



**Universidad  
Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado

# Tendencias Radar en el Centro de Operaciones de Artillería Semiautomático Medio

Autor

Víctor Hurtado Hurtado

Director/es

Dr. Sergio Gutiérrez Rodrigo

Cap. Manuel Párraga Rodríguez

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2016



## Agradecimientos

Este estudio no se hubiese podido realizar sin la colaboración directa e indirecta de muchas personas. Es probable que unas pocas palabras no puedan expresar el agradecimiento que siento por ellos, pero espero que, al menos, entiendan que son sinceras.

Mi primer agradecimiento va para la persona que ha posibilitado que este escribiendo estas líneas. Sergio, gracias por confiar en mí desde el principio, por estar disponible y dispuesto a atender mis correos y llamadas, por haberme transmitido la perspectiva científica y técnica que te caracteriza, por dejar que me equivoque y orientarme para mejorar, en definitiva, por haber sido un gran tutor a lo largo de estas semanas.

Una especial mención va para aquellos que han aportado su granito de arena para llevar este estudio a buen puerto. Me refiero al Capitán Don Manuel Párraga Rodríguez, que con sus siempre constructivas críticas ayudó a materializar mis ideas y a dar forma a éste trabajo.

Quisiera también destacar la colaboración del Teniente Gustavo Contreras por sus aportaciones y consejos, gracias a los cuáles he podido finalizar este trabajo de manera satisfactoria y sin los cuáles hubiera sido muy difícil conseguirlo.

Por último, dar las gracias a todo el personal del Regimiento de Artillería Antiaérea número 73, por su apoyo y colaboración, así como por todo lo aprendido a lo largo de estas prácticas.



## **Resumen**

A lo largo de su historia, la evolución tecnológica de los radares se ha ido desarrollando y potenciando a medida que han ido surgiendo nuevas amenazas en el espacio aéreo, desde aeronaves de todo tipo hasta otro tipo de amenazas potencialmente destructivas como los misiles balísticos. De esta creciente amenaza ha surgido la necesidad de que en las unidades militares se implementen equipos de radares cada vez más sofisticados, es decir, capaces de responder a las mismas con un alto grado de eficacia en un período de tiempo muy reducido.

El siguiente Trabajo de Fin de Grado (TFG) se centra por una parte, en la relevancia actual de la integración de diferentes radares existentes en una Unidad de Artillería Antiaérea y por otra, en el análisis de distintas posibilidades a la hora de incorporar un nuevo radar en el Centro de Operaciones de Artillería Semiautomático Medio, el cual podría sustituir o complementar al RAC 3-D empleado actualmente dentro de dicho centro de operaciones.

Este último análisis se ha llevado a cabo a través de un estudio de diferentes radares potencialmente compatibles con dicho centro de operaciones, así como de la realización de una comparativa entre ellos, con el objetivo de determinar cuál de ellos resultaría más adecuado.

## **Abstract**

Throughout history, the technological evolution of radars has developed and grown as new threats in the airspace have arisen, which range from different types of aircrafts to other potentially destructive threats such as ballistic missiles. This has meant that military units have had to implement more and more sophisticated radar equipment that can respond to these threats quickly and effectively.

This end-of-course assessment deals with, on the one hand, the issue of integrating different existing radars in an anti-aircraft artillery unit and, on the other hand, the analysis of different options when it comes to incorporating a new radar at the Semiautomatic Artillery Operations Centre, which could either replace or complement the RAC 3-D currently in use at this operation centre.

The present project has been carried out by analysing different radars that are potentially compatible with the operation centre in question and comparing them in order to determine which would be more suitable.



“Los ingleses se beneficiaban con un sistema de radar muy superior al nuestro”. Durante los cuatro meses de la Batalla de Inglaterra, su célebre Chain Home y control aéreo terrestre tuvo un gran papel, dirigiendo a los aviones segundo a segundo y llevándolos al combate en las más favorables condiciones y en el mejor momento. Nuestros pilotos por el contrario, sólo podían contar con su vista. Cuando tomaban contacto con el enemigo, sus instrucciones, recibidas cerca de tres horas antes, estaban obsoletas, pasadas por la evolución de las operaciones. A los ingleses les bastaba seguir las instrucciones de sus controladores”.

General alemán Adolf Galland





# ÍNDICE

1.	Marco teórico previo .....	1
2.	Introducción .....	2
2.1.	Justificación .....	3
2.2.	Objetivos .....	3
2.3.	Alcance .....	4
2.4.	Metodología.....	4
2.5.	Contexto de la Base .....	5
3.	Fundamentos del Radar.....	5
4.	Análisis de radares en uso del Ejército español.....	6
4.1.	Radar RAC 3-D:.....	7
4.2.	Radar Sentinel: .....	8
4.3.	Radar AN/TPS 43-E .....	10
4.4.	Radar Lanza Banda D .....	11
5.	Centro de Operaciones de Artillería Semiautomático Medio (COAAAS-M).....	13
6.	Integración de los sistemas radar en los sistemas de mando y control .....	15
6.1.	Integración del sistema con el radar Sentinel .....	16
6.2.	Integración del sistema con el radar RAVEN.....	17
6.3.	Integración del sistema con el radar RAC 3-D .....	18
6.4.	Integración del sistema con los radares del sistema HAWK.....	18
6.5.	Integración del sistema con el radar AN/MPQ-53 .....	18
7.	Ventajas e inconvenientes de los radares integrados en los sistemas de mando y control.....	19
8.	Análisis Comparativo .....	20
8.1.	Análisis Comparativo Técnico.....	20
8.2.	Análisis Comparativo Subjetivo.....	21
8.2.1.	Sentinel VS. RAC 3-D.....	21
8.2.2.	RAC 3-D VS. AN/TPS 43-E .....	22
9.	Conclusiones .....	24
9.1.	Grado de consecución de los objetivos.....	24
9.2.	Tendencias futuras .....	25
10.	Bibliografía .....	26
11.	Anexos.....	28
11.1	ANEXO I. Cable de fibra óptica del RAC 3-D .....	28
11.2.	Anexo II. Entrevistas al Personal del Regimiento de Artillería Antiaérea N° 73 .....	29
11.3.	ANEXO III. Banda de Frecuencias .....	30
11.4.	Anexo IV. Modos IFF .....	32

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Radar Original.....	2
Figura 3.1 Atenuación debido a condiciones atmosféricas.....	6
Figura 3.2 Atenuación atmosférica .....	6
Figura 3.3 Resolución Angular.....	6
Figura 4.1 Radar RAC 3D.....	8
Figura 4.2 Radar Sentinel.....	10
Figura 4.3 Radar AN/TPS 43-E .....	11
Figura 4.4 Radar Lanza Banda D .....	13
Figura 4.5 Capacidades del Lanza Banda D .....	13
Figura 5.1 Sistemas subordinados al COAAAS-M.....	14
Figura 5.2 Capacidades del COAAAS-M .....	15
Figura 6.1 Composición del sistema.....	17
Figura 8.1 Sentinel VS. RAC 3D.....	22
Figura 8.2 RAC 3D VS. AN/TPS 43-E .....	23
Figura 8.3 RAC 3D VS. Lanza.....	24
Figura 11.1 Bandas de Frecuencias asignadas al radar.....	31
Figura 11.2 Algunos radares utilizados en las bandas de frecuencias .....	31

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Análisis DAFO RAC 3-D .....	7
Tabla 2. Análisis DAFO Sentinel.....	9
Tabla 3. Análisis DAFO AN/TPS 43-E .....	10
Tabla 4. Análisis DAFO Lanza Banda D.....	12
Tabla 5. Características de los radares .....	20
Tabla 6. Daños a los elementos que componen el equipo de fibra óptica.....	28

## **ACRÓNIMOS Y DEFINICIONES**

**AAA:** Artillería Antiaérea.

**ARS:** Centro de control aéreo. Normalmente es el escalón superior al cual está subordinado el COAAAS-M en caso de generar una UDAA en base al mismo.

