad mucho mayor a la actual, así como una vida útil más larga. En primer lugar, el hecho de que este sensor sustituya a varios de la Batería tendría un impacto directo sobre la logística. Actualmente la Batería requiere un camión para cada radar, a

---

<sup>1</sup> Centro de Operaciones de Artillería Antiaérea Semiautomático Medio



excepción del IFF que va montado sobre la BCP. Al adoptar un sensor multifunción, solamente sería necesario un vehículo. También simplificaría enormemente las labores de mantenimiento, puesto que disminuiría el número de referencias en los repuestos y el personal podría especializarse por completo en este sensor en cuestión. Y, por último, la adopción de este sensor favorece la tendencia actual en el Ejército de emplear el mínimo personal indispensable (Ejército de Tierra, 2019): en vez de un equipo o pelotón para cada uno de los radares (MADOC, 2020), se necesitaría solamente uno. Algunos de los modelos recogidos en este trabajo sólo requieren de dos operadores para funcionar.

Por último, una ventaja muy sustancial que presentan estos sistemas son sus propias prestaciones: alcance, resolución, capacidad de procesado de la señal, etcétera. Los radares que utiliza hoy en día el HAWK fueron diseñados en los años 50 del S. XX, y hoy en día no son tan eficaces frente a la actual amenaza, que requiere de sensores de gran precisión y con procesadores muy potentes para poder hacer un seguimiento de, por ejemplo, misiles balísticos o aeronaves no tripuladas de pequeño tamaño. Además, los propios aparatos llevan en uso mucho tiempo y debido a ello, sus componentes están desgastados, lo que puede acarrear averías o fallos en momentos críticos del combate. Un sistema nuevo eliminaría este problema y permitiría al HAWK alargar en gran medida su vida útil.

Sin embargo, para implementar estos sistemas de manera que se puedan aprovechar al máximo las capacidades que ofrece no basta con adquirirlos y dotar a las Baterías con ellos. Es necesario también actualizar y potenciar las comunicaciones entre los sensores, las BCPs y los FDC (Fire Director Center) del sistema COAAAS-M donde esté integrada la Batería. De esta manera, se logrará una integración más potente, con la suficiente velocidad en la transmisión de datos para hacer frente de manera eficaz a la amenaza aérea actual y del futuro próximo.

## 1.2 Objetivos y Alcance

El objetivo general de este trabajo es analizar la adaptación del sistema HAWK al uso de nuevas plataformas multifunción para su empleo dentro del sistema de fuegos en red, para que así mantenga su operatividad en los próximos años. Los objetivos específicos son:

- Analizar las prestaciones y las carencias que presenta el sistema HAWK actualmente, para identificar las necesidades de la Batería en cuanto a sus
- Identificar un sensor multifunción que supla las carencias previamente analizadas, potencie la eficacia de la Batería aliviando la carga logística y de personal de la Unidad, así como la eficacia de sus medios, y que pueda ser empleado dentro del sistema de fuegos en red.
- Determinar los cambios necesarios en las comunicaciones y la configuración actual de la Batería y la UDAA<sup>2</sup> para realizar la integración total del sistema.

Este trabajo pretende determinar la manera en la que el sistema HAWK mejore sus capacidades gracias a la adopción de un nuevo sensor y la adaptación al sistema de los fuegos en red, a través de sus propios medios y los del COAAAS-M. Se propondrá un modelo de radar a adoptar y una vía de potenciar la conectividad e integración de las unidades en la red de fuegos. La modernización y mejora del sistema podría dar pie a varios trabajos, ya que hay muchas características del sistema que se podrían adaptar a la nueva amenaza y la actualización de los sensores y BCP es sólo una de ellas, pero este proyecto se centra solo en los aspectos previamente mencionados.

En este proyecto no se va a tomar en cuenta el aspecto económico de estas modificaciones. Esto es debido a que, por la particularidad de los sistemas evaluados y la forma en que los Estados lo adquieren, resulta imposible obtener un presupuesto de las empresas fabricantes ya que no tienen un precio fijo. Por lo tanto, no se va a valorar el precio de cada sistema en el análisis.

---

<sup>2</sup> Unidad de Defensa Antiaérea

### 1.3 Metodología

Para llevar a cabo este TFG se han realizado diferentes actividades, explicadas a continuación, para lograr los objetivos propuestos.

1. Realización de una encuesta a los cuadros de mando del GAAA I/74, acerca del estado del sistema HAWK. Sus puntos fuertes y carencias y también sobre las características que se deben valorar para calificar un sensor, así como la prioridad de estas.
2. Selección de la plataforma multifunción más adecuada para sustituir los sensores de la Batería HAWK mediante el método de los factores ponderados, en el que la ponderación de las características (factores) valoradas se habrá obtenido de los resultados de la encuesta mencionada en el punto 1.
3. Análisis de los cambios necesarios en las comunicaciones entre aparatos y puestos de mando (BCP, COAAAS) que permitan utilizar las unidades HAWK dentro del sistema de fuegos en red, y se determinará cómo debe ser el futuro puesto de mando de Batería y de UDAA que integrará por completo al sistema HAWK dentro de ese sistema.

### 1.4 Estructura del trabajo

El desarrollo de este trabajo consta de dos bloques diferenciados:

En el primero, el más extenso, se propone la adopción de un modelo de radar multifunción, para lo que se han realizado las siguientes actividades:

- Encuesta al personal del GAAA II/74, para determinar la situación actual del sistema HAWK y las características más relevantes de un radar para su evaluación como candidato
- Ponderación de las características del radar a evaluar, según su relevancia.
- Selección previa de ocho modelos de radar que cumplan con las especificaciones mínimas.
- Realización de un análisis de características mediante el método de factores ponderados para determinar el modelo de radar más idóneo entre los seleccionados previamente utilizando la información de los apartados anteriores.

En el segundo se expone la necesidad de adoptar determinadas actualizaciones en los puestos de mando de las Baterías (BCPs) para integrar plenamente el sistema en los fuegos en red y permitir a la unidad utilizar el máximo potencial de la plataforma multifunción adoptada. Este cambio se llevará a cabo mediante la actualización de los protocolos en los enlaces tácticos de datos. El apartado consta de tres partes:

- Explicación del concepto de enlace táctico de datos
- Explicación sobre la mejora de los actuales protocolos mediante la implementación del link-22
- Propuesta de adquisición de los módems DLM 3U y DLM 5U de la empresa Leonardo DRS, con capacidad de empleo de link-11 y link-22

## 2 ESTADO DEL ARTE

Para el desarrollo de este trabajo es necesario introducir una serie de conceptos que ayudarán al lector a situar el tema a tratar (la optimización de un sistema de armas de Artillería Antiaérea desde un enfoque en concreto, los fuegos en red) en un contexto claro. Estos conceptos van desde lo más amplio como la Defensa Aérea, a algo mucho más concreto como el propio sistema de armas HAWK.

### 2.1 Amenaza

En primer lugar, es necesario desarrollar cuál es, en esencia, el problema al que se enfrenta la DAA (Defensa Antiaérea): la amenaza aérea. El desarrollo y la evolución de esta es el principal motor de los avances en la tecnología y la doctrina de las unidades de Artillería Antiaérea, puesto que su existencia se debe a la necesidad de protección frente a los medios aéreos que emplee el enemigo. La evolución de esta amenaza durante el principio de siglo es muy rápida y variada ya que no sólo se aplica a los medios que se vienen empleando desde hace tiempo, como aeronaves de ala fija y rotatoria o misiles de crucero, entre otros, sino que también han aparecido nuevos elementos en el espacio aéreo de batalla. Además, el entorno operativo cada vez está más caracterizado por lo que se ha denominado “guerra híbrida” o “zona gris”, donde se suceden en corto espacio de tiempo y en el mismo terreno acciones de alta y de baja intensidad, lo cual dificulta la descentralización y por ende la agilidad en el empleo de las armas. (Ejército de Tierra, 2019) (Ministerio de Defensa, 2022) (Presidencia del Gobierno, 2017)

Lo que se conoce como amenaza convencional engloba las amenazas ABT (Air Breathing Target) que son los aviones y helicópteros de combate, y la amenaza misil (misiles de crucero y balísticos). En el primer caso, la evolución más importante se encuentra en las técnicas que dificulten la adquisición de la aeronave por los sistemas de detección y el seguimiento de los misiles antiaéreos. Estas técnicas pueden ser pasivas (disminución de la firma radar e IR) o activas (empleo de guerra electrónica). La dificultad de combatir la amenaza misil reside en su baja firma radar y en su gran velocidad, lo que limita el tiempo de reacción de las defensas antiaéreas enormemente. La aparición de misiles hipersónicos, que se desplazan a velocidades mayores a Mach<sup>3</sup> 5, acentúan este peligro en gran medida.

La denominada amenaza emergente introduce conceptos como “slow movers” y “renegade”, e incluye a los sistemas RPAS (Remote Piloted Aerial Systems) dada su gran proliferación y uso en combate de los últimos años. (MADOC, 2016) (MADOC, 2015)

Un Slow Mover es una aeronave de pequeñas dimensiones y firma térmica (como una avioneta civil recreativa o un parapente) que por su baja velocidad dificulta su detección por parte de radares que utilicen la frecuencia Doppler para localizar trazas y que han sido adaptadas para uso militar o terrorista. Son de bajo coste y de gran rentabilidad, y suelen seguir los planes de vuelo establecidos hasta el último momento, para no levantar sospechas.

Por su parte, un Renegade es una aeronave civil (principalmente aviones comerciales de gran tamaño) que es sospechosa de haber sido secuestrada con fines terroristas. Como el caso anterior, procuran mantener una actividad poco sospechosa hasta el momento en que actúan

---

<sup>3</sup>El número de Mach es el ratio entre la velocidad de un objeto en determinado medio y la velocidad del sonido en el mismo medio: 2,5 Mach equivale a una velocidad 2,5 veces mayor que la del sonido.

contra su objetivo, por lo que el tiempo de reacción es muy pequeño. El caso más representativo de esta amenaza es el ataque sobre el World Trade Center el 11 de septiembre de 2001.

En cuanto a los sistemas RPAS, es necesario hacer una distinción general entre sus tipos y su función. Los modelos militares más grandes, de gran alcance y elevada carga de pago, no se diferencian mucho de sistemas tripulados de capacidades parecidas en cuanto a la forma de combatirlos desde el suelo. Son los modelos más pequeños y ligeros los que han supuesto un cambio cualitativo en la peligrosidad de esta amenaza. Se trata de sistemas de un tamaño reducido y que se mueven a baja velocidad incluso pudiendo realizar vuelos estacionarios, lo cual dificulta enormemente su detección tanto por radar como visualmente. Pueden portar sistemas de visión y vigilancia muy avanzados, e incluso municiones de bajo peso. Hay modelos diseñados como municiones merodeadoras, que, al detectar un objetivo tras sobrevolar una zona, se dirigen a él para destruirlo con su cabeza de guerra. Este tipo de drones suele tener capacidad de funcionar en enjambre, multiplicando el peligro que suponen. Y por último, son muy accesibles económicamente, lo que permite que no solo estados, sino grupos terroristas y paramilitares puedan disponer de un gran número de estos sistemas. (GALLEGO, 2021)

## 2.2 Defensa aérea y antiaérea

La Defensa Aérea (AD) es una actividad, generalmente conjunta, cuyo objetivo es el control del espacio aéreo en una zona de operaciones e incluye distintas áreas funcionales: vigilancia, mando y control, defensa aérea activa y defensa aérea pasiva. El término “conjunta” indica que en esta actividad toman parte tanto componentes terrestres como navales y aéreos, donde cada uno tiene un mando, subordinado al Jefe de la AD (en España, generalmente, este mando recae sobre un Teniente General del Ejército del Aire).

El funcionamiento de la AD se basa en el establecimiento de un Sistema de Defensa Aéreo (ADS), compuesto según los planes del mencionado Jefe de la AD y que debe responder a las siguientes necesidades: (MADOC, 2015)

- Apoyar a la consecución de los objetivos del jefe conjunto proporcionando protección al despliegue
- Apoyar la conducción de operaciones y el posterior repliegue de fuerzas
- Participar en la gestión del espacio aéreo.
- Proporcionar la defensa aérea de puntos o zonas que se determinen.

Este Sistema de Defensa Aéreo está formado por los siguientes tres elementos: sistema de mando y control, sistema de vigilancia e identificación y sistemas de armas. Como se ha mencionado, este Sistema es de carácter conjunto, por lo que esos elementos los componen tanto medios terrestres, aéreos y navales, que han de integrarse en una red de transmisión de datos, órdenes e informes que permitan la conducción de las operaciones de AD. Una integración robusta y que permita una comunicación ágil es una de las claves para que el ADS sea eficaz contra la amenaza aérea, y es uno de los puntos a tratar por este trabajo, aunque a un nivel más bajo que se desarrollará después.

La AD se basa también sobre una serie de principios, que son también clave para plantear la solución que busca este trabajo; son los siguientes: (MADOC, 2015)

- Control de la situación aérea.
- Negar la inteligencia.
- Alerta temprana.
- Defensa en profundidad.
- Integración de la defensa aérea.
- Planeamiento centralizado y ejecución descentralizada.

Los principios más relevantes para el ámbito de este proyecto son el segundo, tercero, quinto y sexto. Más adelante se desarrollará en detalle estos conceptos y se explicará de qué modo la hipótesis propuesta favorece el empleo de estos principios.

Como se ha mencionado antes, la AD tiene un carácter conjunto. Esto también significa que hay un componente aéreo y un componente de superficie, los cuales han de complementarse para hacer frente a la amenaza, puesto que cada uno es más eficaz en un tipo de misión, de manera que las limitaciones de un componente son compensadas por las capacidades del otro, y viceversa. La Defensa Aérea basada en superficie es, lógicamente, la que se tratará más en profundidad en este trabajo al versar sobre un sistema SAM (Surface to Air Missile). Esta parte de la AD se denomina defensa antiaérea (DAA).

La Defensa Antiaérea, por tanto, cumple una necesidad dentro del ADS:

*“la capacidad del ADS no puede asegurar completamente que la amenaza aérea no vaya a superar la defensa que suponen los interceptadores propios u otros sistemas, y pueda atacar objetivos en tierra o unidades terrestres.”* (PD3-311 Defensa Antiaérea, MADOC).

Se manifiesta la necesidad de contar con unos medios antiaéreos capaces de hacer frente a la amenaza aérea, que está en constante evolución.

La DAA sigue, al igual que la AD, unos principios de aplicación, muy relacionados con los mencionados anteriormente: son los de masa, armas complementarias, movilidad e integración; este trabajo afecta principalmente al segundo y sobre todo al cuarto, el cual desarrollaremos a continuación ya que de él parte uno de los conceptos claves que se tratan, el sistema de fuegos en red.

El principio de integración consiste en la sincronización y coordinación horizontal y vertical de las operaciones militares, a través de actividades, medios y procedimientos. Esta integración se aplica entre la DAA y la organización operativa terrestre a la que pertenece, con el ADS y el sistema de control del espacio aéreo, y entre los distintos sistemas de armas de AAA reunidos en una UDAA. Es en este ámbito donde aparece el término “fuegos en red”:

*“Este concepto propugna la integración en una misma “red” de todos los medios que intervienen en la defensa aérea (sistemas de vigilancia e identificación, sistemas de armas y sistemas de mando y control), bajo la supervisión de un sistema superior (red de redes). De este modo se puede compartir toda la información disponible en la red y agilizar la toma de decisiones.”* (PD3-311 Defensa Antiaérea, MADOC).

Este concepto busca potenciar la agilidad en el mando y control de las unidades antiaéreas, mediante una coordinación rápida y una transmisión de datos rápida entre las unidades. Esta rapidez en la transmisión de datos demuestra ser cada vez más crucial a medida que evoluciona la amenaza aérea, debido al escaso tiempo de reacción que dejan amenazas tales como los misiles hipersónicos o las aeronaves furtivas. Todo ello junto al grado de centralización de las unidades de DAA hacen imprescindible que la transmisión de datos y órdenes sea prácticamente instantánea.

Por otra parte, el principio de armas complementarias consiste en integrar sistemas de armas de DAA de distintos alcances y funciones para hacer frente a todo el espectro de la amenaza, manteniendo una adecuada economía de medios (concepto importante en la SBAD (Surface Based Air Defense) debido al elevado coste de las municiones guiadas y la disponibilidad de municionamiento). Este concepto también está estrechamente relacionado con los fuegos en red y con la evolución de la amenaza aérea.

Al encontrarnos en un ambiente en el cual en un mismo espacio de batalla las fuerzas propias se enfrentan a una amenaza aérea muy variada, donde pueden coincidir en tiempo y espacio operaciones aéreas enemigas, ataques con misiles de largo alcance, uso de RPAS y aparición de slow movers, es crucial disponer de un sistema de defensa aéreo capaz de enfrentarse a ella empleando de forma eficiente sus medios disponibles en el momento preciso. Lo primero se conseguirá, como se ha mencionado antes, con una integración de los medios ágil y robusta,

mientras que la eficiencia vendrá dada por el empleo de los medios adecuados para cada tipo de amenaza.

## 2.3 Fuegos en red

El concepto de fuegos en red es de reciente creación y todavía no hay una doctrina donde se desarrollen los procedimientos estándar para llevarlo a cabo. Sí está definido como concepto, así como varias acciones y cambios que se deben adoptar para lograr lo que se busca con este concepto.

*“Este concepto propugna la integración en una misma “red” de todos los medios que intervienen en la defensa aérea (sistemas de vigilancia e identificación, sistemas de armas y sistemas de mando y control), bajo la supervisión de un sistema superior (red de redes). De este modo se puede compartir toda la información disponible en la red y agilizar la toma de decisiones.”* (PD3-311 Defensa Antiaérea, MADOC).

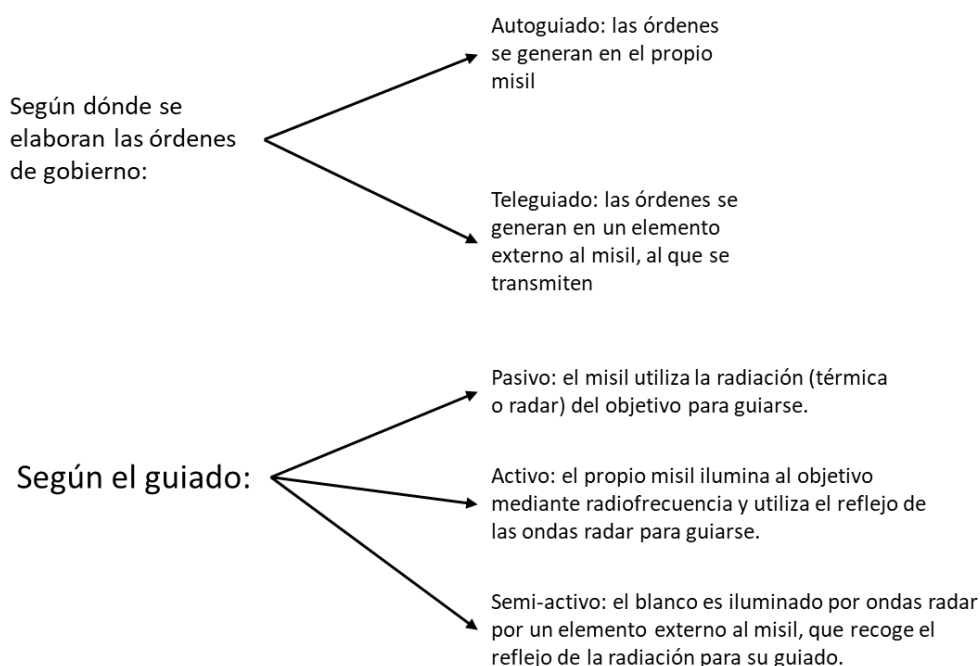
De esta manera, se busca lograr una integración de los medios antiaéreos tal que, de manera centralizada, se pueda emplear el medio adecuado en el momento determinado para batir cada amenaza que se presente. Este es un reto importante para la Artillería, principalmente porque en una situación donde la autoridad de empeño se encuentra en un escalón elevado, el tiempo que transcurre entre la detección de una traza y el empeño de una unidad sobre ella puede ser excesivamente elevado. Para contrarrestar ese *hándicap*, este sistema de fuegos en red ofrecerá la agilidad necesaria para que desde que se toma la decisión desde el sistema superior (red de redes) hasta que la amenaza se bate, pase el menor tiempo posible, incluso pudiendo realizar el fuego desde un escalón superior a la unidad productora de fuego.

Todo esto sólo será posible actualizando y mejorando no sólo los procedimientos, sino también el material empleado por las unidades para las transmisiones de información tanto del espacio aéreo como de las órdenes. Por ejemplo, mediante la adopción en la Batería de un sensor multifunción y mediante la actualización y mejora de la transmisión de datos entre unidades dentro de una UDAA. (Guerrero, 2020) (Ejército de Tierra, 2019)

## 2.4 Sistemas SAM

Para este trabajo, los sistemas de armas de Artillería Antiaérea son los SAM: *Surface to Air Missiles*. En la doctrina de las FAS, este término se define como sistema de misiles superficie-aire de grandes y medias alturas; técnicamente, el término puede referirse a cualquier misil superficie-aire, pero se emplea de este modo para diferenciarlo de los sistemas SHORAD o V-SHORAD (*Short Range Air Defense* y *Very Short Range Air Defense*, respectivamente), entre los que está el misil Mistral, con un alcance máximo de 3000m. El HAWK, por lo tanto, pertenece a esta categoría de sistema SAM debido a su alcance mucho mayor (40 km). (MADOC, 2016)

Otro aspecto importante de los sistemas de misiles antiaéreos es su clasificación por su sistema de guiado. En primer lugar, pueden ser de guía infrarroja o vía radar. Los primeros son misiles pasivos (es decir, no radiantes) que detectan la firma térmica del objetivo para guiarse, mientras que los segundos utilizan ondas radar para ese fin. Dentro de esta categoría hay una gran variedad de sistemas de guiado, principalmente en referencia a dónde se encuentran la fuente de esa radiación y dónde se encuentra el elemento que elabora las órdenes de gobierno del misil. La clasificación se describe en la siguiente figura:



*Ilustración 1: clasificación de misiles según el sistema de guiado. Fuente: elaboración propia.*

En el caso del sistema HAWK, se trata de un misil de autoguiado semi-activo: un iluminador radar, el AN/MPQ-57 HIPIR (*High Intensity Radar Illuminator*) dirige un haz de ondas radar hacia el blanco, y la cabeza buscadora situada en la proa del misil recoge el reflejo de esas ondas para elaborar las órdenes que ejecutará la timonería para dirigirse hacia el objetivo. Este funcionamiento implica, entre otras cosas, que se requiere de la iluminación terrestre al blanco hasta que el misil detona, y que no puede haber más misiles en el aire de los que pueden controlar los iluminadores, algo que limita la capacidad del sistema en comparación con otros de tipo “dispara y olvida”

## 2.5 El sistema HAWK

El misil MIM-23 HAWK es un misil antiaéreo desarrollado en los años 50 del siglo XX por la empresa americana Raytheon como sucesor del MIM-14 Nike Hércules. Entró por primera vez en servicio en 1959 con el US Army y ha sido utilizado en numerosos conflictos a lo largo de su vida operativa, como la guerra de Vietnam o la guerra del Golfo. Como ejemplo de su uso, los iraníes emplearon unidades HAWK contra la aviación iraquí durante la guerra que enfrentó a ambos países en la década de los ochenta, logrando derribar hasta tres docenas de aeronaves iraquíes. (Military Watch, 2019)

En cuanto al funcionamiento del sistema y la organización de las unidades que emplean este misil, es importante mencionar que, según la doctrina de las FAS, la Unidad Mínima de Generación del HAWK coincide con la Unidad de Tiro<sup>4</sup>, y es la Batería. El material que emplea la Batería<sup>5</sup> es el siguiente: (MADOC, 2004) (MADOC, 2004) (MADOC, 2004) (MADOC, 2020)

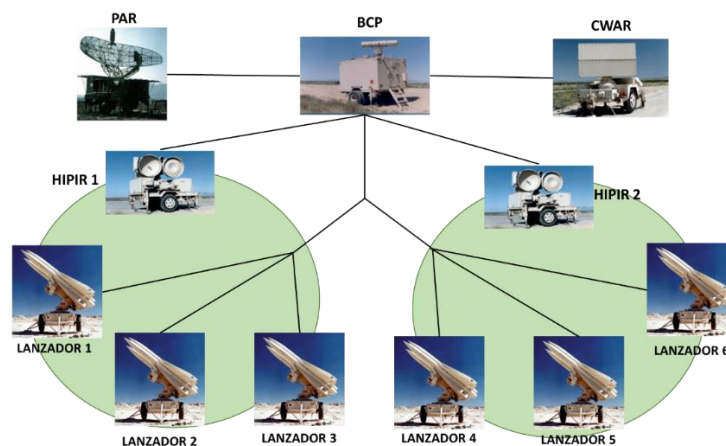
<sup>4</sup> La Unidad de Tiro es la mínima unidad de artillería capaz de ejecutar una acción de fuego, y cuenta con todos los medios necesarios para realizar la secuencia de fuego completa. La Unidad Mínima de Generación (UMG) es aquella unidad por debajo de la cual no debe emplearse un sistema de armas sin peligro a degradar sus capacidades operativas. Nunca puede ser inferior a la Unidad de Tiro. Puede integrar elementos de mando, de fuego y logísticos. (Academia General Militar).

<sup>5</sup> El material mencionado es en la configuración ideal de la Batería; aun así, el sistema puede funcionar con un número menor de componentes.



- Un puesto de mando de Batería (BCP: “Battery Command Post”) desde el cual se lleva a cabo el control del fuego y el combate en tiempo real
- Un radar de pulsos de adquisición de objetivos (PAR: “Pulse Acquisition Radar”), con un alcance de 110 km
- Un radar de onda continua de adquisición de objetivos (CWAR: “Continuous Wave Acquisition Radar”) con un alcance de 80 km
- Dos iluminadores de alta potencia para el seguimiento del objetivo y guiado del misil (HIPIR: “High Power Illuminator Radar”), con un alcance de 80 km
- Seis lanzadores de misiles (tres asociados a cada uno de los HIPIR) con tres misiles cada uno. El misil alcanza una velocidad de 2,5 Mach, con un alcance de 40 km y techo de 18.

El despliegue del material en la Batería se realiza de la forma que se puede ver en la Ilustración 2:



*Ilustración 2: despliegue de la Batería HAWK PIP-III. Fuente: elaboración propia a partir del PD4-315*

## 2.6 Sensores multifunción

Por sensor multifunción se entiende un sistema radar que, en lugar de estar diseñado para cumplir una función específica, cumple diversos cometidos y puede configurarse para distintos tipos de misión con facilidad, a nivel operativo. Se trata de sensores que pueden actuar como radar de exploración de diversas clases de traza (según su resolución angular y en distancia), y a la vez realizar un seguimiento de varias trazas en simultáneo obteniendo datos sobre el tipo de amenaza, velocidad, posición o incluso grado de peligrosidad. Por ejemplo, el mismo sistema radar según su configuración puede utilizarse para localizar orígenes de fuego y puntos de arribada de munición de artillería como para detectar y realizar el seguimiento de un misil balístico desde muy largo alcance. Muchos llevan incorporada capacidad de identificación IFF mediante módulos secundarios y algunos modelos pueden funcionar como radares de control de tiro.

## 2.7 Antenas AESA y tecnología GaN

Otro aspecto importante en el estudio de los sensores es el tipo de antena. Los radares más antiguos emplean antenas de tipo parabólica o cosecante cuadrado, como es el caso de los radares del HAWK. Sin embargo, casi la totalidad de los sensores más modernos utilizan antenas que mejoran en gran medida las prestaciones para una potencia dada, gracias a su diseño.

La tecnología radar actual se basa principalmente en antenas *phased array*, o “Active Electronically Scanned Arrays” (AESA) (Patrick Schuh, 2018), que, en lugar de utilizar un emisor y receptor parabólico, como los que emplea el HAWK en sus sensores actualmente, emplea una matriz de células electrónicas en la que cada una de ellas genera un haz de radiofrecuencia que puede modularse y orientarse independientemente. Este tipo de antena ofrece una serie de



ventajas frente al modelo de antena parabólica lo bastante importantes para que sea el sistema empleado en todos los nuevos sensores radar militares. (Bliley Technologies, 2017)

Dentro del ámbito de los radares AESA ha habido otro importante desarrollo tecnológico, en este caso sobre los materiales. Se trata del empleo de semiconductores basados en el Nitruro de Galio (GaN) (DAVIDE RESCA, 2014) (Patrick Schuh, 2018), que están empezando a sustituir los utilizados previamente, que estaban basados en compuestos de Silicio o Arsénico.

Este cambio se debe a varias causas, principalmente que permiten fabricar transistores muy robustos, de gran eficiencia energética y propiedades térmicas excelentes, así como un voltaje de ruptura más alto que otros transistores lo cual los hace resistentes. Estas características son clave en la tecnología radar, donde se busca una ganancia alta con un consumo bajo y una alta velocidad de cambio de estado. (Wolfspeed, 2020)

### **3 ANÁLISIS DE LA ENCUESTA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES**

#### **3.1 Realización de la encuesta**

En este apartado se va a realizar un análisis sobre las características a valorar sobre los modelos de radar multifunción que se han preseleccionado (ver anexo III). Se utilizarán los resultados de la encuesta (ver anexo VI) para determinar la ponderación de estas características en la elección del modelo. La encuesta se divide en tres bloques: el primero relativo a las características de los encuestados, desde la pregunta 1 a la 4, el segundo sobre la situación actual del HAWK, desde la pregunta 5 a la 9 y el tercero para conseguir la ponderación que se empleará en el análisis de factores posterior, a través de la pregunta 10, que se tratará en el apartado 4 del TFG.

De esta encuesta se determinará no sólo el orden de prioridad de las características valoradas sino también la necesidad o idoneidad de sustituir los sensores de la Batería HAWK para asegurar su operatividad en el futuro y mejorar sus prestaciones y carga logística.

**Resultados:**

##### **3.1.1 Primer bloque: preguntas relativas a los encuestados:**

- A la encuesta han contestado un total de 9 oficiales y 3 suboficiales del GAAA II/74.
- De media, los encuestados llevan 4,52 años en unidades que emplean el sistema HAWK, con un mínimo de 3 meses (1 encuestado) y un máximo de 13 años (1 encuestado) y una desviación estándar de 3,59 años.
- Todos han asistido al menos a un curso sobre el sistema, según su puesto dentro de la unidad (los oficiales cursos de oficial táctico, y suboficiales cursos de operador)

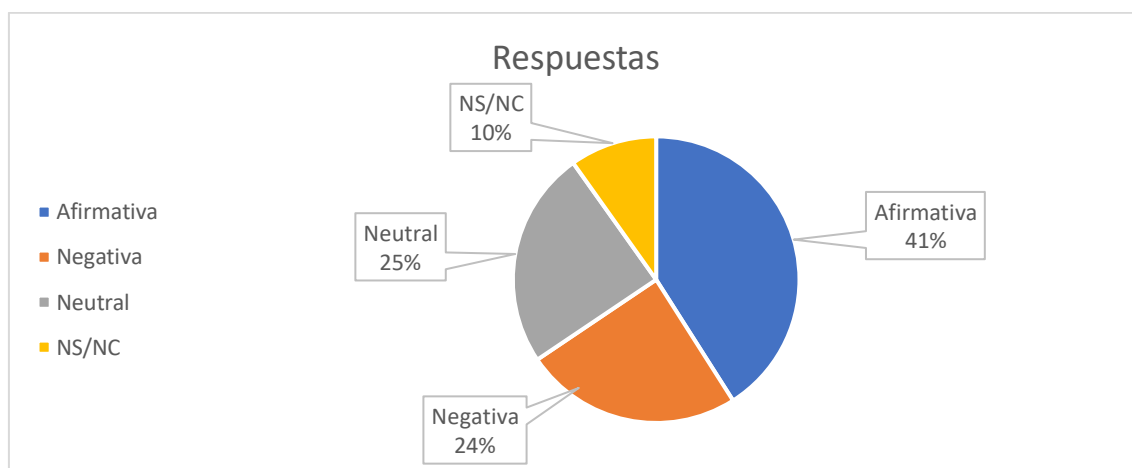
De esta primera parte se concluye que el personal encuestado tiene la suficiente cualificación y experiencia relativos al sistema de armas en cuestión como para que sus respuestas sirvan como base al estudio que se desarrollará más adelante.

##### **3.1.2 Segundo bloque: preguntas relativas al estado del HAWK**

Pregunta 5: “¿Cree que los sensores de que dispone la Batería HAWK pueden asegurar la operatividad del sistema en el futuro cercano?” los encuestados contestaron lo siguiente:

- 1 encuestado dejó la respuesta en blanco.

- 5 encuestados contestaron afirmativamente de forma explícita, de los cuales 2 condicionaron esa respuesta a un mantenimiento eficaz y uno puntualizó que el sistema en su conjunto no puede.
- 3 encuestados contestaron negativamente de forma explícita, aludiendo a los fallos que presentan los sensores y a la escasez de repuestos.
- 3 encuestados respondieron sin decantarse por una opción u otra, pero mencionaron los problemas del sistema para hacer frente a una COMAO<sup>6</sup>, así como el problema que presenta la antigüedad del sistema y de la escasez de repuestos; se plantea la necesidad de mejora de las capacidades y una posible sustitución.



*Ilustración 3: Distribución de respuestas a la pregunta 5 de la encuesta*

Las respuestas a esta pregunta dan pie a varias conclusiones: el sistema HAWK, que ha sido altamente eficaz durante su vida útil, se ve muy limitado por la disponibilidad de repuestos y la antigüedad de los elementos radar. Por lo tanto, para asegurar la eficacia del sistema en el futuro próximo se estima necesaria la adopción de nuevos sensores que eliminen ese *hándicap*.

Pregunta 6 “**Ordene los distintos sensores del sistema HAWK según la prioridad de actualización (siendo el 1 para el de mayor prioridad).**” Busca determinar qué sensor necesita más urgentemente una actualización, ya sea porque sea un elemento crítico en el funcionamiento de la Batería o porque la operatividad de este sea demasiado baja. Se obtuvieron las respuestas reflejadas en la siguiente tabla:

*Tabla 1. Resultados de la pregunta 6 de la encuesta.*

PRIORIDAD DE ACTUALIZACIÓN					
SENSORES	1ª (4 PUNTOS)	2ª (3 PUNTOS)	3ª (2 PUNTOS)	4ª (1 PUNTO)	PUNTUACIÓN
PAR	4	1	3	4	29
CWAR	1	6	4	1	31
HIPIR	6	3	3	0	39
IFF	1	2	2	7	21

*Fuente: elaboración propia*

A cada nivel de prioridad se le ha asignado una, la cual se multiplica por el número de ocasiones en las que en la encuesta se le asigna esa prioridad a cada sensor. La suma da la puntuación total del sensor: a mayor puntuación, mayor prioridad de actualización.

<sup>6</sup> Una COMAO (operación aérea compuesta) es una operación aérea en la que participan un elevado número de aeronaves, con cometidos especializados (MADOC, 2015)

Se puede apreciar que el sensor con mayor puntuación es el HIPIR, y le siguen en orden descendente el CWAR, el PAR y el IFF.

El HIPIR, por tener una función indispensable para la guía del misil en vuelo (MADOC, 2004) y estar diseñado, al igual que el propio misil, para trabajar de forma conjunta, ha obtenido la mayor puntuación. Este sensor es un componente crucial para la Batería. Sin embargo, no hay en el mercado un radar multifunción que lo pueda sustituir hoy en día, precisamente por lo exclusivo de su diseño; en consecuencia, la actualización de este aparato requiere una modernización de este, no una sustitución, por lo que no será el objeto de este trabajo.

El IFF, por otra parte, es el que se ha considerado menos urgente actualizar. Esto es en gran medida debido a que la Batería rara vez necesita hacer uso de él ya que generalmente la identificación de las trazas viene asignada por una unidad superior en la que se integra la unidad. Sin embargo, el uso cada vez más extendido de modos más avanzados de IFF de los que disponen actualmente las Baterías HAWK hace evidente la necesidad de adaptarlas a esa evolución. Por ello los sensores escogidos para este trabajo disponen de los modos IFF 5 y S.

En cambio, el CWAR y, a continuación, el PAR, además de tener una puntuación muy parecida, es también notablemente más alta que la del IFF. Estos dos sensores cumplen una función muy importante en la Batería, la exploración a baja y alta cota respectivamente (MADOC, 2004) (MADOC, 2004). A pesar de que en una UDAA se le pueden inyectar trazas a la BCP desde el COAAAS-M, la Batería HAWK se apoya en estos dos sensores para la detección de los objetivos y su seguimiento y en situaciones en las que la Batería opera de forma autónoma son indispensables. Es por ello que, para mejorar las capacidades del sistema, estos dos sensores junto con el interrogador IFF son los que se deben sustituir por una plataforma multifunción que aune sus misiones y mejore sus prestaciones.