**BCP:** Battery Command Post (Puesto de Mando de Batería del sistema Hawk). Sistema orientado a dotar al jefe del sistema Hawk la información necesaria y la capacidad de vigilancia y control a media y baja altura.

**COAAAS-M:** Centro de Operaciones de Artillería Antiaérea Semiautomático Medio. Es un sistema orientado a dotar al jefe de la AAA la información disponible y la capacidad de vigilancia y control para sistemas de media, baja y muy baja altura.

**COAAAS-L:** Centro de Operaciones de Artillería Antiaérea Ligero. Es un sistema orientado a dotar al jefe de la AAA de capacidad de vigilancia y control para sistemas de baja y muy baja altura.

**CWAR:** Radar de adquisición de onda continua del sistema Hawk que proporciona cobertura a baja y muy baja altura. Capaz de detectar objetivos a muy baja cota en presencia de ruido producido por el terreno.

**DPS:** Procesador digital de señal. Recibe del receptor la señal del objetivo para procesarla.

**ET:** Ejército de Tierra.

**ECM:** Contramedidas electrónicas.

**ECS:** Engagement Control Station. Es el centro operacional de control de la batería Patriot donde se llevan a cabo las funciones de la Batalla Aérea en tiempo real. Dispone de dos ordenadores para los operadores y varios terminales de datos y comunicaciones.

**FDO:** Fire Director Officer (Oficial Director de Fuegos). Encargado de enlazar con los Puestos de Mando.

**LPI:** Low Probability of Intercept. Propiedad de un emisor que debido a su baja potencia, variabilidad de sus frecuencias, ancho de banda u otras propiedades de diseño, hace difícil de ser detectados e identificados por receptores de interceptación pasiva convencionales.

**OC:** Operation Centre. Central de Operaciones con capacidad de integrarse con los ARS.

**PAR:** Pulse Acquisition Radar (Radar de Adquisición de Impulsos). Su principal misión es la de proporcionar a la batería Hawk la detección de blancos a media y alta altitud. Su funcionamiento está basado en la emisión de impulsos de radiofrecuencia al espacio, cuyos ecos proporcionan al receptor la información de los blancos detectados.

**RAP:** Recognized Air Picture. Representación fiable de la situación aérea. La RAP se establece en base a la correlación de las trazas.

**SHORAD:** Short Range Air Defence. Sistemas de baja y muy baja cota.

**TDA:** Tactical Director Assistant. Auxiliar del Oficial Director Táctico.

**TDECC:** Consola de control táctico de presentación y enganche. Tiene los controles, indicadores y pantalla de presentación necesarios para el control de empeños del sistema Hawk.

**TDO:** Tactical Director Officer. Oficial Director Táctico que ejecuta la conducción de la batalla aérea.

**TI:** Terminal Inteligente. Terminal portátil que dispone de enlace mediante red de datos con el COAAAS-M y de una pantalla sobre la que se muestran las trazas.

**TPO:** Terminal de Puesto de Observación. Terminal ligero y portátil. Un observador a través de un radioteléfono suministra información al FDC acerca de incursiones aéreas avistadas que se produzcan en zonas no cubiertas por los sensores de la UDAA

**UCE:** Unidad de Control de Empeños. Se encuentra integrado al COAAAS-L.

**UDAA:** Unidad de defensa antiaérea. Conjunto de sistemas de armas que actúan bajo un mando único para el cumplimiento de un cometido antiaéreo. Esta organización operativa se constituye de manera que la defensa se realiza por capas, siendo las exteriores responsabilidad de los sistemas de mayor alcance, y las interiores de los sistemas de menor alcance. Se materializa en un núcleo de mando y control y en un núcleo de Fuego.

**SDA:** Sistema de Defensa Nacional.

## 1. Marco teórico previo

El radar [1] (Ratio Detection and Ranging) es un sistema que utiliza ondas electromagnéticas para medir distancias, direcciones, altitudes y velocidades de objetos ya sean estáticos o móviles, como aeronaves, barcos, formaciones meteorológicas o incluso el propio terreno.

En 1886, el físico alemán Heinrich Herz pudo demostrar la existencia de las “ondas de radio” predichas unos años antes por Jean Clerk Maxwell. Con ello demostró a parte de la existencia de tales ondas, ciertas propiedades físicas que facilitaban el control de las mismas.

La Segunda Guerra Mundial estallaba tras la invasión de Polonia por parte de las tropas de Hitler, empezando con un avance imparable por parte del Tercer Reich [2]. Sin embargo, los alemanes se encuentran con el problema de invadir las islas británicas. Fue en estos momentos cuando el científico escocés Robert Watson-Watt (aparece en la Figura 1.1 en la que se muestra con el primer radar fabricado) junto con Arnold Wilkins advirtieron la manera de utilizar las ondas de radio para la detección de aviones enemigos. Wilkins calculó la potencia necesaria para la emisión de las ondas de radio y las condiciones que debían darse para una correcta detección a distancia. Además, demostró cómo obtener la distancia a la que se encontraba un posible enemigo mediante el rebote de las ondas de radio en el fuselaje metálico de los aviones. Como resultado de dichos experimentos, se construyeron antenas a lo largo de toda la costa de Inglaterra. El uso del radar permitió a la RAF (Royal Air Force) conocer los ataques de aviación alemanes con antelación. A partir de estos acontecimientos, la invasión por parte de las tropas nazis nunca se llevó a cabo.

Es en estos años cuando Gran Bretaña y Alemania empiezan a competir por la supremacía y el liderazgo del desarrollo de sistemas de medición y detección de distancias vía radio.

Gracias a los avances que se llevaron a cabo, a partir de 1938 entraba en servicio el primer radar de vigilancia aérea de la historia, el que apoyó a los ingleses en lo que se denominaría posteriormente como “Batalla de Inglaterra”, suponiendo un punto de inflexión en el transcurso de la Segunda Guerra Mundial.

Actualmente, la motivación en el ámbito militar es el de lograr crear radares de gran precisión, baja probabilidad de interceptación, con capacidades de detección en ambientes de *clutter* (ambientes en los que se reducen las capacidades del radar debido a condiciones meteorológicas o geográficas) e intentar que sean de bajo costo, obteniendo beneficios económicos.

Finalmente, gracias a la invención del radar, hoy en día podemos gozar de muchos adelantos y comodidades, ya que las técnicas de procesamiento digital, que inicialmente nacieron para el análisis de señales de radio y radar, han podido ser utilizadas en otros aspectos de la vida cotidiana, como por ejemplo por la policía de tráfico para detectar la velocidad de los vehículos o los barcos para la detección de boyas en situaciones de baja visibilidad y mal tiempo.



Figura 1.1 Radar Original. Fuente [1]

## 2. Introducción

La siguiente memoria presenta los resultados obtenidos tras la realización del Trabajo de Fin de Grado y de las Prácticas Externas llevadas a cabo en el Regimiento de Artillería Antiaérea nº 73 (RAAA 73) como parte del Plan de Estudios impartido por el Centro Universitario de la Defensa en la Academia General Militar.

Las unidades de Artillería Antiaérea (AAA) [3] participan en el control del espacio aéreo con sus sistemas de mando y control, sus sensores de vigilancia aérea y las capacidades de sus sistemas de transmisión automática de datos. Los centros de operaciones de Artillería Antiaérea reciben información fiable de la situación aérea de la RAP (Recognized Air Picture - lista completa de todos los aviones en vuelo de un determinado espacio aéreo), identifican posibles objetivos, evalúan la amenaza inmediata y toman decisiones sobre el empleo de las armas cuando les corresponda.