**Pregunta 7: “¿Sería ventajoso para la Unidad sustituir sus sensores actuales (PAR, CWAR, IFF) por un sistema multifunción, que cumpla los mismos cometidos, pero requiriendo el personal y el mantenimiento de un solo aparato? Valore del 1 (nada ventajoso) al 10 (muy ventajoso)”** Esta pregunta obtuvo las siguientes respuestas:

- 9 encuestados contestaron con una valoración de 10 sobre 10
- 1 encuestado contestó con valoración de 8 sobre 10
- 2 encuestados contestaron con una valoración de 7 sobre 10.
- La media de valoraciones es de 9.33 sobre 10, la desviación típica es de 1.23

Como se puede apreciar, todos los encuestados consideraron ventajosa la sustitución de estos radares por una plataforma multifunción. Las ventajas que ofrecería este cambio, como se mencionaba en la introducción, supondrían una mejora sustancial en la operatividad del sistema y en su longevidad.

**Pregunta 8: “Si la Batería está operando integrada en una UDAA, ¿qué orden, según su importancia, siguen los sensores? Siendo el 1 para el más importante y 4 para el menos.”**

El orden de importancia que ha resultado de las respuestas, siguiendo un método análogo al de la pregunta 6, es:

HIPIR (46 pts) > CWAR (34 pts) > PAR (18 pts) > IFF (17 pts).

Como se ha mencionado antes, la Batería que está integrada en una UDAA puede obtener información de las trazas de la unidad superior a través del RAC-3D, así como identificación IFF de las mismas; sin embargo, los radares de adquisición, principalmente el CWAR, han sido marcados como importantes (el IFF es el único que nunca ha sido situado por los encuestados en la primera posición). El HIPIR, por su parte, es crucial para la Batería en cualquier situación ya que es indispensable para realizar el guiado del misil y por ello se ha situado en primer lugar por un amplio margen (ver Anexo VI).

**Pregunta 9: “¿Y en una situación donde la Batería es autónoma?”**

En este caso los resultados no han estado tan claramente diferenciados. El orden ha sido el siguiente:

HIPIR (43 pts) > PAR (32 pts) > CWAR (30 pts) > IFF (21).

El HIPIR, indispensable para la realización del fuego en cualquier situación, vuelve a situarse en primer lugar. Sin embargo, el PAR y el CWAR han obtenido unos resultados muy similares: en esta situación la Batería requiere invariablemente la información que le proporcionan sus radares de exploración. Es digno de mención que el PAR se sitúa delante del CWAR ya que gracias a su mayor alcance puede proporcionar una alerta temprana más eficaz y dar más tiempo para el empeño de la unidad sobre la traza. El interrogador IFF, por su parte, vuelve al último lugar, pero con una diferencia menor: es necesario identificar correctamente la traza para evitar el fratricidio y una de las formas más rápidas es mediante este radar. La utilidad de este aparato aumenta cuanto más saturado de trazas está el espacio aéreo.

### 3.1.3 Tercer bloque: ponderación de características de un sensor

Pregunta 10: “**A la hora de mejorar las prestaciones de los sensores que emplea la Bía HAWK, ¿cuál sería el orden de prioridad (siendo el 1 para el prioritario)?**”

De las respuestas a esta pregunta se ha determinado la importancia relativa de las características que se han estimado relevantes para valorar los diferentes sensores estudiados. El método de ponderación y el cálculo de las puntuaciones en el análisis de factores ponderados se explica detalladamente en el Apartado 4.

La ponderación que resulta de este estudio es la siguiente:

1. El tiempo medio entre averías (fiabilidad) pondera un 20%
2. La movilidad táctica, un 17%
3. El número de trazas simultáneas en seguimiento, un 17%
4. La precisión (RCS) y tipos de amenaza detectables, un 14%
5. El techo y alcance, un 12%
6. Las funciones que cumple, un 10%
7. Por último, un apartado (denominado “otros”) donde se valoran aspectos del radar como sus modos IFF, sus sensores pasivos, el tipo de antena o cualquier observación positiva o negativa, puntúa un 10%.

## 4 PROPUESTA DE MEJORA

### 4.1 Propuesta de mejora: sensor multifunción que sustituya a los radares PAR, CWAR, e Interrogador IFF.

Dados los resultados de la encuesta, se estima necesario establecer una serie de cambios relativos a los sensores del sistema HAWK para asegurar su eficacia y operatividad frente a la amenaza actual, su evolución, y las tendencias hacia las que se encamina la AAA en su conjunto.

La propuesta de mejora consiste en la sustitución de los radares de la Batería HAWK (excepto el HIPIR) por un sensor multifunción que cumpla las funciones de los radares sustituidos y que además otorgue al sistema de unas prestaciones muy superiores, así como la capacidad de funcionar en un ambiente de fuegos en red.

A continuación, se presentan las ventajas de adoptar este tipo de sensores en una unidad HAWK, y de qué manera favorecerá a la efectividad del sistema y ampliará su vida útil.

Las ventajas que ofrecerá un sensor multifunción son varias. La Batería HAWK actualmente cuenta con 5 sensores: un PAR, un CWAR, dos iluminadores y un radar secundario IFF. Esto implica una carga logística alta, tanto del mantenimiento de 5 aparatos como de su transporte, ya que son elementos pesados que requieren de un vehículo para cada uno (excepto el IFF);

además, requieren un gran número de personal para su operación, en un tiempo en el que la plantilla de personal tiende a reducirse progresivamente. La adopción de un sensor que en un solo elemento cumpla varias de las funciones de estos sensores -o incluso todas- eliminaría este problema, puesto que sólo se necesitaría un equipo de operadores, un grupo electrógeno y un solo vehículo de transporte. El mantenimiento también se vería beneficiado por la adopción de un sensor multifunción.

Otro aporte que ofrece un sensor multifunción está relacionado con el concepto de fuegos en red, del que se hablará a continuación. Muchos de estos radares pueden detectar y seguir trazas de un espectro de la amenaza muy amplio según su configuración: alta, media o baja cota, SHORAD, V-SHORAD, slow-movers e incluso de tipo *Rocket, Artillery and Mortar* (RAM). Que una Batería, por ejemplo, de HAWK, integrada en una UDAA disponga de este tipo de sistema sería un gran paso en pos de este concepto, porque permitiría que las trazas que levanta sean combatidas por el sistema de armas más apropiado, al que irá encaminado a través del FDC del COAAS-M.

Hay otra razón más para adoptar un radar de estas características. Se debe tener en cuenta la evolución del estado del arte de los sistemas radar. La tendencia desde hace ya bastantes años se dirige hacia radares tipo *Active electronically scanned array* (AESA), dejando atrás las antenas parabólicas o de cosecante cuadrado, como por ejemplo la del PAR que utilizan actualmente las unidades HAWK. El último avance en la tecnología radar para este tipo de antena está siendo el uso de un semiconductor sólido basado en el Nitruro de Galio (GaN), que ofrece unas prestaciones muy altas en cuanto a eficiencia energética, alcance, precisión y relación señal a ruido (SNR), algo crucial para hacer frente a la evolución de la amenaza aérea, por el uso cada vez más extendido de aparatos muy pequeños (UAS de clase I) (FARROW, 2016), técnicas Stealth en aviones de combate o el empleo de municiones hipersónicas. Estos radares, además, son muy resistentes a las contramedidas electrónicas (ECM). Adoptar un sistema de este tipo puede alargar mucho la vida útil del sistema HAWK, puesto que al fin y al cabo la operatividad de la Batería depende en gran medida de la capacidad de sus sensores de detectar las amenazas, discriminarlas y realizar el seguimiento de ellas. Más adelante se explica más extensamente las ventajas que suponen este tipo de antenas y de semiconductores (Guerrero, 2020) (MADOC, 2004)

El desarrollo de la tecnología IFF tanto de nuestros aliados como de nuestros adversarios exige que nuestras unidades de DAA tengan radares secundarios que puedan seguir el ritmo de esta evolución, mediante el uso de los modos IFF 5 y S (Pablos, 2021). El radar que emplea el HAWK hoy en día no tiene esa capacidad, lo que limita, aunque de manera leve, la operatividad de este sistema de armas si no opera integrado en una UDAA, con acceso a información de la traza proporcionada por sensores IFF de la unidad superior.

Las antenas de escaneo electrónico activo, presentadas en el apartado de Estado del Arte de este trabajo, presentan una serie de ventajas importantes frente a las antenas clásicas, por lo que la práctica totalidad de radares de exploración y seguimiento como los que emplea el HAWK se fabrican ahora con esta clase de antena (Bliley Technologies, 2017).

En primer lugar, estos sensores AESA son más resistentes a las perturbaciones de tipo jamming: una técnica por la cual se emite una onda de RF a la misma frecuencia que el emite el radar para confundirlo. Los radares AESA combina funciones de saltos de frecuencia aleatorio con la capacidad de repartir esas frecuencias entre las distintas células emisoras por lo que incluso si alguna frecuencia está perturbada el radar podrá recibir datos de otra, libre de jamming, a través de otra célula.

Además, el funcionamiento de esta antena mediante pulsos de rápida sucesión en distintas frecuencias dificulta la detección y localización por parte de los receptores de alerta radar, al tener un efecto parecido al del ruido ambiental. Sin embargo, no se puede confiar en que la emisión de RF no vaya a ser detectada.

Otra gran ventaja de estos sistemas es la fiabilidad y robustez, una característica que los hace muy útiles para uso militar. Esto es debido a que al tener una matriz de módulos emisor/receptor, el fallo de uno sólo afecta de forma leve a la operatividad del sensor, que puede seguir radiando con los demás. Además, la capacidad de orientar los pulsos desde cada célula en lugar de

mecánicamente, moviendo la antena, además de simplificar la construcción del aparato evita las averías que pueden tener las antenas parabólicas en los servomotores. (MADOC, 2004) (MADOC, 2004)

Como se ha descrito anteriormente, dentro del desarrollo de las antenas de escaneo electrónico (AESA), la implantación de semiconductores basados en GaN ha permitido aumentar drásticamente las prestaciones de estas antenas en cuanto a alcance, precisión, eficiencia y tamaño. (Patrick Schuh, 2018)

Esto tiene como resultado que cuando estos semiconductores se utilizan en amplificadores (como los encontrados en las antenas AESA) se puede cubrir un ancho de banda muy amplio, necesario para obtener resoluciones altas y así poder detectar y discriminar blancos de sección recta radar (RCS) muy baja. Como se verá más adelante, esta característica es de gran importancia para los sensores multifunción, que deben de ser capaces de detectar una gran variedad de objetivos, algunos con una RCS de pocos centímetros cuadrados. (Wolfspeed, 2020)

Su alta tolerancia a altas y bajas temperaturas también es una ventaja importante, que otorga a estos sistemas una mayor robustez y la posibilidad de operar continuamente durante más tiempo antes de sobrecalentarse. Además, simplifica el diseño de la estructura que soporta los módulos ya que no requiere una difusión de calor tan eficaz. (Wolfspeed, 2020) (DAVIDE RESCA, 2014)

## 4.2 Sensores multifunción candidatos.

En este apartado se va a incluir una breve descripción de cada modelo y de su fabricante, así como los resultados del análisis ponderado, explicándolos. Por último, se desarrollará más extensamente sobre el radar que haya obtenido la mayor puntuación general y por ende sea el que se determine como objetivo de adquisición. Las características y prestaciones de los radares y sus valoraciones relativas se incluyen en el ANEXO I.

Se han seleccionado ocho radares para el estudio que cumplen con las cualidades mínimas deseadas: todos pueden realizar las funciones de los radares a sustituir, sin en ningún caso presentar prestaciones peores en alguna de sus características. Aunque existen muchos más modelos, gran parte de ellos presentan prestaciones claramente inferiores a los seleccionados, o se dispone de demasiado poca información acerca de ellos como para realizar un estudio fiable. Por otra parte, se ha considerado que ocho radares es un número apropiado para el estudio, con el fin de no hacerlo demasiado extenso ni demasiado estrecho.

Debido a las relaciones internacionales de España con el resto de los estados, y al historial de compras de sistemas de armas por parte de nuestro país a otros, todos los radares escogidos han sido desarrollados por países pertenecientes o cercanos a la OTAN (EEUU, países de la UE o Israel). No se han incluido sistemas de potencias como Rusia o China ya que, a pesar de disponer de radares multifunción modernos y de altas prestaciones, la adquisición de estos sería inviable.

Los radares seleccionados para el estudio han sido los siguientes:

### ***ELM-2084 MS-MMR (IAI Systems, Israel)***

Este radar es la última evolución de la familia de radares ELTA MMR, de la marca israelí IAI: Israel Aerospace Industries. Estos radares son principalmente conocidos por ser los que usan los sistemas Iron Dome, David's Sling y Barak, por lo que su efectividad está sobradamente

probada. Son radares capaces de generar una RAP<sup>7</sup> de alta calidad, discriminar un gran número de amenazas aéreas y ofrecen un diseño robusto. El modelo MS añade una nueva característica mediante la inclusión de diversos sensores pasivos, como una cámara térmica, que permiten al sensor realizar seguimiento de trazas de forma pasiva. (Israel Aerospace Industries, 2022)

IAI es la mayor empresa de material aeroespacial y de defensa de Israel, y aspira a convertirse en líder mundial en sus áreas de actividad. Lleva casi cincuenta años siendo proveedor de estos sistemas, no sólo para el Ministerio de Defensa Israelí sino también para muchos otros países. Es una empresa que invierte un importante capital en el desarrollo tecnológico. (International Astronautical Federation, 2022)

#### **TRML-4D (Hensoldt, Alemania)**

El radar TRML-4D es la respuesta de Hensoldt a los requerimientos de la OTAN sobre radares tácticos navales y terrestres. Presenta un diseño de tipo AESA con semiconductores basados en GaN. Hensoldt afirma que una de sus principales ventajas es la elevada eficacia en ambientes de mucho ruido y con gran densidad de trazas. Además, también anuncia una gran robustez del sistema y tiempo medio de reparaciones de menos de media hora, así como la función de auto-test para encontrar las posibles averías por lo que se trata de un radar con un mantenimiento no demasiado exigente. (Hensoldt, 2022).

Hensoldt es una empresa multinacional alemana centrada en la tecnología de defensa, seguridad y el sector aeroespacial. EN su propia página web se definen como uno de los líderes en el suministro de estos sistemas en todo el mundo, mencionando especialmente su papel en la protección de las tropas de la OTAN y del Bundeswehr.

#### **Kronos Land (Leonardo, Italia)**

El Kronos es un radar multifunción diseñado para detectar un amplio espectro de amenazas y para utilizarse dentro de una red de vigilancia aérea. Según el fabricante, está capacitado para integrarse con misiles tanto activos como semi activos. También tiene una gran capacidad C-RAM, tanto para localizar orígenes de fuego como para corregir el tiro de los fuegos indirectos propios. Además, su diseño exterior lo convierte en transportable por numerosos medios, incluidos camiones de transporte comerciales estándar, ya que su volumen total está dentro del ISO 20ft (Leonardo, 2022). La empresa Leonardo también destaca sus capacidades de IFF y EPM.

Leonardo S.p.A. es una empresa italiana de tecnología aeroespacial y de defensa, principalmente en las áreas de aeronáutica, helicópteros, defensa y seguridad electrónica y del espacio. Entre otros productos, ha desarrollado el helicóptero NH90, en servicio dentro del Ejército de Tierra español. (Leonardo, 2020)

#### **Giraffe 4A (Saab, Suecia)**

El radar Giraffe 4A, fabricado por SAAB, es otro modelo de radar capaz de detectar y discriminar numerosas amenazas. Combina los diseños de probada eficacia de los radares Arthur y Giraffe AMB, añadiendo nuevas características y mejorando sus prestaciones. Ofrece un altísimo alcance en el modo de vigilancia y gracias a su alta tasa de refresco, transmite información muy precisa de la traza a las unidades GBAD que lo empleen. Es desplegable en menos de 10 minutos y una de sus principales ventajas es la extrema robustez y fiabilidad (SAAB, 2020).

Saab, fundada en 1937, desarrolla sistemas tanto terrestres como navales y aéreos para defensa y seguridad. Es conocida por fabricar el avión de combate JAS-39 Gripen, desarrollado para las fuerzas armadas suecas y también utilizado por la República Checa, Hungría, Sudáfrica, Tailandia y el Reino Unido, demostrando ser un caza multirol de gran efectividad. Saab también

---

<sup>7</sup> RAP: Recognised Air Picture. Se trata de la capacidad de disponer, para un espacio aéreo determinado, toda la información acerca de la situación de todos los objetos presentes en el aire así como su identificación y datos de vuelo como rumbo, altura o velocidad.

es fabricante de sistemas terrestres, siendo la serie de radares Giraffe uno de sus productos más importantes. (SAAB, 2022)

#### **Ground Master 400 (Thales Group, Francia)**

Este modelo de la familia de radares franceses Ground Master tiene como principal característica su gran alcance. Puede detectar blancos a una distancia muy elevada mientras mantiene un seguimiento de trazas de pequeña RCS, tales como RPAS, que vuelen cerca del suelo o en condiciones de mucho ruido. Esto es gracias a la tecnología GaN, que otorga a este radar unas prestaciones muy superiores a sus predecesores con un cambio mínimo en su diseño. (Wolff, 2022) (Thales, 2021)

Thales Group es una empresa francesa que se sitúa en el octavo puesto en el ranking de empresas de tecnología militar más grandes. Su familia de radares Ground Masters utilizada por numerosos países, como Canadá, Estonia, Finlandia, Francia, India, Malasia y Eslovenia. (Thales, 2021)

#### **TPS-77 MMR (Lockheed Martin, EEUU)**

Lockheed Martin ha desarrollado el radar TPS-77, un sensor multifunción fácilmente configurable para misiones muy diversas que incluyen la vigilancia a largo alcance, la detección de RPAS, defensa aérea o alerta de TBM, entre otros. Tiene uno de los alcances más grandes de los sensores estudiados, con una probabilidad muy alta de detección de aeronaves de ala fija a distancias lejanas. Es capaz de procesar la información suficiente para realizar el seguimiento de 1500 trazas simultáneamente, lo que lo convierte en un sensor extremadamente capaz en ambientes de gran densidad de elementos aéreos. (Lockheed Martin, 2014)

Lockheed Martin, fundada en 1912, es una de las principales empresas fabricantes de material de defensa y aeroespacial de EEUU y del mundo. Esta empresa ha fabricado aeronaves tan emblemáticas como el avión de reconocimiento SR-71 Blackbird, el avión de transporte C-130 "Hércules" o los cazas F-16 "fighting Falcon" y F-22 "Raptor". También es la desarrolladora del caza de última generación F-35. Esta empresa obtiene aproximadamente la mitad de sus ventas anuales del Departamento de Defensa de EEUU. (Weiss, 2020)

#### **AN/TPS-80 G/ATOR (Northrop Grumman, EEUU)**

Este radar, que utiliza semiconductores basados en GaN en una antena de tipo AESA, es la respuesta a la necesidad del Cuerpo de Marines de los EEUU de sustituir los radares que empleaban hasta ahora: los AN/TPQ-46, OPS-3, AN/TPS-63, AN/MPQ-62 y AN/TPS-73. Entró en servicio en junio de 2019 y sus misiones incluyen tanto la vigilancia aérea a largo alcance como la detección de misiles balísticos, RPAS o amenaza RAM. También tiene la capacidad de integrarse en sistemas de misiles antiaéreos, proporcionando la suficiente información del blanco para el lanzamiento del misil. (Northrop Grumman, 2022) (Northrop Grumman, 2022)

Northrop Grumman es otra empresa americana fabricante de tecnología militar. Es conocida, entre otras cosas, por ser la fabricante del bombardero estratégico B-2 "Spirit" y del caza F-14 "Tomcat" así como muchas de las aeronaves utilizadas desde la IIGM en adelante por los EEUU y países aliados. En el ámbito de los radares, son pioneros en el uso de antenas AESA y tienen una amplia experiencia en el desarrollo de esa tecnología. (Northrop Grumman, 2022) (AMIR, 2013)

#### **LTAMDS (Raytheon, EEUU)**

El LTAMDS, o Ghosteye, es el radar multifunción que está desarrollando la empresa Raytheon. La principal característica de esta nueva gama de radares es que está diseñado para la defensa contra misiles hipersónicos, una de las amenazas aéreas más modernas y peligrosas. Tiene un tamaño y diseño exterior similar al radar del sistema PATRIOT, el AN/MPQ-65 (también fabricado por Raytheon) aunque con más del doble de potencia y una cobertura de 360° (mientras que su



predecesor sólo puede cubrir un sector de 120°). Está diseñado para ser empleado por sistemas similares al PATRIOT o al HAWK, sin embargo, no tiene una capacidad multifunción tan amplia como otros de los modelos seleccionados. (Raytheon Missile & Defense, 2022)

Raytheon es otra empresa americana de defensa. Especializada en sistemas de radar y misiles, ha fabricado, entre otros, el propio misil MIM-23 HAWK. También su sucesor, el PATRIOT, así como los radares empleados por ellos. Debido al empleo de misiles de Raytheon durante la Guerra del Golfo y a su buen desempeño en combate, la empresa ganó una notable reputación (ya de por sí grande) en el mundo de los fabricantes de armamento fuera de los Estados Unidos. (Raytheon Technologies, 2022) (weiss, 2016)

### 4.3 Método de puntuación de los radares multifunción.

Para el análisis ponderado se han seleccionado las características de los sensores más relevantes para el estudio, que son las que se han incluido en las tablas del Anexo III para situar las prestaciones y puntuación de cada radar. A continuación, se explica cada una y se justifica el porqué de su importancia.

#### 1. Tiempo medio entre averías / necesidades de mantenimiento.

Uno de los puntos más importantes de cualquier sistema es su mantenimiento. Precisamente una de las ventajas que a priori presenta la adopción de una plataforma multifunción sería la menor carga logística y de mantenimiento, como se ha mencionado en la introducción. Un sensor que tenga un tiempo entre averías elevado, un tiempo medio de reparación corto y que no requiera demasiadas horas de manto. preventivo anuales aportará una gran mejora en ese ámbito

#### 2. Movilidad.

Dentro de este apartado hay dos partes: la movilidad táctica y la estratégica. La movilidad táctica se refiere a la capacidad del sistema de ser desplazado con los medios propios de la unidad por el espacio de batalla. Aspectos como la velocidad de entrada en posición, o el tipo de transporte que requiere el aparato influyen en esta característica (por ejemplo, es necesario desmontar la antena del PAR para cambiar su asentamiento, lo cual ralentiza el proceso y le da una escasa movilidad). Si bien los sistemas SAM no basan su efectividad en la capacidad de moverse por el terreno, debido a su alcance, sí es un aspecto importante por su efecto en la supervivencia de la unidad.

En cuanto a la movilidad estratégica, este concepto se refiere a la facilidad de trasladar este material al teatro de operaciones desde Territorio Nacional. Los aspectos que influyen en esta característica son principalmente el peso y el volumen del sistema, ya que de ellos depende que se puedan trasladar por determinados medios (avión de transporte, tren, etc.)

#### 3. Número de trazas simultáneas en seguimiento.

Esta característica se refiere al número de objetos voladores detectados por el radar sobre los que puede proporcionar datos relevantes tales como rumbo, velocidad, tipo de traza o identificación, entre otros. Se trata de un aspecto de gran importancia en el ambiente actual, ya que se tiende a operar en espacios aéreos cada vez más saturados de trazas donde es tan importante la velocidad de reacción como la seguridad de realizar el empeño sobre la traza debida. Por ello es crucial disponer de un sensor capaz de realizar un seguimiento del mayor número de trazas simultáneas posible, a ser posible de todas las que entren en su alcance.

#### 4. Precisión y tipos de amenaza<sup>8</sup> detectables por el sensor.

---

<sup>8</sup> Ver subapartado "Amenaza" del Estado del Arte

La precisión de un radar se suele medir con la sección recta radar<sup>9</sup> (RCS) detectable, a mayor resolución, menor RCS y mayor precisión. Por norma general cuanto mayor es el alcance de un radar, menor es su precisión. Con una precisión elevada, se puede detectar un número más amplio de amenazas diferentes, y discriminarlas. Esta capacidad es crucial en el espacio de batalla aéreo actual, donde se pueden presentar amenazas de diversos tipos simultáneamente.

#### 5. **Techo y alcance.**

El alcance de un radar es la máxima distancia a la que consigue detectar trazas, y su techo, la máxima cota. Es importante disponer de sistemas que permitan detectar las amenazas lo antes posible y proporcionar una alerta temprana, para maximizar el tiempo disponible para reaccionar. En el ambiente actual, principalmente debido a la amenaza de municiones hipersónicas, la necesidad de detectarlas a una distancia muy elevada es clara, ya que es la única forma de contrarrestarlas a tiempo. De todas formas, esta amenaza no es el principal objetivo de una unidad SAM de las características del HAWK.

#### 6. **Funciones que cumple.**

Todos los radares seleccionados cumplen con los cometidos que llevan a cabo los radares PAR, CWAR e IFF. Sin embargo, disponer de funciones adicionales o que pueden beneficiar a otros sistemas de armas en un rasgo positivo en un sensor que se implemente en un sistema de fuegos en red, concepto clave de este trabajo, ya que no sólo estaría proporcionando información a una Batería HAWK sino a un conjunto de sistemas de armas integrados, siguiendo el principio de complementariedad de armas.

#### 7. **Otros.**

En este apartado se valoran aspectos del radar como sus modos IFF, sus sensores pasivos, el tipo de antena o cualquier observación positiva o negativa que no tiene un peso relevante como para entrar en el análisis de forma independiente pero que sí afectan a la calidad del sensor. El resultado de este apartado será mayor o menor dependiendo de cuántos aspectos positivos tenga frente a los negativos o los neutros. Disponer de sensores pasivos supone una capacidad para el sensor de realizar seguimiento de blancos sin emitir ningún tipo de radiación, lo cual ayuda enormemente a la supervivencia de la unidad; las antenas de tipo AESA construidas con semiconductores basados en GaN son mucho más eficientes y ofrecen mejores prestaciones que las que no emplean esos semiconductores, y mucho mejores que las antenas parabólicas.

---

<sup>9</sup> La RCS es una magnitud en unidades de superficie que se le asigna a un objeto y que representa la superficie circular que reflejaría la misma intensidad de ondas radar que dicho objeto. Este valor se puede modificar variando la geometría o los materiales empleados. Los objetos con una RCS muy pequeña son más difíciles de detectar ya que reflejan ondas de intensidad similar al ruido (o “clutter”)

8.

La ponderación de las características que valorar viene dada principalmente por los resultados a la pregunta 10 de la encuesta (ver Anexo VI) y que se incluyen en la siguiente tabla:

*Tabla 2. Resultados de la pregunta 10 de la encuesta*

prestaciones	primer lugar	segundo lugar	tercer lugar	cuarto lugar	quinto lugar
Alcance y techo del radar	2 veces	1 vez	2 veces	0 veces	7 veces
rsc detectable	1 vez	1 vez	7 veces	3 veces	0 veces
tiempo medio entre averías	3 veces	7 veces	0 veces	2 veces	0 veces
número de trazas simultáneas en seguimiento	3 veces	2 veces	1 vez	4 veces	2 veces
movilidad táctica (tiempo de despliegue)	4 veces	3 veces	1 vez	2 veces	2 veces

*Fuente: elaboración propia*

Para determinar el orden de prioridad de las características, se realizará el siguiente cálculo: el primer lugar lleva asociado un valor de 5, el segundo de 4 y así sucesivamente hasta el quinto con un valor de 1. Al multiplicar las respuestas que tiene cada radar por su valor correspondiente se obtendrá la puntuación. Así:

- Alcance y techo obtienen un resultado de 27 (quinto y último lugar)
- RCS detectable obtiene uno de 36 (tercer lugar)<sup>10</sup>
- Tiempo medio entre averías, de 47 (primer lugar)
- N° de trazas simultáneas en seguimiento, 36 (segundo lugar)
- Movilidad táctica, 41 (cuarto lugar)

Siguiendo los resultados de la pregunta 10 de la encuesta y las características seleccionadas, para la realización del análisis ponderado de características de los radares se seguirá la siguiente ponderación:

*Tabla 3. Ponderación de características*

Característica	Ponderación
Tiempo medio entre averías y necesidad manto. (fiabilidad)	0.20
Movilidad táctica	0.17
Número de trazas simultáneas en seguimiento	0.17
Precisión (RCS) y tipos de amenaza detectables	0.14
Techo y alcance	0.12
Funciones que cumple	0.10
Otros	0.10

<sup>10</sup> Aunque las características “RCS detectable” y “N° de trazas simultáneas en seguimiento” han obtenido el mismo valor, se considera prioritaria a la que ha sido situada en el primer lugar por un mayor número de encuestados

En cuanto a la puntuación de los radares para cada característica, se les dará un valor relativo comprendido entre -5 y +5; en el caso en que la característica valorada no haya sido especificada por el fabricante, se puntuará con un valor neutro (0).

La fórmula para calcular la puntuación general de cada radar se hará mediante una media ponderada de las puntuaciones en cada una de las características valoradas, siguiendo la siguiente fórmula:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \times P_i}{n}$$

Ecuación 1: Fórmula de la puntuación general en el análisis

Donde M es la puntuación general del radar, n es el número de características ponderadas,  $p_i$  la puntuación del radar en la característica "i" y  $P_i$  la ponderación de dicha característica en tanto por uno.

El resultado final se obtendrá al determinar qué modelo de radar ha obtenido la puntuación general M más alta. Ese radar será el indicado para sustituir a los que emplea la Batería HAWK hoy en día.

#### 4.4 Puntuación de las características de los radares multifunción.

En este apartado se describen las características técnicas de cada sensor, incluyendo la puntuación relativa obtenida en cada una. En el Anexo III se dispone de una tabla para cada sensor donde se puede comprobar dicha puntuación.

##### 4.4.1 ELM-2084 MS-MMR (IAI, Israel)

1. En la información técnica del radar no se disponía ni de la fiabilidad, por lo que en el este apartado obtiene una puntuación de 0.
2. En cuanto a movilidad, tanto táctica como estratégica son moderadamente altas por lo que se les asigna a cada una un valor de 2
3. El número de trazas es elevado, 1100, por lo que obtiene una puntuación de 4
4. Detecta un amplio espectro de amenazas por lo que se le asigna una puntuación de 3. Sin embargo, al no especificarse la precisión y puntuar ese aspecto con 0 puntos, la puntuación en esa característica se queda en la media aritmética de 1,5.
5. El alcance es largo, de 411km en vigilancia aérea y 100 en modo C-RAM; obtiene una puntuación de 3. El techo no se especifica, pero debido a su gran alcance en profundidad es lícito suponer que al menos supera el del PAR, con un alcance de 120 km.
6. Las funciones que cumple son las mínimas necesarias, puntuación 1.
7. Este radar cuenta con sensores pasivos optrónico y térmico, lo que se considera muy positivo; utiliza una antena AESA con semiconductores de GaN, también positivo; dispone de modo IFF aunque no lo especifica: neutral; dispone de medidas EPM avanzadas, según el fabricante, pero sin especificar. El radar ha sido probado en operaciones extensivamente demostrando una gran eficacia, como sensor empleado en el sistema Iron Dome israelí, entre otros. Puntuación en el apartado 7: 5 puntos

#### 4.4.2 TRML-4D (Hensoldt, Alemania)

1. La fiabilidad no se especifica, por lo que se puntúa con un 0.
2. La movilidad táctica es extremadamente alta, siendo desplegable en 10 minutos sobre camión: 5 puntos. La movilidad estratégica es aceptable, el radar se puede trasladar en un avión de transporte C-130: 2 puntos. La puntuación en el apartado 2 es de 3.5
3. Este radar puede mantener un seguimiento de un número de trazas extremadamente alto, 1500, por lo que obtiene 5 puntos en este apartado.
4. La RCS detectable es extremadamente pequeña, de hasta 0.01 m<sup>2</sup>, por lo que en el apartado de resolución obtiene 5 puntos; los tipos de amenaza que detecta son un número aceptable: 2 puntos. Puntuación total en el apartado 4: 3.5 puntos
5. El alcance y el techo son moderadamente elevados, lo que se traduce en una puntuación de 1 punto.
6. Cumple las mínimas funciones necesarias: 1 punto
7. No dispone de sensores pasivos; utiliza una antena AESA GaN; dispone de modos 5 y S en el interrogador IFF, aspecto muy positivo; no especifica las EPM aunque el fabricante afirma que son avanzadas. Puntuación en el apartado 7: 2 puntos.

#### 4.4.3 KRONOS Land (Leonardo, Italia)

1. La fiabilidad no se especifica, por lo que se puntúa con un 0.
2. La movilidad táctica es muy elevada, siendo desplegable en 10 minutos: 4 puntos. La movilidad estratégica es máxima, al estar dentro del estándar ISO 20ft y ser transportable por un camión estándar, helicóptero, avión, barco o tren: 5 puntos. La puntuación en movilidad es de 4.5
3. El número de trazas simultáneas es relativamente bajo, 300, por lo que obtiene -1 puntos
4. La precisión, aunque no se especifica, es lo suficientemente alta para detectar TBMs en ambientes de elevado clutter, según el fabricante, por lo que se le da 2 puntos. Detecta todos los tipos de amenaza relevantes: 5 puntos. La media en el apartado es de 3.5 puntos.
5. El alcance y techo, aunque notablemente superiores a los de los sensores actuales del HAWK, son relativamente bajos respecto a los demás sensores multifunción estudiados: 250 km y 30 km respectivamente. Puntúa con un 1 en este apartado.
6. Las funciones que cumple son las mínimas requeridas: 1 punto
7. Aspectos positivos: modos IFF 1, 2, 3/A, C y S; EPM avanzadas (no especificadas); requiere tan sólo de 2 operadores. Aspectos negativos: carece de sensores pasivos y utiliza semiconductores basados en GaAs, de prestaciones inferiores al GaN. Puntuación del apartado: 2.

#### 4.4.4 Giraffe 4A (Saab, Suecia)

1. Gran fiabilidad y robustez: 2500h de media entre fallos críticos y tiempo medio de reparación de 45 minutos: 4 puntos.
2. Movilidad táctica muy alta, desplegable en 10 minutos sobre camión: 5 puntos; movilidad estratégica aceptable, transportable por C-130: 2 puntos. Puntuación de movilidad: 3.5
3. Número de trazas simultáneas notablemente bajo en comparación con el resto de los sensores estudiados: tan solo 100. Puntuación: -3
4. Precisión: no se especifica RCS detectable pero el fabricante afirma que el radar es capaz de detectar trazas de RCS similar a la de un pájaro, y discriminar estos de micro-UAS, lo que supone una precisión extremadamente elevada, por lo que se puntúa con 5 puntos. En cuanto al espectro de amenazas, detecta aeronaves de ala fija y rotatoria, UAS de cualquier clase y RAM: 4 puntos. Puntuación en el apartado: 4.5
5. Alcance en profundidad alto, 400 km; el techo no se especifica, pero se estima mayor que el de los actuales sensores del HAWK: 3 puntos.
6. Las funciones que cumple son las mínimas requeridas: 1 punto

7. Aspectos positivos: sólo requiere 2 operarios y utiliza una antena AESA GaN. Aspectos negativos: no dispone de sensores pasivos. Puntuación: 3

#### **4.4.5 Ground Master 400 (Thales, Francia)**

1. Fiabilidad muy elevada, con un tiempo medio entre averías de 3000h y un requerimiento anual de 30h de mantenimiento: 5 puntos
2. La movilidad táctica es extremadamente baja, puesto que necesita una hora para desplegarse; por lo tanto, la puntuación es de -5. En cuanto a la movilidad estratégica, es muy elevada ya que entra en el estándar ISO 20ft por lo que puede ser transportado por gran cantidad de medios: 5 puntos. La puntuación total en movilidad es de 0.
3. El número de trazas simultáneas no se especifica, por lo que en este apartado se le dan 0 puntos.
4. La precisión no se especifica: 0 puntos; es capaz de detectar TBMs, aeronaves de ala fija y rotatoria, UAS y slow-movers: 3 puntos. La puntuación del apartado es de 1.5
5. El alcance es extremadamente amplio, de 515 km y un techo de 30, por lo que obtiene los 5 puntos en este apartado.
6. Las funciones que cumple son las mínimas requeridas: 1 punto
7. Aspectos positivos: Modos IFF 5 y S; antena AESA GaN. Aspectos negativos: carencia de sensores pasivos. Puntuación del apartado: 2 puntos

#### **4.4.6 TPS-77MMR (Lockheed Martin, EEUU)**

1. La fiabilidad es alta, con un tiempo entre averías superior a 2000h: 1 punto
2. La movilidad táctica es mediocre, con un tiempo de despliegue de 45 minutos, por lo que obtiene una puntuación de -3. La movilidad estratégica es buena: es transportable en C-130, helicóptero, camión y tren: 3 puntos. La puntuación total en movilidad es de 0.
3. El número de trazas simultáneas es extremadamente alto, 1500, por lo que puntúa con un valor de 5.
4. La resolución y precisión, pese a que según el fabricante son elevadas, no se especifica ni se describe por lo que se le da una puntuación de 0 puntos. Detecta un espectro de la amenaza aceptable: 2 puntos. La puntuación en el apartado es de 1.
5. El alcance y techo son muy amplios: 463 y 30 km respectivamente: 4 puntos
6. Las funciones que cumple son las mínimas requeridas: 1 punto
7. Aspectos positivos: modos IFF 5 y S, utilizando el interrogador Hensoldt MSSR2000; antena AESA GaN. Aspectos negativos: carece de sensores pasivos. Puntuación: 2

#### **4.4.7 AN/TPS-80 G/ATOR (Northrop Grumman, EEUU)**

1. La fiabilidad no se especifica por lo que en este apartado se puntúa 0.
2. La movilidad táctica es mediocre. Requiere de dos vehículos: 1 punto. Sobre la movilidad estratégica no se aportan muchos datos pero se estima elevada puesto que se diseñó para fuerzas expedicionarias: 3 puntos. Puntuación en movilidad: 2
3. No especifica el número de trazas simultáneas: 0 puntos.
4. La precisión no se especifica ni se describe, aunque el fabricante afirma que es alta: 0 puntos. Detecta un amplio número de amenazas, por lo que obtiene 3 puntos. La puntuación en este apartado es finalmente de 1.5.
5. Ni el alcance ni el techo se mencionan: 0 puntos
6. Las funciones que cumple son las mínimas requeridas: 1 punto
7. Aspectos positivos: antena AESA GaN, gran capacidad multifunción: se diseñó para sustituir a los radares que empleaba hasta ahora el USMC: el TPS-63, MPQ-62, TPQ-64, UPS-3 y TPS-73, por lo que la idea de su diseño es análoga a la hipótesis de este trabajo. Aspectos negativos: carece de sensores pasivos. Puntuación en el apartado: 3 puntos.