Debido a la creciente amenaza en el espacio aéreo actual, los radares cumplen una importante función en el seguimiento y control del mismo, así como en la detección de elementos (trazas<sup>1</sup>) que puedan suponer una amenaza para la seguridad territorial, lo cual justifica la necesidad de implementar radares que permitan desarrollar estas funciones de manera óptima. Además, la integración de un conjunto de radares actuando de manera coordinada posibilita obtener una amplia información acerca de las amenazas aéreas convencionales.

En el contexto del Regimiento de Artillería Antiaérea nº 73, la unión de la amenaza aérea señalada, sumada a la necesidad de actualizar las capacidades técnicas y tácticas de los radares, plantea el reto de buscar alternativas que puedan sustituir o complementar al radar RAC 3-D, utilizado en el Centro de Operaciones de Artillería Semiautomático Medio (COAAS-M). El sistema de radar está orientado a dotar al jefe de la AAA la información disponible y la capacidad de vigilancia y control para sistemas de media, baja y

---

<sup>1</sup>Representación gráfica de una aeronave en los terminales y/o pantallas de los sistemas radar.

muy baja altura, por otro tipo de radares, debido principalmente a que el software que emplea origina errores de correlación<sup>2</sup>.

En este TFG se plantean estudiar varias alternativas, teniendo en cuenta las capacidades técnicas y tácticas de cada uno de ellos, así como su idoneidad a la hora de integrarse con el sistema de mando y control.

El estudio de las posibles alternativas respecto al radar RAC 3-D tiene como objetivo servir de orientación y asesoramiento al mando a la hora de adquirir nuevos radares para el COAAAS-M, que permitan mejorar el rendimiento actual de manera que se vea optimizada su función y pueda cumplir su misión en el contexto de las Fuerzas Armadas (FAS), especialmente en las unidades del Ejército de Tierra (ET).

## **2.1. Justificación**

Teniendo en cuenta las necesidades de las unidades de Artillería Antiaérea dentro del marco del Ejército de Tierra y con el objetivo de garantizar el cumplimiento de las misiones que pudieran serle asignadas en lo referente al control del espacio aéreo, el estudio de la viabilidad de la posible sustitución del radar RAC 3-D por otros radares pretende identificar las posibles alternativas con el fin de mantener y potenciar las capacidades del COAAAS-M. Por otro lado, dicho estudio pretende a su vez suministrar información en la que el mando pueda fundamentar una elección que contribuya a optimizar las capacidades de sus unidades, presentándole diferentes alternativas que respondan a las necesidades de las mismas.

## **2.2. Objetivos**

El objetivo general de este trabajo es determinar si la integración de nuevos radares en el COAAAS-M simplificaría y mejoraría los sistemas de mando y control, prescindiendo del propio radar RAC 3-D utilizado actualmente en dicho sistema de mando y control.

Respecto a los objetivos específicos, cabe destacar los siguientes:

- Analizar la importancia de la integración de los radares en los sistemas de mando y control.
- Analizar y describir las ventajas e inconvenientes de dichos radares integrados en los sistemas de mando y control.

---

<sup>2</sup> Función por la que se funde la información procedente de diferentes fuentes en una traza que se presentan en las diferentes consolas de los FDC [4]. Un FDC (Centro Director de Fuegos) es el lugar donde se lleva a cabo la dirección y el control del combate antiaéreo.

- Analizar la posibilidad de sustituir el radar RAC 3-D utilizado en el COAAAS-M por otro tipo de radares, o en todo caso de complementarlo con este último.
- Estudiar la posibilidad de enlace del radar Sentinel vía radio con el COAAAS-M.

### **2.3. Alcance**

El estudio se centrará tanto en la importancia que tienen actualmente los radares en la integración con los sistemas de mando y control, como en la viabilidad de la sustitución del radar RAC 3-D, empleado actualmente en el COAAAS-M, por otro tipo de sensores con la finalidad de aumentar la eficacia de una Unidad de Defensa Antiaérea (UDAA), o en todo caso complementarlo con este último.

Para poder establecer una serie de parámetros en los que fundamentar la selección de los radares candidatos a sustituir al radar utilizado actualmente en el COAAAS-M se ha recopilado información a partir de la consulta a expertos, la cual se ha obtenido a través de cuestionarios. Esta colaboración contribuirá posteriormente a la decisión del mando en la selección de otro radar.

Es relevante señalar que los radares a estudiar deben ser compatibles con COAAAS-M, quedando fuera de la consideración de dicho estudio aquellos que no posean unas características que adecúen su uso con este sistema de mando y control.

### **2.4. Metodología**

-Documentación y estudio previo. El material empleado en la realización de este trabajo se basa en la información recabada por medio de diversas reuniones y entrevistas con los Cuadros de Mando del Regimiento de Artillería Antiaérea nº 73 de Cartagena y en la extraída de los informes de los juicios críticos que se desarrollaron durante y después de unas maniobras, denominadas como “Nube Gris” que se llevaron a cabo en colaboración con el ejército del Aire, así como de otras maniobras de integración y vigilancia del espacio aéreo en Ribadeo (Lugo) durante la tercera semana del mismo mes.

Además, también utiliza información procedente de diversas fuentes: manuales de instrucción y adiestramiento, libros de doctrina y empleo táctico, páginas web, revistas, libros e informes de personal destinado en la unidad.

Una vez llevada a cabo la preselección de la documentación e información extraídas a partir de las citadas fuentes, se realizó una criba para seleccionar los materiales cuyo contenido resultó más adecuado en relación a la temática tratada.

Estudio de alternativas. Para el estudio de las posibles opciones que podrían sustituir o complementar al radar RAC 3-D se va a llevar a cabo un análisis DAFO y un análisis comparativo.



## 2.5. Contexto de la Base

El RAAA 73 [5] se ubica en la localidad de Cartagena, en el acuartelamiento de Tentegorra. Este regimiento depende del Mando de Artillería Antiaérea de la Fuerza Terrestre, formando junto con otras Unidades el conjunto de medios, humanos y materiales, que se organizan con el propósito de realizar operaciones militares.

El material del Regimiento cuenta con material Aspide, Nasams y cañón bitubo 35/90.

Sus principales misiones son las de participar en la defensa antiaérea del territorio nacional, adiestrar los módulos de mando y control, logístico y de fuego necesarios para la constitución de las unidades de Defensa Antiaérea y colaborar con las Fuerzas y cuerpos de seguridad del Estado y autoridades civiles participando en labores de ayuda humanitaria y misiones de mantenimiento de paz.

## 3. Fundamentos del Radar

El elemento principal de un radar [6] consiste en una antena transmisora que emite omnidireccionalmente o en una dirección determinada del espacio la energía electromagnética generada. La energía transmitida es interceptada por el blanco y es reflejada. La antena receptora (muchas veces es la misma que la transmisora) recoge dicha energía y la entrega al receptor, obteniendo la información que se necesite. A continuación se detallan algunas de las características asociadas a un radar:

### Características técnicas:

- **Resolución en distancia:** discriminación entre dos blancos que se encuentran situados en la misma dirección.
- **Resolución angular:** capacidad de discriminar información espacialmente. Como podemos apreciar en la Figura 3.3, está condicionada por el ancho de haz. La utilización de sensores con haces muy estrechos incrementa la precisión de la posición del blanco, aumento en la detección de blancos en presencia de obstáculos y disminuye el nivel de ruido recogido por el sensor.
- **Frecuencia:** los sistemas de radar trabajan en una amplia banda de frecuencias de transmisión (Ver ANEXO III). Cuanto mayor sea la frecuencia de un sistema de radar, tanto más se ve afectada por condiciones meteorológicas como la lluvia o las nubes debido principalmente a la absorción de radiación debida a la presencia de vapor de agua, dióxido de carbono y ozono (entre otras sustancias). Sin embargo, cuanto mayor es la frecuencia de transmisión, mejor es la precisión del sistema de radar.