#### 4.4.8 LTAMDS (Raytheon, EEUU)

1. La fiabilidad no se especifica: 0 puntos.
2. La movilidad táctica es relativamente baja, debido al gran tamaño del radar, por lo que puntúa con -5 puntos. La movilidad estratégica no se menciona: 0 puntos. Puntuación en movilidad: -2,5.
3. El número de trazas no se especifica: 0 puntos.
4. La resolución no se especifica (0 puntos) aunque es capaz de detectar misiles balísticos y de crucero y aeronaves de ala fija y rotatoria: 2 puntos. Puntuación en el apartado: 1 punto.
5. El techo no se especifica; el alcance es relativamente bajo, de 100km: -2 puntos.
6. Las funciones que cumple incluyen, además de las requeridas, la de control de tiro para el misil PATRIOT, por lo que en este apartado obtiene 5 puntos.
7. Aspectos positivos: es un radar diseñado para sustituir el radar AN/MPQ 53/65 del PATRIOT (sucesor del HAWK), mejorando sus prestaciones. Utiliza una antena AESA GaN. Aspectos negativos: carencia de sensores pasivos. Puntuación en el apartado: 2.

## 4.5 Puntuación de los sensores multifunción

En la siguiente tabla se muestra la puntuación en cada apartado de los ocho radares seleccionados:

Tabla 4. puntuaciones relativas ( $p_i$ ) de los radares multifunción

	Fiabilidad	Movilidad	Trazas simul.	Precisión	Techo y alcance	Funciones	Otros
<b>ELM-2084 MS-MMR</b>	0	2	4	1,5	3	1	5
<b>TRML-4D</b>	0	3,5	5	3,5	1	1	2
<b>KRONOS Land</b>	0	4,5	-1	3,5	1	1	2
<b>Giraffe 4A</b>	4	3,5	-3	4,5	3	1	3
<b>Ground Master 400</b>	5	0	0	1,5	5	1	2
<b>TPS-77 MMR</b>	1	0	5	1	4	1	2
<b>AN/TPS 80 G/ATOR</b>	0	2	0	1,5	0	1	3
<b>LTAMDS</b>	0	-2,5	0	1	-2	5	2

Fuente: elaboración propia

En este apartado se muestra el resultado del análisis ponderado. Estos resultados se encuentran detallados en el Anexo 4, y se resumen en este apartado de la memoria mediante una serie de gráficas con las puntuaciones ponderadas de los radares y una tabla con las puntuaciones generales, con los radares ordenados en orden descendente según su resultado. Finalmente se comentará brevemente el resultado del estudio.

### 4.5.1 Gráficas de puntuaciones ponderadas.

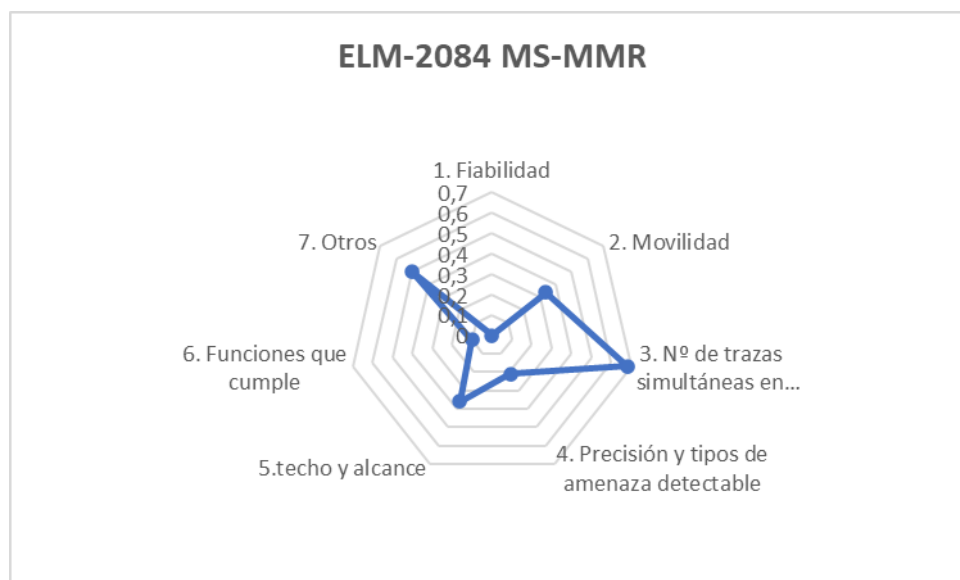
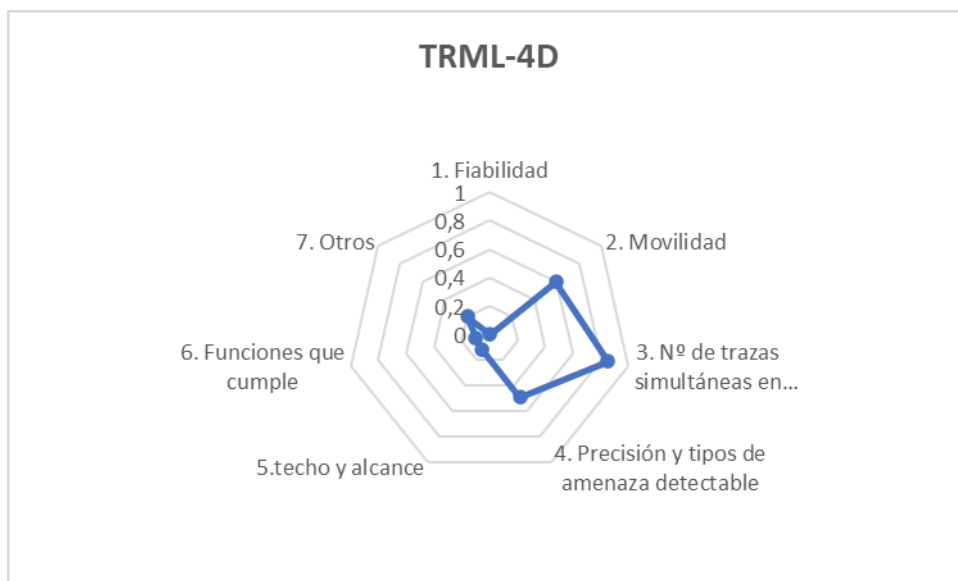
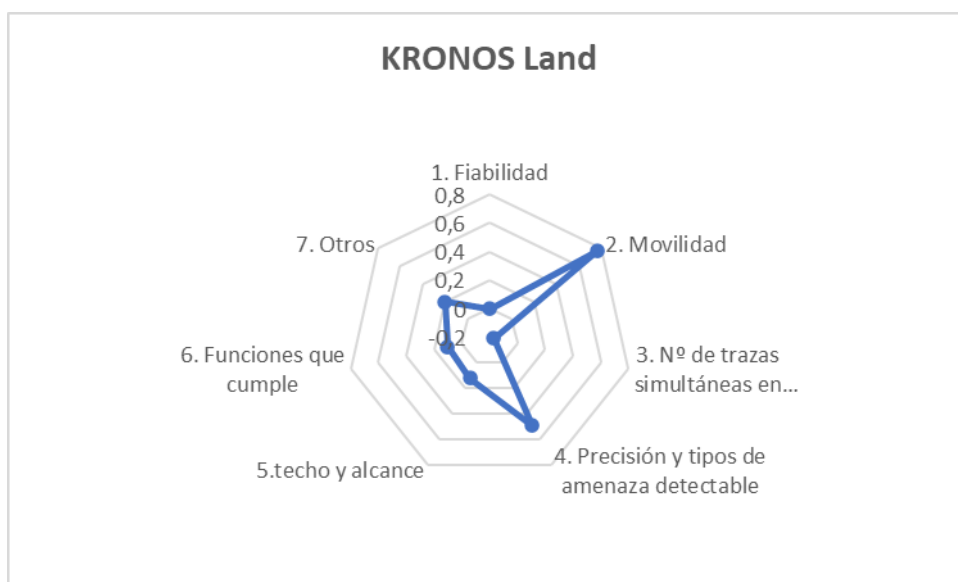


Ilustración 4: Características ponderadas del ELM-2084 MS-MMR

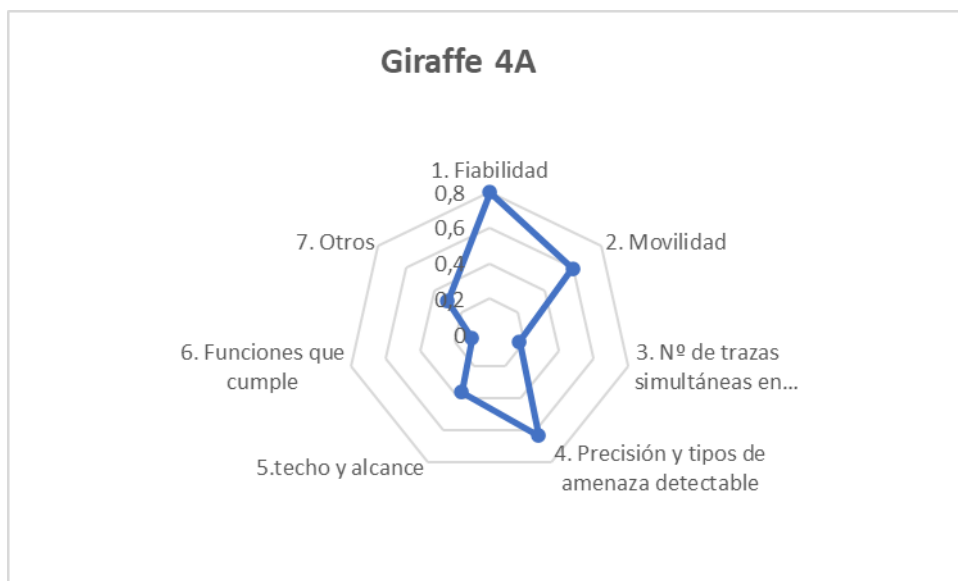




*Ilustración 5: Características ponderadas del TRML-4D*



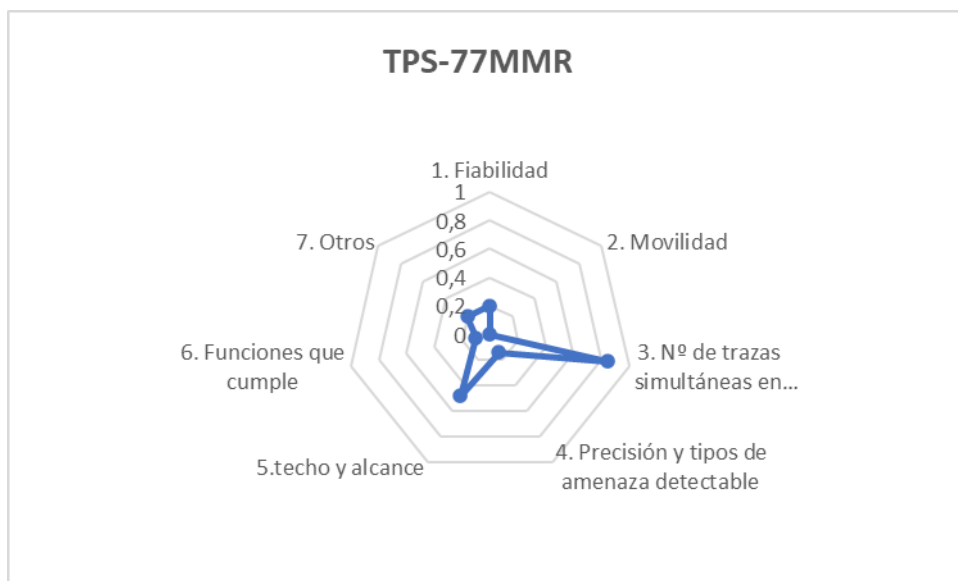
*Ilustración 6: Características ponderadas del KRONOS Land*



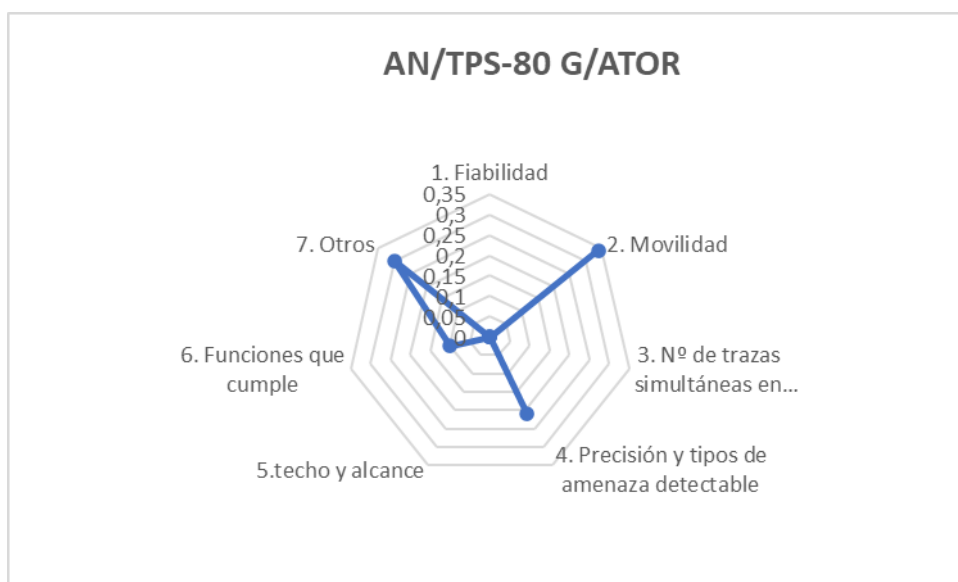
*Ilustración 7: Características ponderadas del Giraffe 4A*



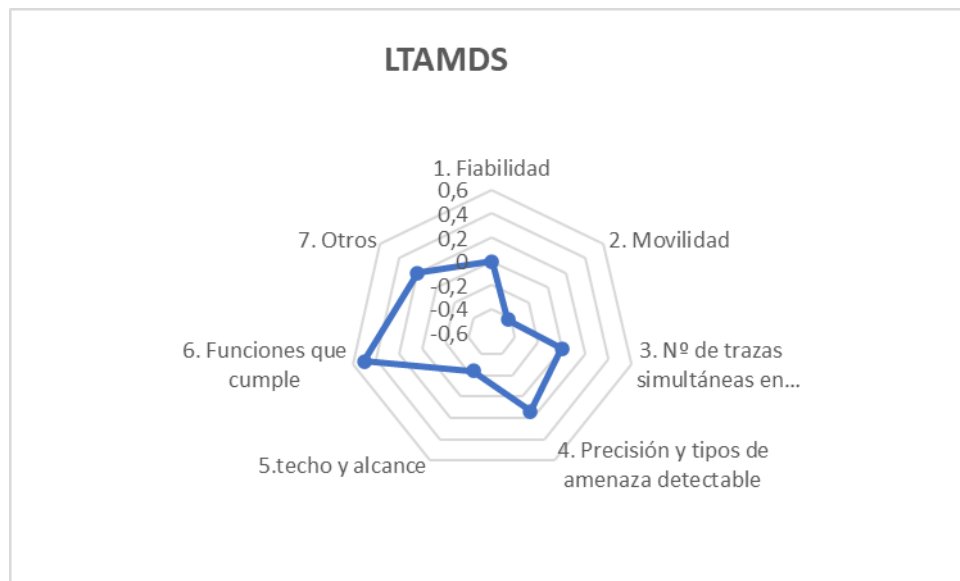
*Ilustración 8: Características ponderadas del Ground Master 400*



*Ilustración 9: Características ponderadas del TPS-77 MMR*



*Ilustración 10: Características ponderadas del AN/TPS-80 G/ATOR*



*Ilustración 11: Características ponderadas del LTAMDS*

#### 4.5.2 Tabla de puntuaciones generales

En la siguiente tabla se ordena según la puntuación general a los radares estudiados, mostrando la puntuación general obtenida tras el análisis de características ponderado. En el primer lugar se encuentra el sensor que se ha demostrado más idóneo para ser adoptado por las unidades HAWK, según los criterios establecidos en este trabajo.

Tabla 5. Tabla 1: clasificación de los radares según su puntuación general (M)

RANKING	MODELO	PUNTUACIÓN GENERAL (M)
1	Giraffe 4A	0,42
2	TRML-4D	0,34
3	ELM-2084 MS-MMR	0,31
4	Ground Master 400	0,30
5	TPS-77 MMR	0,28
6	KRONOS Land	0,22
7	AN/TPS-80 G/ATOR	0,14
8	LTAMDS	0,03

*Fuente: elaboración propia*

Como se ve en la tabla anterior, el modelo que ha obtenido la mayor puntuación general es el Giraffe 4A, de la firma noruega Saab. Pese a no tener la capacidad de procesar un número muy alto de trazas simultáneamente en seguimiento (aunque sigue siendo un número más elevado que los actuales medios que emplea la Batería HAWK), ofrece unas características excepcionales en los apartados de fiabilidad y movilidad, ambos de gran importancia para una unidad de misiles SAM. También muestra unas prestaciones muy buenas en cuanto al alcance y sobre todo la precisión, gracias a la antena array con semiconductores basados en GaN.

Cabe mencionar que en el resultado ha influido la disponibilidad de información sobre las prestaciones de algunos modelos en algunos apartados (en cuyo caso han puntuado con un 0). Es posible que, de saber con certeza todas las características, modelos que han puntuado bajo como el LTAMDS, que aún está en desarrollo, hubiesen obtenido un resultado más alto. Sin embargo, al ser imposible realizar una estimación fiable de estas y al ser todos los radares seleccionados candidatos aceptables (puesto que mejorarían las capacidades actuales de la Batería), el procedimiento es eficaz y se ha obtenido un resultado determinante, con el Giraffe 4A a la cabeza.

La capacidad de desplegarse en menos de 10 minutos con una tripulación muy reducida (tan solo requiere de dos operadores) implica un avance muy significativo frente a los 45 minutos que se emplea como mínimo en desplegar los sensores actuales; tarea que, por otra parte, requiere de un mayor número de personal del que se dispone en muchas ocasiones, lo que alarga aún más el proceso de puesta en estación.

En cuanto a la fiabilidad, el fabricante hace hincapié en el elevado tiempo medio entre averías, 2500 horas, y menciona también el tiempo medio de reparación de menos de 45 minutos. Estos datos supondrían un cambio radical en la dinámica de las unidades HAWK, cuyos medios actuales requieren de un elevado y exigente mantenimiento y sufren averías, si no frecuentes, desde luego mucho más frecuentes que las 2500 h de intervalo que anuncia Saab. Esto favorecerá en gran medida a la Unidad de Reparaciones, ya que además de estas ventajosas características que ofrece el radar, el mantenimiento se realizaría sobre un solo aparato en lugar de cuatro, y la disponibilidad de repuestos será mucho mayor.

El Giraffe 4A también destaca, como se ha mencionado, en los apartados de alcance y precisión, gracias al uso de la moderna tecnología GaN. Pese a no especificar el techo, es de suponer que tiene al menos el mismo que el PAR, al tratarse de un radar mucho más moderno y tener un alcance en distancia más del doble de largo (300km frente a los 120 del PAR), lo que lo convierte

en un elemento de alerta temprana muy eficaz (algo de gran ayuda para hacer frente a la amenaza de misiles hipersónicos, como se ha mencionado en el apartado de estado del arte). Pero lo que verdaderamente hace destacar este radar frente al resto es su elevada precisión. El fabricante afirma que este radar es capaz de detectar blancos con una RCS muy pequeña, como pájaros y micro-UAS<sup>11</sup>, y lo más importante: el sistema es capaz de discriminar unos de otros en un ambiente de saturación de trazas. Esta característica ofrece una ventaja muy significativa teniendo en cuenta que en la actualidad un RPAS de esta clase puede ser equipado con elementos de visión tales como una cámara térmica. Ser capaces de detectar estas aeronaves en cualquier ambiente y neutralizarlas puede suponer negar la inteligencia al adversario, y hacer frente a una amenaza muy presente en el campo de batalla actual y potencialmente muy peligrosa.

Con todo, el Giraffe 4A es un sensor multifunción que cumple con creces los requerimientos establecidos y que permitirá al sistema HAWK prolongar su vida operativa hasta 2035, así como favorecer la potencia de combate de las UDAAAs donde se integre. Por lo tanto, este modelo representa la elección más idónea en cuanto a la adopción de un nuevo sistema multifunción dentro de las Baterías HAWK.

## **5 CAMBIOS PROPUESTOS EN LOS SISTEMAS DE MANDO Y CONTROL**

El otro aspecto importante a la hora de adaptar el HAWK al sistema de fuegos en red está en las comunicaciones. En el ambiente actual, como se ha mencionado anteriormente, es vital una transmisión rápida de información, garantizando la robustez de la señal y la seguridad de la transmisión. En el caso del HAWK Actualmente la BCP del HAWK materializa su enlace mediante medios RBA, RCT o satélite; son proporcionados por la UTMAAA, ya que las unidades HAWK no poseen los equipos necesarios para realizarlos (MADOC, 2015). Estos enlaces son en los que se centra el apartado. Limitar los cambios en adoptar un sensor potente sin actualizar de forma acorde las comunicaciones supondría un cuello de botella que evitaría poder aprovechar plenamente las capacidades que ofrecen dichos sensores y por lo tanto perjudicarían la eficacia y operatividad de los sistemas de armas. Por ello en este apartado se propone una mejora que potencie las comunicaciones entre la BCP y el escalón superior. (MADOC, 2013) (MADOC, 2004)

La propuesta consiste en actualizar el protocolo empleado en los tactical data link (TDL), el Link-11B, al nuevo Link-22, paralelamente a lo que están haciendo varios países de la OTAN. A continuación, se explica en qué consisten estos protocolos y qué ventaja supondrá actualizarlos a la nueva versión.

### **5.1 Concepto de Tactical Data link**

Los TDL son conexiones que siguen un estándar de la OTAN para proporcionar un enlace de datos entre dos terminales. Son una solución para la necesidad del mando de ejercer el mando y control de las unidades implementando el concepto JISR: Joint Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (inteligencia, vigilancia y reconocimiento conjuntos). Las principales actividades que lleva a cabo el proceso JISR a través de los TDL son, entre otras: la alerta temprana, inteligencia e integración terreno/enemigo, información de los objetivos, información para evaluación de riesgos y protección de las tropas. (SyntheSys Defence, 2022)

Estos sistemas, por lo tanto, se pueden utilizar para diversas funciones según dónde y cómo se empleen. Por ejemplo para vigilancia aérea, guerra electrónica, coordinación y control de fuegos o control aéreo, las cuales son de gran importancia en unidades de DA. (Guerrero, 2020)

---

<sup>11</sup> Dentro de la clasificación de los RPAS según su peso, los micro-UAS pertenecen a la clase 1 y son los más ligeros y pequeños de todos, con un peso menor a 5 kg. (GALLEGO, 2021)

## 5.2 Del link-11B al link-22

Los protocolos TDL que emplean hoy en día las unidades HAWK son el link-11 y el link-11B, cuyas aplicaciones incluyen: para el link-11, proveer transmisión de datos para compilación de imágenes y transmisión de órdenes; para el link 11B, específico para defensa aérea, son la transmisión de información táctica entre sistemas basados en superficie (SBAD), sistemas de vigilancia y de mando y control, y entre otras unidades que empleen el protocolo link-11.

La principal limitación que presentan estos protocolos es que al ser desarrollados en los años 50 y 60, se idearon para tecnología 8-bit y con una velocidad limitada de entre 600 y 2400 bps. A medida que se requiere de un ancho de banda y de velocidades de transmisión cada vez mayores para transmitir volúmenes de datos cada vez más grandes con mucha rapidez<sup>12</sup> se hizo patente la necesidad de actualizar los sistemas de transmisión de datos. De esa necesidad surgió la segunda generación de TDLs (Link-16 y Link-22), desarrollada para ordenadores de 16bit y con una velocidad de entre 2400 bps y 1Mbps (ANCA STOICA, 2016). La OTAN puso en marcha el programa NILE: NATO Improved Link Eleven (Portal de Tecnología e innovación del Ministerio de Defensa, 2013) en el que participaron varios países miembros, incluida España, para desarrollar un nuevo estándar de comunicaciones que incluyese el protocolo link-22. Este proyecto buscaba la sustitución de los link-11 por este nuevo protocolo, y sus objetivos incluían el desarrollo del hardware necesario así como la capacidad de integrarlo en los sistemas de combate. En 2008 las primeras pruebas de comunicación empleando este protocolo se realizaron en España.

## 5.3 Prestaciones y ventajas que ofrece el link-22.

Las mejoras que el protocolo link-22 ofrece son varias. Para empezar, una de las razones por las que se desarrolló, además de las mencionadas, fue la seguridad. A diferencia del Link-11, este tiene la capacidad EPM de utilizar un modo de salto de frecuencia y así dificultar enormemente la interceptación de la información transmitida. Otra, también importante, es la capacidad de mantener el enlace sin visión directa, lo que permite establecer comunicaciones más allá de la línea de visión, hasta un alcance de 300 millas náuticas en modo HF. La robustez del sistema también es uno de los principales factores, permitiendo la transmisión de datos en ambientes adversos y en el caso de que algún terminal se caiga de la red. A continuación, se detallan la mayoría de las mejoras que ofrece el protocolo, así como una comparación directa entre las prestaciones del link-11 y el link-22. (ANCA STOICA, 2016)

### 1. Frecuencias.

El protocolo link-22 se diseñó para ocupar las mismas bandas de frecuencia que el link-11, por lo que las radios que utilizan el protocolo actual podrán emplear el nuevo. Los terminales UHF podrán establecer comunicaciones con visión directa, mientras que los HF podrán hacerlo también sin ella, a un alcance de hasta 300 millas náuticas.

### 2. EPM.

En el modo UHF, el sistema dispone de capacidad anti-jamming<sup>13</sup> mediante salto de frecuencia, entre terminales sincronizados de forma horaria. Desarrollos posteriores incluirán esta capacidad también en el modo HF.

---

<sup>12</sup> Por ejemplo, en el ámbito de este trabajo, la información del espacio aéreo que proporciona cualquiera de los sensores multifunción estudiados es mucho mayor que la que transmiten los radares actuales del HAWK. Sin una transmisión de datos adecuada, esa ventaja quedaría inutilizada al no llegar con la suficiente rapidez al escalón superior.

<sup>13</sup> El jamming es una técnica de guerra electrónica que consiste en distorsionar la señal de radiofrecuencia que llega a un receptor utilizando una onda diferente, de forma que al recibir ambas, el receptor no pueda decodificar la información

### 3. Modulación de onda

La capacidad de modular la señal permite al link-22 transmitir en condiciones desfavorables, aunque a una velocidad menor. Los parámetros de esta modulación pueden ser seleccionados manualmente o de forma automática.

### 4. Relé automático

A diferencia del link-16, el link-22 no requiere de terminales que operen específicamente como relé sino que cualquier terminal utilizará su propia capacidad para retransmitir la señal recibida. Esta característica contrarresta la limitación de alcance que supone la transmisión LOS (line of sight) en modo UHF.

### 5. Gestión de la red

Esta función está altamente automatizada, lo cual agiliza los procesos y permite prescindir de un operador dedicado a esa función. La gestión se realiza a través de dos estructuras: la Super Network Management Unit (SNMU), responsable de la arquitectura general, y una Network Management Unit (NMU) responsable de la red local (por ejemplo la de un buque o una pequeña unidad) y que se integra dentro de la SNMU.

### 6. Estación de control de la red

El protocolo se ha diseñado con una estructura sin nodos, por lo que el sistema puede seguir manteniendo la red si un terminal o incluso una red local se cae, lo cual otorga una gran robustez a la red. Ejerce el control de la red de forma autónoma.

A continuación, se incluye una tabla que compara directamente las principales características de los protocolos link-11 y link-22:

*Tabla 6. Comparativa de características entre Link-11 y Link-22*

Function/ Specification	Parameters/Advantages/Limitations	
	Link 11	Link 22
Network Access	<ul style="list-style-type: none"><li>- Increased net cycle times</li><li>- Large access delay</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- TDMA access</li><li>- Prioritization of messages feature</li></ul>
Emergency calls	<ul style="list-style-type: none"><li>- No options</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Priority Injection feature</li></ul>
Capacity	<ul style="list-style-type: none"><li>- Limited number of participants (62)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- More units (125)</li></ul>
Area of Operation (Network Coverage)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Limited area</li><li>- Dependence of the platforms and their positions</li><li>- Units must be all connected with the NCS</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- No limitation (it uses the WGS-84 System);</li><li>- Increased area of operation;</li><li>- Flexible network;</li><li>- LOS and BLOS capabilities;</li><li>- Routing&amp;relay protocols.</li></ul>
Communication Security	<ul style="list-style-type: none"><li>- Low encryption level</li><li>- Weak security.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Strong encryption system.</li><li>- Strong security.</li></ul>
Transmission Security	<ul style="list-style-type: none"><li>- Fixed HF or UHF frequencies;</li><li>- Jam vulnerabilities.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Frequency hopping solutions provide reliable communications;</li><li>- Fixed frequency communications are not so affected as Link 11 because of the multiple networks</li></ul>
NCS failure	<ul style="list-style-type: none"><li>- If NCS is down the entire network will be affected</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- No NCS required</li><li>- No single point of failure</li></ul>
Reliability	<ul style="list-style-type: none"><li>- Bad conditions could affect the transmission</li><li>- Limited waveforms availability</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Special mechanism for bad transmission conditions</li><li>- More robust waveforms</li></ul>
Bandwidth	<ul style="list-style-type: none"><li>- Limited Bandwidth</li><li>- Transmission rates from 1,090 bit/s to 1,800 bit/s</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Wider Bandwidth</li><li>- Transmission rates from 1,493 bit/s to 12,666 bit/s</li></ul>

*Fuente: "Mircea cel Batran" Naval Academy Scientific Bulletin, Volume XIX – 2016 – Issue 2*

Como cabía esperar, se puede apreciar cómo en todos los apartados (acceso a la red, llamadas de emergencia, cobertura, seguridad en las comunicaciones y en las transmisiones, fallo del sistema de control de la red, fiabilidad y ancho de banda) el link 22 ofrece unas prestaciones notablemente superiores al link-11.



## 5.4 Propuesta de adquisición.

Del contenido de los apartados anteriores se puede justificar la necesidad de disponer de terminales que empleen el protocolo link-22 en las unidades HAWK, más aún si se emplean las plataformas multifunción en la Batería, como trata este TFG. No se pueden aprovechar plenamente las ventajas que ofrece cualquiera de estas tecnologías si no se dispone de ambas. (SyntheSys Defence, 2022)

Leonardo, una empresa italiana mencionada previamente en el apartado 4 por ser el fabricante de uno de los radares multifunción estudiados, el KRONOS Land, ha logrado superar en agosto de 2021 las últimas pruebas de interoperabilidad de sus procesadores de señal con el protocolo link-22, cumpliendo las especificaciones del programa NILE, por lo que están capacitados para suministrar módems link-22 a usuarios a escala internacional. (Leonardo, 2021) (Leonardo, 2022)

Estos módems son los DLM 3U y DLM 5U. Sus principales características se muestran a continuación, obtenidas directamente del fabricante:

Especificaciones de los módem DLM 3U y DLM 5U

FEATURE	DLM 3U	DLM 5U
Operation	Software configurable simultaneous Link 11 and Link 22	
Link 11 Available Channels	0 to 2	0 to 4 (one channel of Link 11 available per channel processor card)
Link 22 Available Channels	0 to 4	0 to 8 (two channels of Link 22 SPC available per channel processor card)
Link 22 SPC	HF/UHF/UHF-EPM	
Serial Interface for Wireline and SATCOM	RS-423/232 Gateway (single-channel) HF/UHF to SATCOM/Wireline	
Standard Control Interface	Ethernet 10/100BaseT	
Optional control Interface for Single-Channel	RS-423/232: 9.6 kbps	
Control Software	Hosted on Windows® XP/7/10 and Linux	
Multi Media	Link 11 DTS Multi-media over HF/UHF radio and SATCOM/Wireline channels to support CLEW/SLEW/SATCOM	
Dimensions (HxWxD)	5.25 x 19 x 16 inches (13.3 x 48 x 40.6 cm)	8.7 x 19 x 11.7 inches (22 x 48 x 30 cm)
Weight	21 lbs	30 lbs.
Power	90-240 VAC 47 to 66 Hz 25 Watts (single channel) 33 Watts (multi-channel)	90-240 VAC 47 to 66 Hz 25 Watts (single-channel) 50 Watts (multi-channel)
Mean Time Between Failure (MTBF)	Over 11,600 hours per MIL-HDBK-217 F at +77°F (+25°C) Naval sheltered (single-channel)	
Mean Time to Repair (MTTR) (ORG level)	5 minutes	10 minutes
Mean Time to Repair (MTTR) (Depot level)	40 minutes	
Temperature, Operating	+32°F to +122°F (0°C to +50°C)	
Temperature, Non-operating	-58°F to +185°F (-50°C to +85°C)	
Shock	MIL-S-901, Grade A, Class 1, Type A	
Vibration	MIL-STD-167-1 Type 1	
Humidity	MIL-STD-810F Method 507.4	

Fuente: elaboración propia a partir de (Leonardo, 2020)

Este módem sería un candidato adecuado para adquirirse y emplearse en las unidades HAWK. De por sí supondría una mejora de las capacidades del sistema y una clave para su integración en el sistema de fuegos en red, pero además supone una necesidad para aprovechar las capacidades que ofrece el sensor multifunción que adopte la Batería. (SyntheSys Defence, 2022)

## 6 CONCLUSIONES

Tras analizar el estado del arte y el estudio de la amenaza actual y sus tendencias, así como del estado de la Batería HAWK y los conceptos de fuegos en red y de plataforma multifunción, se ha determinado qué cambios son necesarios en la Batería para adaptarla a estos sistemas y a la adopción de un sensor de estas características, para así prolongar su vida útil asegurando su eficacia frente a la amenaza aérea actual.

La elección del sensor multifunción mediante el análisis de características realizado y el método de los factores ponderados ha dado como resultado el radar Giraffe 4A. Este sensor, por un lado, facilitará la labor de mantenimiento al nivel de varios escalones y requerirá un número de personal menor que el que se necesita ahora para operar los radares originales del HAWK, favoreciendo la adaptación de la unidad a la tendencia actual de limitar el personal y potenciar la automatización de los sistemas. Por otro lado, supondrá una gran mejora en la capacidad de la Batería de detectar, identificar y seguir las trazas que existan en cualquier espacio de batalla donde opere, un ambiente cada vez más saturado de elementos aéreos y donde el tiempo de reacción es cada vez menor. La mejora en estas capacidades permitirá a la Batería HAWK responder a la amenaza actual de manera eficaz y fiable, por lo que se asegura su efectividad en el futuro próximo.