Características de propagación:

Los gases presentes en la atmósfera afectan a la propagación de las ondas electromagnéticas, y en consecuencia, influyen en el rendimiento global de las funciones del radar. Conforme aumenta la frecuencia del sensor, las atenuaciones son mayores. Además, existen ciertas bandas de frecuencias en que la concentración de los principales absorbentes de radiación (vapor de agua, dióxido de carbono y ozono) afectan de manera más contundente a dichas bandas (ver Figura 3.1 y 3.2).

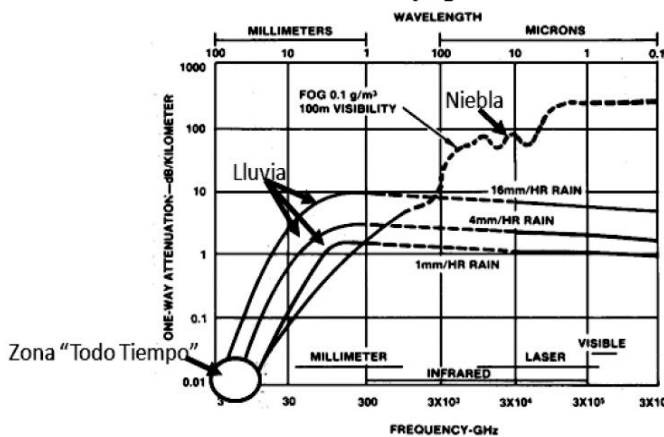


Figura 3.1 Atenuación debido a condiciones meteorológicas. Fuente [6]

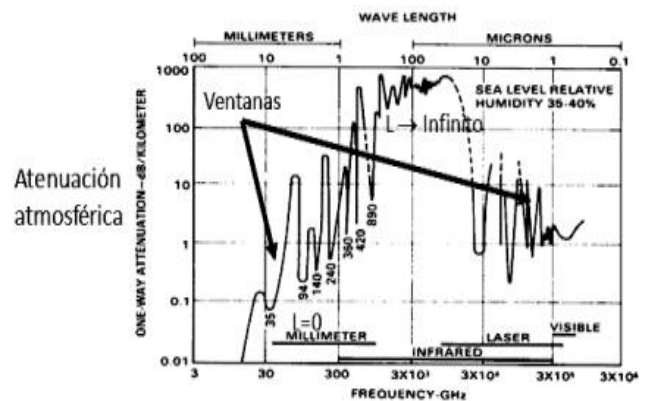


Figura 3.2 Atenuación atmosférica. Fuente [6]

Otras características:

- **Peso y tamaño:** ambas características están generalmente ligadas a la longitud de onda de trabajo, por lo que a medida que se sube en frecuencia, los equipos tienden a ser más pequeños y ligeros.

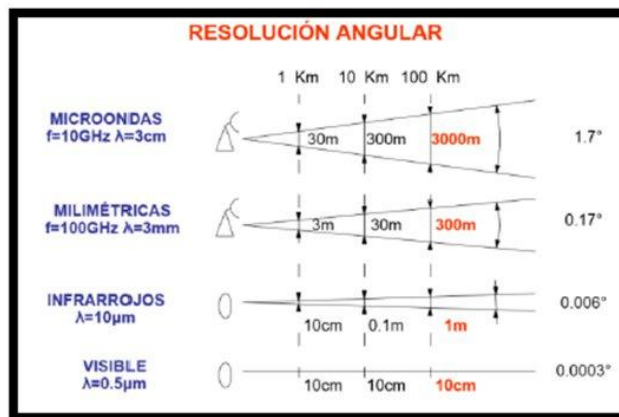


Figura 3.3 Resolución Angular. Fuente [6]

## 4. Análisis de radares en uso del Ejército español

En este apartado se va a realizar un estudio de diferentes radares que actualmente se encuentran operativos en el Ejército de Tierra (RAC 3-D, Sentinel y AN/TPS 43-E) y el Ejército del Aire (Lanza Banda D). Para conocer las capacidades del radar RAC 3-D y de los seleccionados como posibles sustitutos se va a

proceder a realizar un análisis utilizando una herramienta denominada DAFO<sup>3</sup>, con la finalidad de conocer los aspectos positivos y negativos de estas integraciones.

#### 4.1. Radar RAC 3-D:

Se trata de un sistema radar de exploración en tres dimensiones (distancia, acimut y altura). Trabaja en la banda C (Banda radar UHF). Detecta objetivos a media, baja y muy baja altura, incluyendo helicópteros. Además, está asociado con un COAAAS-M. Proporciona interoperabilidad con niveles superiores tales como el Sistema de Defensa aérea (ADS) [8].

Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducida maniobrabilidad del Grupo electrógeno.</li> <li>• Reducida movilidad.</li> <li>• Alto consumo del vehículo tractor.</li> <li>• Dificultad de enmascaramiento.</li> <li>• Complejidad de correlación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meteorología (vientos fuertes).</li> <li>• Vulnerabilidad ante ataques terrestres.</li> <li>• Altas temperaturas.</li> </ul>
Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integración mediante fibra óptica con COAAAS-M.</li> <li>• Alcance (100 km).</li> <li>• Posicionamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actualización del software.</li> </ul>

Tabla 1. Análisis DAFO RAC 3-D

Lo más destacable de este sensor es su capacidad de detección, pues abarca un alcance de hasta 100 km. También cabe destacar que a diferencia de otros radares, éste no necesita asentarse en la posición más alta del terreno, sino que puede situarse en diferentes ubicaciones, ya que su mástil le permite adoptar diferentes alturas (ver Figura 4.1 Radar RAC 3D). Sin embargo, además de las debilidades citadas en el anterior análisis, las cuales han sido extraídas basándonos en las indicaciones aportadas por los Mandos del RAAA 73 (Ver ANEXO II) en base a su propia experiencia acerca de las deficiencias que presenta el radar RAC 3-D en su integración con el COAAAS-M, cabe destacar que es habitual que se produzcan errores de correlación de trazas, lo que origina que aparezcan trazas duplicadas.

<sup>3</sup>Este tipo de análisis [7] consiste en la representación en una matriz de las Debilidades y Fortalezas internas frente a las Oportunidades y Amenazas externas de forma que se pueden conocer las ventajas competitivas respecto al entorno.

Además, su tamaño implica que tenga una reducida movilidad tanto en carretera como en todo tipo de terrenos. Siempre se deben tener en cuenta sus dimensiones a la hora de pasar por túneles, puentes etc. ya que de no hacerlo existe riesgo de colisión. Otro aspecto a tener en cuenta es la nivelación del terreno en el que se posiciona, ya que si no está adecuadamente nivelado, durante la elevación de la antena se verá modificado el centro de gravedad del radar, existiendo un riesgo de vuelco.

El adecuado conocimiento de las citadas deficiencias que presenta este radar en su integración con el COAAAS-M nos servirá posteriormente a la hora de llevar a cabo una selección de posibles sustitutos al radar RAC 3-D, en caso de que éste pudiera ser sustituido por otro modelo, así como a tener en cuenta los aspectos a fortalecer en caso de que pudiese mejorarse su capacidad técnico-táctica con apoyo de otros radares.



**Figura 4.1 Radar RAC 3-D. Fuente [8]**

#### **4.2. Radar Sentinel:**

Se trata de un radar multifunción, es decir, es capaz de realizar las operaciones de exploración, verificación, adquisición, seguimiento e identificación de objetivos. Además, tiene un volumen de exploración definido por 6400 milésimas (360°) en orientación, 75 km de alcance y capacidad de seguimiento de  $-10^{\circ}$  a  $55^{\circ}$  en elevación. Trabaja en la Banda radar X (Banda I/J). Puede ser remolcado por vehículo estándar militar, aerotransportado en avión del tipo C-130 Hércules o helitransportado en helicópteros de la capacidad del CH-47 Chinook [9].

El radar clasifica las trazas en aeronaves de ala fija, rotatoria (helicópteros) o vehículos aéreos no tripulados (UAV) en función de su velocidad [4].

Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posicionamiento. Debe de ser colocado en terreno dominante (cotas).</li> <li>• Actualizaciones constantes de software y hardware.</li> <li>• Alta Instrucción del operador.</li> <li>• Totalmente dependiente de la operatividad del Grupo electrógeno del camión que lo transporta.</li> <li>• Alto coste de mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad en obtener determinados repuestos de material.</li> <li>• Meteorología.</li> <li>• Vulnerabilidad ante ataques terrestres.</li> <li>• Elementos visibles desde el espacio aéreo.</li> </ul>
Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño reducido.</li> <li>• LPI.</li> <li>• Radar multifunción.</li> <li>• Enmascaramiento.</li> <li>• Poco personal.</li> <li>• Movilidad estratégica (capacidad de ser transportado por tierra, mar o aire)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducida vulnerabilidad frente a misiles anti-radiación.</li> <li>• Facilidad en la instrucción de los sirvientes.</li> <li>• Alta capacidad de auto-instrucción del operador.</li> <li>• Mejoras futuras a AN/MPQ-64F1 con mejores capacidades.</li> </ul>

Tabla 2. Análisis DAFO Sentinel

A diferencia del sensor definido anteriormente, el radar Sentinel, como se muestra en la Figura 4.2, al tener un reducido tamaño, es apto para despliegues en vanguardia gracias a su facilidad de ocultación. Una de las principales ventajas del equipo es que emite una radiación de baja intensidad, por lo que tiene una baja probabilidad de intercepción (LPI). Además, la meteorología le afecta en menor medida que al sensor anterior, ya que el Sentinel trabaja en frecuencias menores.



Figura 4.2 Radar Sentinel. Fuente [9]

Sin embargo, su principal inconveniente es que necesita ser asentado en la posición más alta del terreno para evitar que tenga zonas ciegas.

### 4.3. Radar AN/TPS 43-E

Se trata de un radar tridimensional que trabaja en la banda E/F (banda radar S). Actualmente, este sensor se encuentra asociado a un Centro Operacional (OC). Es capaz de detectar aviones de alta velocidad y aviones de vuelo bajo, así como proporcionar datos acerca de la elevación, la altura y el azimut de la trayectoria de vuelo de los mismos. Además este radar resulta compatible con la mayoría de los tipos de centros de operaciones, desde los más simples de tipo manual a los más sofisticados de tipo automático y puede llevar a cabo la vigilancia y control de los aviones de manera autónoma [10].

Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lentitud en despliegue y repliegue.</li> <li>• Tamaño.</li> <li>• Enmascaramiento.</li> <li>• Mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión.</li> <li>• Ionización de las capas atmosféricas.</li> <li>• Vulnerabilidad ante ataques terrestres.</li> </ul>
Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alcance.</li> <li>• Alta capacidad de detección de blancos.</li> <li>• Movilidad estratégica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejoras en diseño.</li> <li>• Resistencia a la interferencia electrónica.</li> <li>• Repuestos.</li> </ul>

Tabla 3. Análisis DAFO AN/TPS 43-E

Lo más destacable del radar es que su experiencia en el campo ha proporcionado a la empresa Westinghouse (creadora del sistema), una información valiosa para realizar mejoras. El resultado ha sido el de un radar (AN/TPS 43-E), que comparado con su versión anterior (AN/TPS 43) ha logrado tener mayor rendimiento, mayor capacidad operativa y menor coste. Además, también se ha rediseñado con el objetivo de llevar a cabo una reducción en tamaño y peso. Este nuevo diseño, no sólo reduce la complejidad y volumen del subsistema, sino que también reduce el costo de repuestos. Por otro lado, es de destacar su facilidad en movilidad, ya que el equipo radar puede ser transportado en camión, helicóptero e incluso por un avión de carga C-130.

Sin embargo, uno de los mayores inconvenientes del radar es el mantenimiento que conlleva, pues necesita de un elevado número de personal, así como del requerimiento de experiencia e instrucción necesaria para realizar dicho mantenimiento. Además, respecto a otros radares, este sensor necesita más tiempo para poder estar operativo, aproximadamente una hora para su despliegue total, ya que es preciso emplear bastante tiempo en el montaje de la antena.

Otro de los inconvenientes es que su funcionamiento puede verse afectado por los cambios que habitualmente ocurren en la ionosfera, debido a las frecuencias en las que el radar trabaja. La ionosfera es una capa de la atmósfera situada entre los 90 y los 400 km de altura. Presenta la particularidad de que en ella los átomos se ionizan y liberan electrones por efecto de la luz solar, formándose en la atmósfera lo que se denomina “plasma” de electrones e iones. En cierto modo, al existir una nube electrónica en la ionosfera, ésta se comporta como una pantalla/espejo en ciertos rangos de del espectro electromagnético. No obstante, dependiendo de la concentración de iones, existirá mayor o menor “blindaje” frente a las señales [11].



Figura 4.3 Radar AN/TPS 43-E. Fuente [10]

#### 4.4. Radar Lanza Banda D

El Lanza [12] es un radar creado por la empresa Indra. Se trata de un sensor de exploración 3D, es decir, registra la distancia, el acimut y la altura. Trabaja en la banda D (Banda radar L) y ofrece un largo alcance. Puede emplearse en misiones de vigilancia y control del espacio aéreo. También es capaz de

integrarse en un sistema multirradar con diferentes sensores en funcionamiento remoto o autónomo. Además, puede detectar, extraer y generar informes de blancos, incluso en ambientes de *clutter* o contramedidas electrónicas (ECM), sobre un volumen de cobertura de 10 a 470 km en distancia, 360 ° en acimut y 20 ° en elevación.

Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lentitud en despliegue y repliegue.</li> <li>• Gran Peso (42.800 Kg).</li> <li>• Enmascaramiento.</li> <li>• Peligro de fuego o explosión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vulnerabilidad ante ataques terrestres.</li> <li>• Meteorología.</li> </ul>
Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alcance.</li> <li>• Precisión.</li> <li>• Alta capacidad de detección de blancos.</li> <li>• Posibilidad de inhibir su emisión.</li> <li>• Transportabilidad.</li> <li>• Detección de fallos.</li> <li>• Facilidad en mantenimiento.</li> <li>• Diseño.</li> <li>• Procesador de señal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Últimos avances contra interferencias naturales o provocadas.</li> <li>• Necesidad de pocos repuestos.</li> </ul>

Tabla 4. Análisis DAFO Lanza Banda D

Una de sus principales fortalezas es su capacidad de volumen de cobertura, expuesta anteriormente. Otra de sus ventajas es su polivalencia y flexibilidad, basadas en un diseño modular y repetitivo, garantizando un fácil mantenimiento y un número mínimo de repuestos. Otra de sus fortalezas es que tiene la capacidad de definir las zonas (en elevación y acimut) en las que puede inhibir su emisión con el propósito de disminuir su "firma" con el fin de excluir la zona que está siendo rastreada por el enemigo. Además, añade la ventaja de un diseño en el que su transportabilidad ha sido un pilar fundamental en su creación. Las interconexiones entre los diferentes elementos se realizan mediante un número reducido de cables flexibles para permitir una mayor facilidad en su despliegue y repliegue. También dispone de la capacidad de detectar fallos de potencia en las antenas.