Además, la capacidad multifunción del Giraffe favorecerá la integración del HAWK en el sistema de fuegos en red, ya que al detectar un amplio espectro de la amenaza y ser fácilmente configurable, podrá proporcionar la información necesaria en el momento oportuno a la UDAА donde esté integrado para emplear sus sistemas de armas de la forma más eficaz y consiguiendo la economía de medios más eficiente; todo ello sin la necesidad de tener un número elevado de sensores activos y susceptibles de ser detectados por el adversario.

Todo ello sólo se podrá materializar, sin embargo, con la adecuada actualización de las comunicaciones. Es vital una transmisión de datos de gran robustez y de gran velocidad, puesto que el volumen de información a transmitir es cada vez mayor y la velocidad de transmisión necesita ser máxima. La adopción de terminales y módems que empleen el protocolo Link-22 desarrollado en el programa NILE es la forma de conseguirlo, pues cumple con todos esos requisitos y además se trata de un sistema fácilmente sustituible puesto que ha sido desarrollado como evolución directa del link-11, ahora obsoleto, que es el que emplean actualmente las unidades HAWK.

Con todo, una Batería HAWK que opere con el radar Giraffe 4A y que integre el protocolo link-22 en su BCP, con el hardware correspondiente, será una unidad plenamente integrable en el sistema de fuegos en red y altamente efectiva en el ambiente operativo actual y en el del futuro próximo, según las tendencias actuales, por lo que se asegura una prolongación significativa de su vida útil.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academia General Militar. (s.f.). *AGM-TM 202 Sistemas de armas terrestres II, tomo II*.
- AMIR, A. R. (29 de 10 de 2013). *Northrop Grumman corporation*. Obtenido de Home, Britannica.com: <https://www.britannica.com/topic/Northrop-Grumman-Corporation>
- ANCA STOICA, D. M. (2016). Tactical data link- from link 1 to link 22. *Naval Academy Scientific Bulletin, Volume XIX*.
- Bliley Technologies. (12 de 09 de 2017). *Understanding AESA: a game changer in radar technology*. Obtenido de Bliley technologies: <https://blog.bliley.com/understanding-aesa-radar-tech>
- DAVIDE RESCA, A. R. (2014). *X-band GaN power Amplifier for Future Generation SAR Systems*. IEEE.
- Ejército de Tierra. (2019). *Fuerza 35*.
- FARROW, A. (2016). *Drone Warfare as a Military Instrument of Counterterrorism Strategy*.
- GALLEGO, E. S. (2021). La amenaza UAS. La necesidad de sistemas C-UAS. *Memorial de Artillería*, 26-34.
- GUERRERO, J. G. (2020). Necesidades de los COAAAS. Garantía de éxito para la Fuerza 2035. *Memorial de Artillería*, 91-98.
- Hensoldt. (11 de 04 de 2022). *Multi-Functional Air Surveillance and Target Acquisition Radar System*. Obtenido de Radar, IFF & comms, Hensoldt: <https://www.hensoldt.net/products/radar-iff-and-datalink/trml-4d/>
- International Astronautical Federation. (11 de 04 de 2022). *Israel Aerospace Industries. LTD*. Obtenido de IAF Members, International Aerospace Federation: <https://www.iafastro.org/membership/all-members/israel-aerospace-industries-ltd.html>
- Israel Aerospace Industries. (11 de 04 de 2022). *ELM-2084 MS-MMR. Multi-sensor multi mission radar system*. Obtenido de Air defense systems, IAI: <https://www.iai.co.il/p/elm-2084-ms-mmr>
- Leonardo. (02 de 03 de 2020). *Data link modem (DLM) (data sheet)*. Obtenido de media, Leonardocompany, leonardodrs.com: <https://www.leonardodrs.com/media/12977/dlm-data-sheet.pdf>
- Leonardo. (2020). *Integrated Annual Report*. Obtenido de Leonardocompany: <https://www.leonardocompany.com/documents/20142/120078/INTEGRATED+ANNUAL+REPORT+2020.pdf/726f1316-9445-d50a-9ec1-7d699e4d1be3?t=1615561367737>
- Leonardo. (19 de 08 de 2021). *Leonardo DRS Link-22 Signal Processing Controller Successfully Completes NILE Block Cycle 9 Interoperability Testin*. Obtenido de Leonardocompany, Leonardodrs.com: <https://www.leonardodrs.com/news/press-releases/leonardo-drs-link-22-signal-processing-controller-successfully-completes-nile-block-cycle-9-interoperability-testing/>
- Leonardo. (11 de 04 de 2022). *Kronos Land*. Obtenido de Electronics, Leonardo: <https://electronics.leonardo.com/en/products/kronos-land>
- Leonardo. (11 de 04 de 2022). *Link 22 Tactical Data Links Provide Allied Interoperability*. Obtenido de Leonardocompany, leonardodrs.com: <https://www.leonardodrs.com/what-we-do/products-and-services/tactical-data-link-tdl-terminal-sets/link-22/>

- Lockheed Martin. (2014). *TPS-77 MRR multi role radar*. Obtenido de Lockheedmartin.com: [https://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/rms/documents/ground-based-air-surveillance-radars/TPS-77\\_MRR\\_SPEC\\_sheet.pdf](https://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/rms/documents/ground-based-air-surveillance-radars/TPS-77_MRR_SPEC_sheet.pdf)
- MADOC. (2004). *MI6-328 Manual de instrucción sirvientes del radar de adquisición de impulsos (PAR) AN/MPQ-50 (XO-2)*.
- MADOC. (2004). *MI6-329 Manual de instrucción sirvientes del radar de adquisición de onda continua (CWAR) AN/MPQ-62*.
- MADOC. (2004). *MI6-330 Manual de instrucción sirvientes del radar de seguimiento de onda continua (HIPIR) AN/MPQ-61*.
- MADOC. (2004). *MT6-349 Manual técnico COAAAS-M*.
- MADOC. (2013). *MI4-309. FDC del sistema COAAAS-M*.
- MADOC. (2015). *PD4-311 Defensa Antiaérea*.
- MADOC. (2016). *PD4-300 Empleo de la AAA*.
- MADOC. (2020). *GIPT IA 309 Operador del sistema HAWK para suboficiales*.
- Military Watch. (20 de 05 de 2019). *America's MIM-23 Air Defence System still in service 60 years later; how viable is the HAWK today?* Obtenido de Military watch Magazine: <https://militarywatchmagazine.com/article/america-s-mim-23-air-defence-system-still-in-service-60-years-later-how-viable-is-the-hawk-today>
- Ministerio de Defensa. (11 de 04 de 2022). *BRIEX2035*. Obtenido de Ejército de Tierra: [https://ejercito.defensa.gob.es/estructura/briex\\_2035/resumen\\_ejecutivo\\_fuerza\\_35.htm](https://ejercito.defensa.gob.es/estructura/briex_2035/resumen_ejecutivo_fuerza_35.htm)
- Northrop Grumman. (11 de 04 de 2022). *(AESA) Radars. radar superiority Across all Domains*. Obtenido de What we do, air, Northropgrumman.com: <https://www.northropgrumman.com/what-we-do/air/active-electronically-scanned-array-aesa-radars/#/ms-187/1>
- Northrop Grumman. (11 de 04 de 2022). *AN/TPS-80 Ground/Air Task-Oriented Radar (G/ATOR)*. Obtenido de What we do, Northropgrumman.com: <https://www.northropgrumman.com/what-we-do/land/an-tps-80-ground-air-task-oriented-radar-g-ator/>
- PABLOS, D. Á. (2021). IFF-5. Herramienta esencial para control del espacio aéreo. *Memorial de Artillería*, 35-44.
- PATRICK SCHUH, H. S. (2018). *GaN- based single chip frontend for next generation X-band AESA systems*. Cambridge.
- Portal de Tecnología e innovación del Ministerio de Defensa. (02 de 10 de 2013). *NILE- NATO Improved Link Eleven*. Obtenido de Iniciativa de I+T, Tecnología e innovación.defensa.gob.es: <https://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/detalleiniciativa.aspx?iniciativaID=105>
- Presidencia del Gobierno . (2017). *Estrategia de Seguridad Nacional*.
- Raytheon Missile & Defense. (11 de 04 de 2022). *GhostEye family of radars: LTAMDS*. Obtenido de Raytheon technologies: <https://www.raytheonmissilesanddefense.com/what-we-do/missile-defense/air-and-missile-defense-systems/ghosteye>
- Raytheon Technologies. (11 de 04 de 2022). *What we do*. Obtenido de Raytheon technologies: <https://www.rtx.com/our-company/what-we-do>

- SAAB. (25 de 09 de 2020). *Giraffe 4A*. Obtenido de All products, SAAB: <https://www.saab.com/products/giraffe-4a>
- SAAB. (11 de 04 de 2022). *Over 400 years of history*. Obtenido de History, About, SAAB: <https://www.saab.com/about/history>
- SyntheSys Defence. (11 de 04 de 2022). *Demystifying Tactical Data Links (TDLs). Focus on Link 22*. Obtenido de [resources.synthesys.co.uk](https://resources.synthesys.co.uk): <http://resources.synthesys.co.uk/defence/technical-articles/demystifying-tdls-focus-on-l22-the-new-kid-on-the-block.pdf>
- Thales. (19 de 11 de 2021). *Ground Master 400 Alpha, taking long-range surveillance to the next level*. Obtenido de Press releases, Thalesgroup: [https://www.thalesgroup.com/en/greece/press\\_release/ground-master-400-alpha-taking-long-range-air-surveillance-next-level](https://www.thalesgroup.com/en/greece/press_release/ground-master-400-alpha-taking-long-range-air-surveillance-next-level)
- WEISS, S. I. (07 de 04 de 2016). *Raytheon Company*. Obtenido de Home, Britannica.com: <https://www.britannica.com/topic/Raytheon-Company>
- Weiss, S. I. (27 de 02 de 2020). *Lockheed Martin corporation*. Obtenido de Home, Britannica.com: <https://www.britannica.com/topic/Lockheed-Martin-Corporation>
- WOLFF, C. (11 de 04 de 2022). *Ground Master GM 403*. Obtenido de Radartutorial.eu: <https://www.radartutorial.eu/19.kartei/02.surv/karte016.en.html>
- Wolfspeed. (23 de 06 de 2020). *Benefits of GaN transistors*. Obtenido de Aerospace and Defence. Knowledge center, Wolfspeed: <https://www.wolfspeed.com/knowledge-center/article/benefits-of-gan-transistors/>

# ANEXOS

## *Anexo I. Modelos de radar multifunción*

En este anexo se incluye una serie de tablas con la información relevante de cada radar multifunción que se ha estudiado en este trabajo, así como las puntuaciones relativas ( $p$ ) en cada uno de los apartados. Las filas con la información se han ordenado por orden de prioridad según la ponderación asignada (ver apartado 4.3 de la memoria). También, en la primera fila de cada tabla, se incluye el nombre del modelo de radar, la empresa que lo fabrica y el país de origen.

Hay 12 filas de características, que valoran los 7 apartados mencionados en el ANEXO II; cada fila lleva asociada una puntuación relativa, excepto las resaltadas en azul y en amarillo que se valoran de la siguiente manera:

- Las filas resaltadas en azul representan características que están estrechamente relacionadas y que se valoran en conjunto: por ejemplo, la movilidad táctica y la movilidad estratégica afectan al apartado “movilidad”, de manera que en ese apartado la puntuación introducida es la media aritmética de las puntuaciones de cada una de las dos filas. Análogamente, las filas “resolución y precisión” y “tipos de amenaza que detecta” afectan al apartado “precisión y tipos de amenaza detectable”, donde se introducirá la media aritmética de la puntuación en esas dos filas
- Las filas resaltadas en amarillo representan las características que entran en el apartado “otros”. Cada una se valora cualitativamente con un resultado desde “muy negativo” a “muy positivo”, y la puntuación numérica del apartado se obtiene al comparar las valoraciones en cada fila.

Los resultados para cada apartado serán los que se introduzcan en la ecuación del análisis ponderado (ecuación 1) para obtener la puntuación final del radar.

Tabla 7. Características del radar ELM-2084 MS-MMR

Modelo	Empresa	País de origen
<b>ELM-2084 MS-MMR</b>	IAI/ ELTA Systems	Israel
	Características	Puntuación asociada
<b>Fiabilidad / necesidades Manto.</b>	No especificado	0
<b>Movilidad táctica:</b>	Alta (sobre camión)	2
<b>Movilidad estratégica:</b>	Alta (transportable en C-130)	2 (media 2)
<b>Número de trazas simultáneas</b>	Hasta 1100	4
<b>Resolución y precisión:</b>	Altas (no especificado)	0
<b>Tipos de amenaza que detecta:</b>	Aeronaves, misiles balísticos, slow-movers, RPAS y RAM	3 (media 1.5)
<b>Alcance y techo:</b>	Alcance hasta 411km en vigilancia aérea; 100 km en C-RAM Techo no especificado	3
<b>Funciones que cumple:</b>	Exploración, seguimiento, identificación IFF	1
<b>Sensores pasivos</b>	Sí (optrónico y térmico)	Muy positivo
<b>Tipo de antena:</b>	AESA GaN	Positivo
<b>Modo IFF (Sí/No y Modo):</b>	Sí, no especificado	Neutral
<b>EPM:</b>	Avanzadas (no especificadas)	Positivo / neutral
<b>Observaciones:</b>	Utilizado extensivamente como sensor del sistema Iron Dome israelí, con eficacia probada	Muy positivo. Puntuación apartado 7: <b>5</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Características del radar TRML-4D

Modelo	Empresa	País de origen
TRML-4D	Hensoldt	Alemania
	Características	Puntuación asociada
<b>Fiabilidad / necesidades Manto.</b>	No especificado	0
<b>Movilidad táctica:</b>	Alta, sobre camión y desplegable en 10 minutos	5
<b>Movilidad estratégica:</b>	Transportable en C-130	2 (media 3.5)
<b>Número de trazas simultáneas</b>	1500	5
<b>Resolución y precisión:</b>	RCS de hasta 0.01 m <sup>2</sup>	5
<b>Tipos de amenaza que detecta:</b>	Misiles de crucero, UAS, aeronaves de ala fija y rotatoria.	2 (media 3.5)
<b>Alcance y techo:</b>	250km/30km	1
<b>Funciones que cumple:</b>	Exploración, seguimiento, identificación IFF	1
<b>Sensores pasivos</b>	No	Negativo
<b>Tipo de antena:</b>	AESA GaN	Positivo
<b>Modo IFF (Sí/No y Modo):</b>	Sí, Modo 5 y Modo S	Muy positivo
<b>EPM:</b>	Avanzadas (no especificadas)	Positivo/neutral
<b>Observaciones:</b>	Sistema muy reciente.	Neutral Puntuación apartado 7: <b>2</b>

Fuente: elaboración propia



Tabla 9. Características del radar KRONOS Land

Modelo	Empresa	País de origen
KRONOS Land	Leonardo	Italia
	Características	Puntuación asociada
<b>Fiabilidad / necesidades Manto.</b>	No especificado	0
<b>Movilidad táctica:</b>	Alta; desplegable en 10 minutos	4
<b>Movilidad estratégica:</b>	Alta: transportable por camiones estándar, helicóptero, avión, barco o tren (volumen ISO 20ft)	5 (media 4.5)
<b>Número de trazas simultáneas</b>	300	-1
<b>Resolución y precisión:</b>	Alta, no especificada; suficiente para detectar TBMs en ambientes de mucho clutter.	2
<b>Tipos de amenaza que detecta:</b>	TBM, aeronaves de ala fija y ala rotatoria, UAS, slow mover y RAM	5 (media 3.5)
<b>Alcance y techo:</b>	250km/30km	1
<b>Funciones que cumple:</b>	Exploración, seguimiento, identificación IFF	1
<b>Sensores pasivos</b>	No	Negativo
<b>Tipo de antena:</b>	AESA (GaAs)	Negativo
<b>Modo IFF (Sí/No y Modo):</b>	Sí, modos 1, 2, 3/A, C y S	Positivo
<b>EPM:</b>	Avanzadas (no especificadas)	Positivo/neutral
<b>Observaciones:</b>	Ideado para usarse con misiles tanto activos como semi-activos. Sólo necesita dos operadores	Muy positivo. Puntuación apartado 7: <b>2</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla 10. Características del radar Giraffe 4A

Modelo	Empresa	País de origen
<b>Giraffe 4A</b>	Saab	Suecia
	Características	Puntuación asociada
<b>Fiabilidad / necesidades Manto.</b>	Sistema muy resistente, de media 2500h entre fallos críticos y 45 minutos de reparación.	<b>4</b>
<b>Movilidad táctica:</b>	Alta, transporte en camión y desplegable en 10 minutos	<b>5</b>
<b>Movilidad estratégica:</b>	Alta, transportable por C-130	<b>2 (media 3.5)</b>
<b>Número de trazas simultáneas</b>	100	<b>-3</b>
<b>Resolución y precisión:</b>	Muy alta, el fabricante afirma que puede identificar trazas de RCS muy pequeña como pájaros o micro-UAS.	<b>5</b>
<b>Tipos de amenaza que detecta:</b>	Aeronave de ala fija/ala rotatoria, UAS, RAM	<b>4 (media 4.5)</b>
<b>Alcance y techo:</b>	400 km/ no especificado	<b>3</b>
<b>Funciones que cumple:</b>	Exploración, seguimiento, identificación IFF	<b>1</b>
<b>Sensores pasivos</b>	No	Negativo
<b>Tipo de antena:</b>	AESA (GaN)	Positivo
<b>Modo IFF (Sí/No y Modo):</b>	Sí, no especificado	Positivo/neutral
<b>EPM:</b>	Sí (no especificadas)	Neutral
<b>Observaciones:</b>	Solo 2 operadores necesarios; puede detectar micro-UAS e incluso discriminarlos de pájaros.	Muy positivo. Puntuación apartado 7: <b>3</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla 11. Características del radar Ground Master 400