En cuanto a su procesador de señal, dispone de procesos MTI/MTD adaptativos para eliminar todo tipo de *clutter* (terreno, atmosférico...) sobre cualquier zona del volumen de cobertura.

Respecto al riesgo de fuego o explosión, el alto nivel de radiación de las antenas puede producir chispas entre las puntas metálicas o superficies próximas. Se pueden inducir altas corrientes en objetos metálicos, no puestos a tierra, situados en las proximidades del array de la antena.

Por último, sus grandes dimensiones provocan que el proceso de puesta en posición sea muy largo, de hasta 10 horas.



Figura 4.4 Radar Lanza Banda D. Fuente [12]

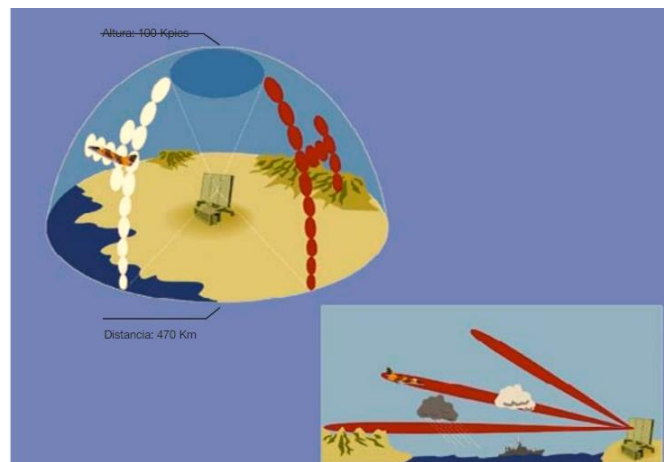


Figura 4.5 Capacidades del Lanza Banda D. Fuente [12]

## 5. Centro de Operaciones de Artillería Semiautomático Medio (COAAS-M)

El Centro de Operaciones de Artillería Semiautomático [13] actúa como Puesto de Mando de una Unidad de Artillería Antiaérea (PCMDAA) y es desde donde se dirige y controla la batalla antiaérea en tiempo real. Está formado por tres células: La primera de ellas es la denominada Centro de Información y operaciones (CIO), encargada del planeamiento y despliegue de todas las unidades de defensa antiaérea integradas en el Sistema de Defensa Nacional (SDA). La segunda célula es el Centro de Personal y Logística (CPL), donde se desarrollan las acciones dirigidas a sostener el combate de las unidades que se generen, correspondientes a funciones logísticas. Por último, y más importante, se encuentra el Centro Director de Fuegos (FDC). El FDC tendrá como principal objetivo el de conocer la cobertura real de los radares y sistemas de armas, permitiendo evaluar la situación actual, así como de tomar la decisión más adecuada frente a una amenaza. Además, el sistema COAAS-M está compuesto por un radar de exploración (RAC 3-D), terminales inteligentes (TI) para integrar sistemas SHORAD (sistemas de baja y muy baja cota) y

terminales de puesto de observación (TPO). El TPO suministra información acerca de incursiones aéreas que se produzcan en zonas no cubiertas por los sensores de la Unidad de Artillería Antiaérea.

Para llevar a cabo su misión el COAAAS-M necesita disponer de determinadas capacidades [14]:

- Enlace con el Centro de control aéreo (ARS), escalón superior al cual está subordinado el COAAAS-M. Este centro actúa como entidad superior de la UDAA, es decir, es una autoridad con capacidad de identificación (capacidad de decidir la hostilidad de una traza) y de empeño (capacidad de ordenar que se abra fuego sobre una traza) durante toda la operación. Estas autoridades podrían ser delegadas a una unidad subordinada en caso de que fuese necesario.
- Ejercer el control táctico (control de los fuegos) cuando proceda.
- Capacidad de centralizar, evaluar y difundir la información que reciba sobre aeronaves de ala fija, o ala rotatoria (helicópteros), que se encuentren en la zona de combate. El COAAAS-M utiliza un protocolo de enlace de datos y fonía (mediante cable u ondas de radio) denominado Link 11-B con el fin de proporcionar y recibir información.
- Proporcionar información del espacio aéreo en tiempo real.
- Difundir las medidas tácticas y técnicas para contrarrestar la amenaza aérea.

Por otra parte, el FDC del COAAAS-M es capaz de ejercer el Mando y Control sobre un radar RAC 3-D,

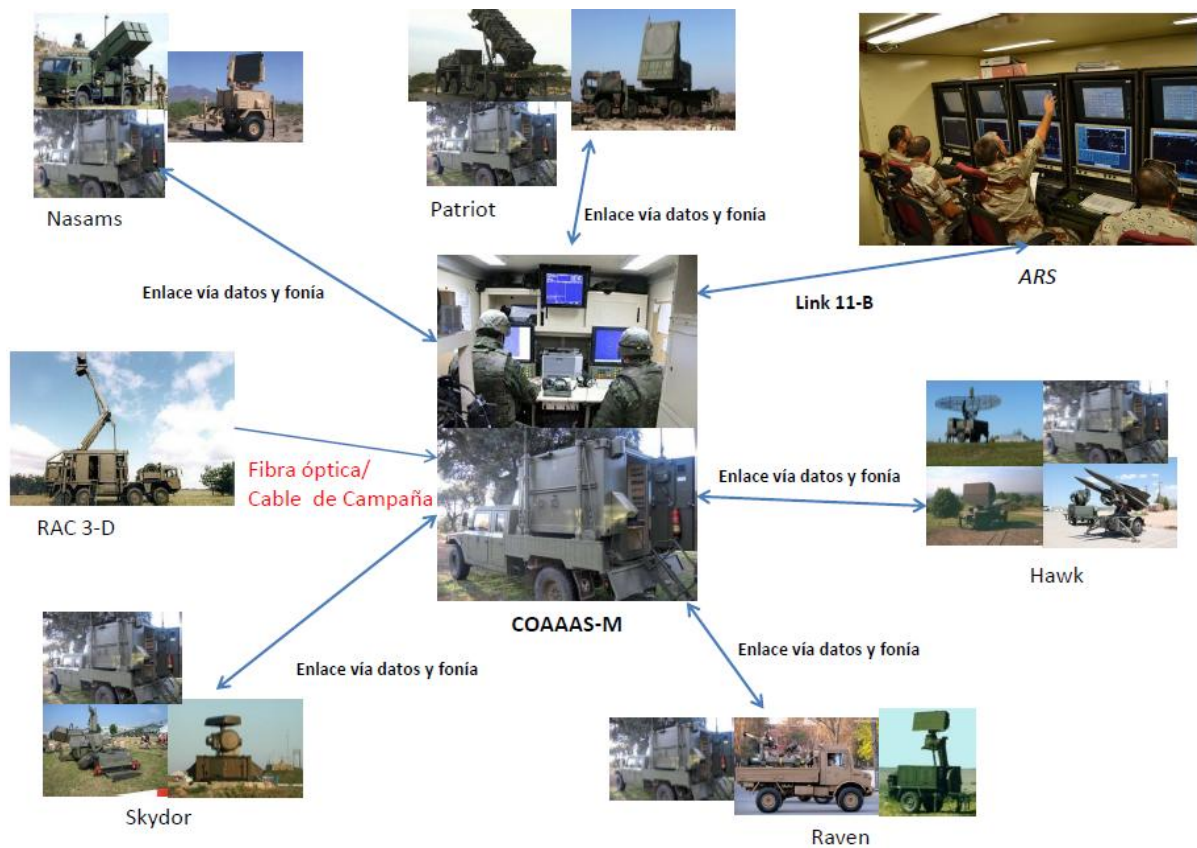


Figura 5.1 Sistemas subordinados al COAAAS-M (Elaboración propia)

así como sobre seis Centros de Operaciones de Artillería Antiaérea Ligero (COAAAS-L), el cual es un sistema orientado a dotar al jefe de la Artillería Antiaérea de capacidad de vigilancia y control para sistemas de baja y muy baja altura. También lo ejerce sobre unidades de tiro de media altura y unidades de corto alcance, como por ejemplo las direcciones de tiro Skydor.

Como se muestra en la Figura 5.1, el COAAAS-M está asociado al radar RAC 3-D, enlazado mediante fibra óptica o cable de campaña y a una serie de sistemas subordinados mediante datos y fonía (Link 11-B). En la figura se muestra en el centro de la imagen el COAAAS-M, formado por un shelter en el que se encuentran los dos operadores (TDO y TDA) cuya misión es recibir y transmitir información tanto a su escalón superior (ARS) como a sus sistemas subordinados (Nasams, Patriot, Hawk...). Es el COAAAS-M el encargado de tomar la decisión de qué sistema de armas es el que realiza el fuego con sus lanzadores de misiles. Cada uno de los sistemas subordinados al COAAAS-M, está formado por un shelter con sus dos operadores cuyo objetivo, al igual que los operadores TDO Y TDA, es recibir y transmitir información, uno o varios radares para adquirir información del espacio aéreo y de lanzadores de misiles.

Además, en la Figura 5.2, se representan las capacidades máximas permitidas en un COAAAS-M. Puede crearse de diferentes maneras: en primer lugar, en el COAAAS-M pueden implementarse hasta 4 sistemas (indistintamente Hawk, Nasams, Patriot o una combinación de los tres); en segundo lugar, puede implementar hasta 2 sistemas y 6 COAAAS-L; por último, en tercer lugar tiene la capacidad de formar 2 sistemas y 18 terminales inteligentes con los elementos que lo conforman.

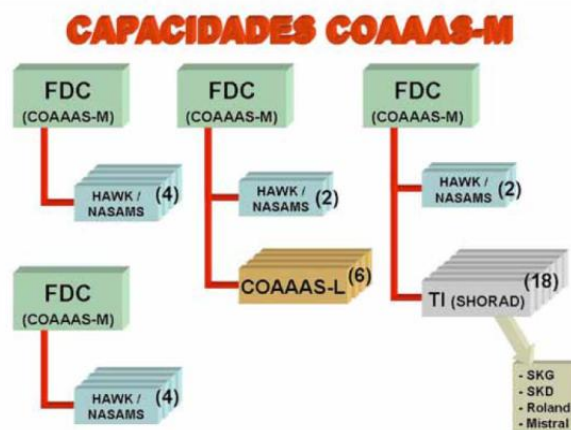


Figura 5.2 Capacidades del COAAAS-M. Fuente [13]

## 6. Integración de los sistemas radar en los sistemas de mando y control

Actualmente, los radares en los sistemas de mando y control ocupan un importante papel en la detección de amenazas en el espacio aéreo. Para que un sistema de armas sea capaz de hacer fuego sobre una traza, son imprescindibles los datos que envían los radares a dichos sistemas. Por eso, es de gran importancia

contar con los radares más avanzados en el contexto actual, ya que cada vez son más las amenazas que cuentan con medios para burlar la defensa aérea.

Además, con los radares se aumenta la eficacia a la hora de identificar la ubicación de una traza, ya que en todo momento es posible conocer la posición de ésta. El proceso de identificación es continuo. Una vez que la traza ha adquirido una determinada identidad (amigo, supuesto amigo, desconocido, sospechoso, enemigo) es necesario seguir monitorizándola, ya que si el comportamiento de la traza cambia, ésta puede adquirir otra identidad [15].

Gracias a la recepción de señales obtenidas por los radares [16], los jefes de los sistemas de Mando y Control adquieren la información necesaria para tomar y transmitir sus decisiones a través de múltiples canales de transmisión.

Además, la integración en una misma red de todos los elementos del sistema (FDC, radares, lanzadores y sistemas de mando y control) capacita al COAAAS-M para enviar órdenes a los diferentes sistemas subordinados. Del mismo modo, permite integrar la información y las órdenes procedentes de otros escalones a través del enlace de datos LINK-11B [9].

## **6.1. Integración del sistema con el radar Sentinel**

El radar del sistema NASAMS [9] es el AN/MPQ-64 M1, mayormente conocido como “Sentinel” que se integra dentro de cada FDC NASAMS. Este tiene un alcance eficaz de 75 km, dotando al sistema de armas de una gran capacidad de control y detección. Además, a esto se le une la capacidad que ofrece dicho radar en la identificación IFF<sup>4</sup>. Asimismo, dispone de una RAP recibida mediante la vía Link 11-B que permite el seguimiento y control del espacio aéreo. Puede seguir simultáneamente a más de 60 blancos. Sin embargo, el principal inconveniente del Sentinel español radica en el hecho de que debe enlazarse a través de un cable de campaña (se usa para establecer una conexión de datos y fonía entre diferentes sistemas) con el FDC para la transmisión de los datos de las diferentes trazas, pudiendo desplegar únicamente hasta una distancia de 1.000 metros del mismo. Dicho inconveniente se podría suplir si el medio de comunicación fuese la radio.

Habría dos formas de llevarlo a cabo: por un lado, mediante la adquisición del radar Sentinel AN/MPQ-64 F1 (última versión con mayores capacidades en conjunto y enlace vía radio). Por otro lado, se podría implementar en el radar que hay ahora mismo, ya que el sistema español tiene incorporados los conectores necesarios para hacerlo, pero se necesitaría modificar su software. Actualmente, en EEUU, dicho radar puede distribuir sus datos a través de una red de radio SINCGARS (red radio de combate) utilizado en EEUU y otros países como Noruega y Finlandia, entre otros [17].

---

<sup>4</sup>Identification Friend or Foe. Capacidad de discernir entre objetivo amigo o enemigo y de correlacionar los datos resultantes bien de forma automática o bajo control del operador.

## 6.2. Integración del sistema con el radar RAVEN

El COAAAS-L está integrado dentro del COAAAS-M mediante equipos de radio PR4-G. Está constituido por un radar de exploración denominado RAVEN [18] el cual está dotado de una consola radar llamada CONRAD para la presentación de la información. El radar RAVEN tiene como principal misión la de seguir y controlar el espacio aéreo a baja y muy baja altura dentro de un radio aproximado de 20 km. Como se muestra en la Figura , el COAAAS-L únicamente puede integrar como máximo 2 radares RAVEN.

La conexión física entre el radar y la Unidad de Control de Empeños (UCE) se puede realizar vía radio o cable. Existen dos variantes de enlace: si la UCE está conectada a 2 radares RAVEN, uno de los radares está conectado a la UCE mediante cable y el otro mediante radio, siendo la información de ambos fusionada y procesada por ésta. Por otra parte, en el caso de estar conectado el sistema a un único radar, la conexión entre ambos puede realizarse mediante cable o radio.

Finalmente, el radar tiene la capacidad de poder ser controlado desde su consola CONRAD (control local) o por la UCE (control remoto)<sup>5</sup>.