Modelo	Empresa	País de origen
Ground Master 400	Thales	Francia
	Características	Puntuación asociada
<b>Fiabilidad / necesidades Manto.</b>	Tiempo medio entre averías de más de 3000h. El fabricante afirma que el sistema necesita unas 30h de mantenimiento anuales	5
<b>Movilidad táctica:</b>	Transporte en camión, desplegable en 1h	-5
<b>Movilidad estratégica:</b>	Volumen estándar de contenedor 20ft, peso de 10t Transportable en C-130	5 (media 0)
<b>Número de trazas simultáneas</b>	No especificado	0
<b>Resolución y precisión:</b>	No especificada	0
<b>Tipos de amenaza que detecta:</b>	TBM, aeronave ala fija/ala rotatoria, UAS, slow-movers	3 (media 1.5)
<b>Alcance y techo:</b>	Hasta 515 km/30 km	5
<b>Funciones que cumple:</b>	Exploración, seguimiento, identificación IFF	1
<b>Sensores pasivos</b>	No	Negativo
<b>Tipo de antena:</b>	AESA (GaN)	Positivo
<b>Modo IFF (Sí/No y Modo):</b>	Sí, modo 5 y modo S	Muy positivo
<b>EPM:</b>	Sí (no especificadas)	Neutral
<b>Observaciones:</b>	N/A	Neutral Puntuación apartado 7: <b>2</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla 12. Características del radar TPS-77MMR

Modelo	Empresa	País de origen
TPS-77MMR	Lockheed Martin	EEUU
	Características	Puntuación asociada
<b>Fiabilidad / necesidades Manto.</b>	Tiempo medio entre averías de más de 2000 h	<b>1</b>
<b>Movilidad táctica:</b>	Desplegable en 45 minutos	<b>-3</b>
<b>Movilidad estratégica:</b>	Transportable en C-130, helicóptero, camión y tren	<b>3 (media 0)</b>
<b>Número de trazas simultáneas</b>	1500	<b>5</b>
<b>Resolución y precisión:</b>	No especificadas, alta según el fabricante	<b>0</b>
<b>Tipos de amenaza que detecta:</b>	TBM, UAS, aeronave ala fija/ala rotatoria	<b>2 (media 1)</b>
<b>Alcance y techo:</b>	463 km/ 30 km	<b>4</b>
<b>Funciones que cumple:</b>	Exploración, seguimiento, identificación IFF	<b>1</b>
<b>Sensores pasivos</b>	No	Negativo
<b>Tipo de antena:</b>	AESA (GaN)	Positivo
<b>Modo IFF (Sí/No y Modo):</b>	Sí, modo 5 y modo S. Utiliza el interrogador Hensoldt MSSR2000	Muy positivo
<b>EPM:</b>	Sí (no especificadas)	Neutral
<b>Observaciones:</b>	Configurable para el tipo de misión.	Neutral Puntuación apartado 7: <b>2</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla 13. Características del radar AN/TPS-80 G/ATOR

Modelo	Empresa	País de origen
AN/TPS-80 G/ATOR	Northrop Grumman	EEUU
	Características	Puntuación asociada
<b>Fiabilidad / necesidades Manto.</b>	No especificado	0
<b>Movilidad táctica:</b>	Requiere de dos vehículos, un camión para la antena y el GE, y un vehículo ligero para el módulo de comunicaciones	1
<b>Movilidad estratégica:</b>	Alta, ideado para fuerzas expedicionarias	3 (media 2)
<b>Número de trazas simultáneas</b>	No especificado	0
<b>Resolución y precisión:</b>	No especificadas, alta según el fabricante	0
<b>Tipos de amenaza que detecta:</b>	Misiles de crucero, UAS, aeronave ala fija/ala rotatoria, RAM	3 (media 1.5)
<b>Alcance y techo:</b>	No especificados	0
<b>Funciones que cumple:</b>	Exploración, seguimiento, identificación IFF	1
<b>Sensores pasivos</b>	No	Negativo
<b>Tipo de antena:</b>	AESA (GaN)	Positivo
<b>Modo IFF (Sí/No y Modo):</b>	Sí, No especificado	Positivo/neutral
<b>EPM:</b>	Sí, no especificado/aún en desarrollo	Neutral
<b>Observaciones:</b>	Gran espectro multifunción: sustituye a los radares TPS-63, MPQ-62, TPQ-64, UPS-3 y TPS-73 empleados hasta ahora por el USMC	Muy positivo. Puntuación apartado 7: <b>3</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla 14. Características del radar LTAMDS

Modelo	Empresa	País de origen
LTAMDS	Raytheon	EEUU
	Características	Puntuación asociada
<b>Fiabilidad / necesidades Manto.</b>	No especificado	0
<b>Movilidad táctica:</b>	Baja	-5
<b>Movilidad estratégica:</b>	No especificada	0 (media -2.5)
<b>Número de trazas simultáneas</b>	No especificado	0
<b>Resolución y precisión:</b>	No especificado	0
<b>Tipos de amenaza que detecta:</b>	TBM, misiles de crucero, aeronaves de ala fija/ala rotatoria	2 (media 1)
<b>Alcance y techo:</b>	100km/ no especificado	-2
<b>Funciones que cumple:</b>	Exploración, seguimiento, identificación y tiro	5
<b>Sensores pasivos</b>	No	negativo
<b>Tipo de antena:</b>	AESA (GaN)	positivo
<b>Modo IFF (Sí/No y Modo):</b>	No especificado	neutral
<b>EPM:</b>	Sí, no especificadas.	neutral
<b>Observaciones:</b>	Ideado para sustituir el radar AN/MPQ-53/65 del Patriot que mejora sus prestaciones y capacidad de integración. Sistema aún en desarrollo.	Positivo. Puntuación apartado 7: <b>2</b>

Fuente: elaboración propia

## Anexo II. Análisis de características ponderado

En este anexo se incluye una tabla para cada radar donde se obtiene la puntuación en el análisis de características ponderado.

Hay 7 filas con las características valoradas, y para cada una de ellas se incluye la puntuación relativa (p), la ponderación (P) y la puntuación ponderada que se obtiene de la [ecuación](#). Por último, en la casilla inferior derecha se ve la puntuación general del radar (M).

También se incluye un gráfico radial donde se han introducido las características y la puntuación ponderada para cada radar.

Tabla 15. Puntuación del radar ELM-2084 MS-MMR

Modelo de radar			ELM-2084 MS-MMR
características	Puntuación (p)	Ponderación (P)	Puntuación ponderada
1. Fiabilidad	0	0,2	0
2. Movilidad	2	0,17	0,34
3. Nº de trazas simultáneas en seguimiento	4	0,17	0,68
4. Precisión y tipos de amenaza detectable	1,5	0,14	0,21
5. techo y alcance	3	0,12	0,36
6. Funciones que cumple	1	0,1	0,1
7. Otros	5	0,1	0,5
Puntuación general (M)			0,312857143

Fuente: elaboración propia

Tabla 16. Puntuación del radar TRML-4D

Modelo de radar			TRML-4D
características	Puntuación (p)	Ponderación (P)	Puntuación ponderada
1. Fiabilidad	0	0,2	0
2. Movilidad	3,5	0,17	0,595
3. Nº de trazas simultáneas en seguimiento	5	0,17	0,85
4. Precisión y tipos de amenaza detectable	3,5	0,14	0,49
5.techo y alcance	1	0,12	0,12
6. Funciones que cumple	1	0,1	0,1
7. Otros	2	0,1	0,2
Puntuación general (M)			0,336428571

Fuente: elaboración propia

Tabla 17. Puntuación del radar KRONOS Land

Modelo de radar			KRONOS Land
características	Puntuación (p)	Ponderación (P)	Puntuación ponderada
1. Fiabilidad	0	0,2	0
2. Movilidad	4,5	0,17	0,765
3. Nº de trazas simultáneas en seguimiento	-1	0,17	-0,17
4. Precisión y tipos de amenaza detectable	3,5	0,14	0,49
5.techo y alcance	1	0,12	0,12
6. Funciones que cumple	1	0,1	0,1
7. Otros	2	0,1	0,2
Puntuación general (M)			0,215

Fuente: elaboración propia



Tabla 18. Puntuación del radar Giraffe 4A

Modelo de radar			Giraffe 4A
características	Puntuación (p)	Ponderación (P)	Puntuación ponderada
1. Fiabilidad	4	0,2	0,8
2. Movilidad	3,5	0,17	0,595
3. Nº de trazas simultáneas en seguimiento	1	0,17	0,17
4. Precisión y tipos de amenaza detectable	4,5	0,14	0,63
5.techo y alcance	3	0,12	0,36
6. Funciones que cumple	1	0,1	0,1
7. Otros	3	0,1	0,3
Puntuación general (M)			0,422142857

Fuente: elaboración propia

Tabla 19. Puntuación del radar Ground Master 400

Modelo de radar			Ground Master 400
características	Puntuación (p)	Ponderación (P)	Puntuación ponderada
1. Fiabilidad	5	0,2	1
2. Movilidad	0	0,17	0
3. Nº de trazas simultáneas en seguimiento	0	0,17	0
4. Precisión y tipos de amenaza detectable	1,5	0,14	0,21
5.techo y alcance	5	0,12	0,6
6. Funciones que cumple	1	0,1	0,1
7. Otros	2	0,1	0,2
Puntuación general (M)			0,301428571

Fuente: elaboración propia

Tabla 20. Puntuación del radar TPS-77MMR

Modelo de radar			TPS-77MMR
características	Puntuación (p)	Ponderación (P)	Puntuación ponderada
1. Fiabilidad	1	0,2	0,2
2. Movilidad	0	0,17	0
3. Nº de trazas simultáneas en seguimiento	5	0,17	0,85
4. Precisión y tipos de amenaza detectable	1	0,14	0,14
5.techo y alcance	4	0,12	0,48
6. Funciones que cumple	1	0,1	0,1
7. Otros	2	0,1	0,2
Puntuación general (M)			0,281428571

Fuente: elaboración propia

Tabla 21. Puntuación del radar AN/TPS-80 G/ATOR

Modelo de radar			AN/TPS-80 G/ATOR
características	Puntuación (p)	Ponderación (P)	Puntuación ponderada
1. Fiabilidad	0	0,2	0
2. Movilidad	2	0,17	0,34
3. Nº de trazas simultáneas en seguimiento	0	0,17	0
4. Precisión y tipos de amenaza detectable	1,5	0,14	0,21
5.techo y alcance	0	0,12	0
6. Funciones que cumple	1	0,1	0,1
7. Otros	3	0,1	0,3
Puntuación general (M)			0,135714286

Fuente: elaboración propia

Tabla 22. Puntuación del radar LTAMDS

Modelo de radar			LTAMDS
características	Puntuación (p)	Ponderación (P)	Puntuación ponderada
1. Fiabilidad	0	0,2	0
2. Movilidad	-2,5	0,17	-0,425
3. Nº de trazas simultáneas en seguimiento	0	0,17	0
4. Precisión y tipos de amenaza detectable	1	0,14	0,14
5.techo y alcance	-2	0,12	-0,24
6. Funciones que cumple	5	0,1	0,5
7. Otros	2	0,1	0,2
Puntuación general (M)			0,025

Fuente: elaboración propia

### *Anexo III. Encuesta sobre radares multi-función.*

La encuesta realizada a cuadros de mando (oficiales y suboficiales) del GAAA II/74 se incluye a continuación:

## OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA HAWK PARA SU ADAPTACIÓN AL SISTEMA DE FUEGOS EN RED Y SU IMPLEMENTACIÓN EN FUTURAS PLATAFORMAS MULTIFUNCIÓN

A continuación, se le presenta una encuesta para tratar de determinar la idoneidad de sustituir uno o varios de los sensores que utiliza actualmente la Batería HAWK por sistemas multifunción que junten las distintas capacidades de estos en un solo elemento.

**\*Obligatorio**

### 1. Escala

*Marca solo un óvalo.*

Oficiales	
Suboficiales	

### 2. Puesto táctico que desempeña actualmente:

### 3. Años de experiencia trabajando con el sistema HAWK:

### 4. ¿Ha asistido a algún curso del sistema HAWK o es el autor de alguna publicación sobre el mismo?

5. ¿Cree que los sensores de que dispone la Bateria HAWK pueden asegurar la operatividad del sistema en el futuro cercano? \*

6. Ordene los distintos sensores del sistema HAWK según la prioridad de actualización (siendo el 1 para el de mayor prioridad) \*

Marca solo un óvalo por fila.

	PAR	CWAR	HIPIR	IFF
1				
2				
3				
4				

7. ¿Sería ventajoso para la Unidad sustituir sus sensores actuales (PAR, CWAR, IFF) por un sistema multifunción, que cumpla los mismos cometidos, pero requiriendo el personal y el mantenimiento de un solo aparato? Valore del 1 (nada ventajoso) al 10 (muy ventajoso) \*

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

8. Si la Batería está operando integrada en una UDAA, ¿qué orden, según su importancia, siguen los sensores? Siendo el 1 para el más importante y 4 para el menos. \*

Marca solo un óvalo por fila.

	1	2	3	4
<b>PAR</b>				
<b>CWAR</b>				
<b>HIPIR</b>				
<b>IFF</b>				

9. Y en una situación donde la Batería es autónoma? \*

Marca solo un óvalo por fila.

	1	2	3	4
<b>PAR</b>				
<b>CWAR</b>				
<b>HIPIR</b>				
<b>IFF</b>				

10. A la hora de mejorar las prestaciones de los sensores que emplea la Bía HAWK, ¿cuál sería el orden de prioridad (siendo el 1 para el prioritario)? \*

Marca solo un óvalo por fila.

	1	2	3	4	5
<b>Alcance y techo del radar</b>					
<b>Sección recta radar detectable</b>					
<b>Tiempo medio entre averías</b>					
<b>Número de trazas simultáneas en seguimiento</b>					
<b>Movilidad táctica (tiempo de despliegue, facilidad de transporte)</b>					

## **Anexo IV. Resultados de la encuesta.**

### **RESULTADOS DE LA ENCUESTA**

#### **1. Escala:**

9 Oficiales

3 Suboficiales

#### **2. Puestos tácticos:**

3 Jefes de Batería

5 Oficiales Tácticos (TDO)

1 Jefe S2/S3 PLMM GAAA II/74

1 Jefe HIPIR

1 Jefe Pn. Lanzadores

1 Jefe Pn. Montajes

#### **3. Años de experiencia trabajando con el sistema HAWK:**

1 encuestado lleva 13 años

2 encuestados llevan 8 años

1 encuestado lleva 7 años

2 encuestados llevan 4 años

1 encuestado lleva 3 años

3 encuestados llevan 2 años

1 encuestado lleva 1 año

1 encuestado lleva 3 meses

#### **4. ¿Ha asistido a algún curso del sistema HAWK o es el autor de alguna publicación sobre el mismo?**

6 han asistido al curso de Oficial Táctico en distintos años

1 ha asistido a Acciones Formativas HAWK de 2019

1 ha asistido al Curso HAWK 2019/2020

2 han recibido el curso de operador HAWK

2 han asistido a cursos no especificados.

#### **5. ¿Cree que los sensores de que dispone la Batería HAWK pueden asegurar la operatividad del sistema en el futuro cercano?**

- Sí

- Sí, con buen mantenimiento

- Sí, asegurando un buen mantenimiento

- El sistema plantea problemas de cara a hacer frente a una COMAO de varias aeronaves. Esto es debido a las limitaciones de empeño de los HIPIR, que se ven reducidos a solo una traza por radar de forma simultánea

- Aunque son antiguos, los sensores del HAWK hacen funcionar al sistema. La contra que tiene es su antigüedad y la dificultad de disponer de repuestos y personal cualificado para mantenimiento

- No

- Sí, ya que tiene tres sensores los cuales se complementan y ambos son 360°. Además, la unidad consta con el radar 3D que hace su función de alerta temprana.

- Los sensores sí, el sistema no.

- No. Debido a la gran cantidad de años que tiene el sistema, los sensores dan muchos problemas y la cantidad de repuestos es muy escasa.

- Son sensores que precisan una mejora en sus capacidades, y posiblemente una sustitución por otro/s que desempeñen las mismas capacidades y si se puede una mejora en ellas, aumentando la eficiencia y eficacia del sistema.

- NS/NC

**6. Ordene los distintos sensores del sistema HAWK según la prioridad de actualización (siendo el 1 para el de mayor prioridad).**

SENSORES	primera posición	segunda posición	tercera posición	cuarta posición
par	4 veces	1 vez	3 veces	4 veces
cwar	1 vez	6 veces	4 veces	1 vez
hipir	6 veces	3 veces	3 veces	0 veces
iff	1 vez	2 veces	2 veces	7 veces

**7. ¿Sería ventajoso para la Unidad sustituir sus sensores actuales (PAR, CWAR, IFF) por un sistema multifunción, que cumpla los mismos cometidos, pero requiriendo el personal y el mantenimiento de un solo aparato? Valore del 1 (nada ventajoso) al 10 (muy ventajoso)**

9 encuestados contestaron con una valoración de 10 sobre 10

1 encuestado contestó con valoración de 8 sobre 10

2 encuestados contestaron con una valoración de 7 sobre 10.

La media de valoraciones es de 9.333 sobre 10

**8. Si la Batería está operando integrada en una UDAA, ¿qué orden, según su importancia, siguen los sensores? Siendo el 1 para el más importante y 4 para el menos.**

SENSORES	primera posición	segunda posición	tercera posición	cuarta posición
par	1 vez	1 vez	5 veces	5 veces
cwar	1 vez	9 veces	2 veces	0 veces
hipir	11 veces	1 vez	0 veces	0 veces
IFF	0 veces	1 vez	4 veces	7 veces

**9. ¿Y en una situación donde la Batería es autónoma?**

SENSORES	primera posición	segunda posición	tercera posición	cuarta posición
par	4 veces	2 veces	4 veces	2 veces
cwar	2 veces	4 veces	6 veces	0 veces
hipir	6 veces	4 veces	0 veces	2 veces
iff	1 vez	2 veces	2 veces	7 veces



**10. A la hora de mejorar las prestaciones de los sensores que emplea la Bía HAWK, ¿cuál sería el orden de prioridad (siendo el 1 para el prioritario)?**

prestaciones	primer lugar	segundo lugar	tercer lugar	cuarto lugar	quinto lugar
Alcance y techo del radar	2 veces	1 vez	2 veces	0 veces	7 veces
rsc detectable	1 vez	1 vez	7 veces	3 veces	0 veces
tiempo medio entre averías	3 veces	7 veces	0 veces	2 veces	0 veces
número de trazas simultáneas en seguimiento	3 veces	2 veces	1 vez	4 veces	2 veces
movilidad táctica (tiempo de despliegue)	4 veces	3 veces	1 vez	2 veces	2 veces