Como se muestra en la Figura 6.1, un COAAAS-L puede estar constituido como máximo de dos radares RAVEN. Cada uno de ellos tiene una CONRAD donde se presenta dicha información, transmitiéndola a la UCE. Cada pelotón Mistral tiene asociado tres terminales inteligentes (TI) para proporcionar y recibir información de la UCE acerca del espacio aéreo.

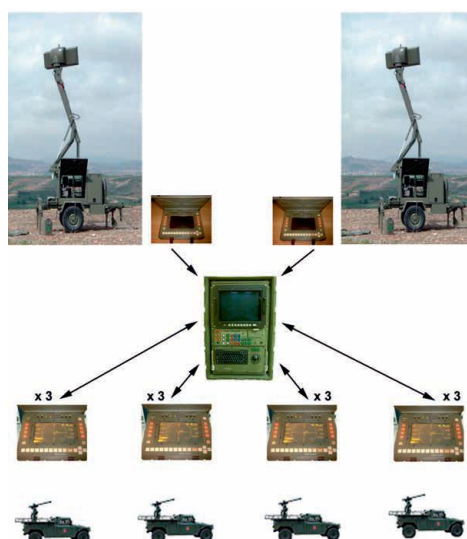


Figura 6.1 Composición del sistema. Fuente [18]

<sup>5</sup>En modo remoto la UCE realiza el control de todas las funciones del radar, ignorándose las órdenes locales de la CONRAD.

### **6.3. Integración del sistema con el radar RAC 3-D**

La integración de datos y fonía entre el radar RAC 3-D y el FDC se realiza a través de un cable de fibra óptica de hasta 500 metros de longitud. En unos de los lados del *shelter* (estructura arquitectónica que protege de la intemperie el interior del FDC), tiene asociado un conector de fibra óptica del tipo CTOS y por el otro un conector de fibra óptica (de tipo ST) altamente resistente, recomendado para entornos donde la seguridad de conexión es crítica [8]. De esta manera, se realiza la conexión bidireccional de los equipos de fibra óptica instalados en el *shelter*.

La manipulación del cable debe hacerse mediante el procedimiento descrito en el ANEXO I.

Actualmente, la principal ventaja de dicha integración es que se han realizado pruebas, con resultados satisfactorios, en las cuales a través de medios alternativos como son el uso de la radio o cable de campaña, se ha aumentado la distancia entre FDC y radar.

### **6.4. Integración del sistema con los radares del sistema HAWK**

El Hawk es un sistema de armas de medio alcance y uno de los sistemas de defensa antiaérea más veteranos. Está integrado con el COAAAS-M mediante fonía y datos. A su vez, el sistema Hawk queda enlazado con los dos radares que tiene a su disposición de la siguiente manera [19] [20]:

- Radar CWAR (radar de adquisición de onda continua): la integración se realiza mediante la conexión de un cable de datos entre el Puesto de Mando de Batería (BCP) y el radar, así como de unos cables de comunicaciones desde el radar a la BCP. Todo el despliegue del tendido lo dirige el Suboficial jefe del equipo.
- Radar PAR (Radar de Adquisición de Impulsos): toda la información de los blancos detectados por el radar es transferida digitalmente mediante el Procesador Digital de Señal (DPS) a la BCP, representándose en la consola de control táctico de presentación y enganche (TDECC).

### **6.5. Integración del sistema con el radar AN/MPQ-53**

El Patriot es un sistema de misiles tierra-aire de largo alcance [21] [22]. Su sensor es un radar multifuncional capaz de llevar a cabo las funciones de búsqueda, identificación, adquisición, seguimiento, guiado del misil y medidas EPM (protección electrónica). El alcance teórico es de 3 a 170 km y sus sectores de búsqueda y seguimiento son de 90° y 120° respectivamente. Además, este radar es 3D, proporcionando al sistema una altura muy precisa de los objetivos. El conjunto de elementos que conforman el radar están bajo control del Centro Operacional de Control (ECS), lugar donde se llevan a cabo las funciones de la batalla aérea en tiempo real. El radar y el ECS se encuentran enlazados mediante un cable de campaña para proteger los datos contra interferencias electromagnéticas. A su vez, como los demás Puestos de Mando y Control expuestos anteriormente, éstos están enlazados con el COAAAS-M mediante datos y fonía.

## 7. Ventajas e inconvenientes de los radares integrados en los sistemas de mando y control

Las principales ventajas que surgen de la integración de los sistemas de mando y control con los radares son los que a continuación se detallan:

1. Los sistemas de radares ofrecen la posibilidad de compartir información en tiempo real entre los diferentes sistemas integrados, es decir, que la información detectada y registrada por un radar de uno de los sistemas es visible en todos los restantes sistemas, así como en el propio FDC del COAAAS-M. A consecuencia de ello, es posible abarcar un espacio aéreo mayor que si cada sistema funcionase de forma independiente.
2. Los sensores no deben de radiar hasta que sea necesario para adquirir y combatir una incursión aérea (control de emisiones), debiendo recibir una alerta temprana por otros medios como, por ejemplo, la procedente del radar RAC 3-D, es decir, la integración de todos los radares y sistemas con el COAAAS-M contribuye a que únicamente estén en funcionamiento aquellos cuyo uso es necesario en un determinado momento.
3. Las limitaciones de cada uno de los sensores pueden verse compensadas por las capacidades de los restantes radares, de manera que se complementan entre ellos para no dejar ninguna capa aérea de vigilancia fuera de control (solapamiento de capas).

Los principales inconvenientes que surgen de la integración de los sistemas de mando y control con los radares son los que a continuación se detallan:

- Debido a que los diferentes radares vigilan el espacio aéreo desde distintas posiciones y registran información relacionada con las mismas trazas detectadas de manera simultánea y a tiempo real, resulta complejo correlacionar la posición de las trazas.
- El uso de un sistema (COAAAS-M) en el que se integran diferentes sistemas de mando y control requiere que tanto el Oficial Director Táctico (operador que ejecuta la conducción de la batalla aérea) como el Auxiliar del Oficial Director Táctico (TDA), posean un amplio conocimiento y experiencia en relación al mismo para poder interpretar adecuadamente la información que reciben de los radares.
- El hecho de que únicamente exista dos operadores en el COAAAS-M (TDO y TDA) implica un gran volumen de trabajo para llevar a cabo las comunicaciones con el escalón superior (ARS) y sus sistemas subordinados. Una posible solución a este inconveniente sería la de la creación de un Oficial Director de Fuegos (FDO) para los casos de UDAAs de gran entidad contra amenazas múltiples y simultáneas a media, baja y muy baja altura.
- Escasa cantidad de ejercicios y operaciones realizadas en los que se haya llevado al COAAAS-M al límite de sus capacidades, en cuanto al número de sensores y unidades de tiro integradas [14].

- Complicación en el momento de realizar un “diálogo” entre las diferentes conexiones necesarias para el buen funcionamiento del conjunto.
- Riesgos derivados de la escasa distancia entre los radares y los Puestos de Mando de los sistemas debido a la limitada extensión del tendido. La escasa distancia entre los radares y sus Puestos de Mando asociados provoca que en caso de amenaza o ataque exista un mayor riesgo para el personal debido a que los radares son los principales equipos que los posibles atacantes aéreos identifican.

## 8. Análisis Comparativo

A continuación, se va a proceder a realizar un análisis comparando las principales características del Radar RAC 3D y cada uno de los radares estudiados como posibles alternativas o complementos del mismo: Sentinel, AN/TPS 43-E y Lanza Banda D.

### 8.1. Análisis Comparativo Técnico

	Alcance (Km)	Potencia (kW)	Nº trazas simultáneas	Localización/ Seguimiento	Frec. (GHz)	Altura (m)	Viento (km/h)	Temp.	Puesta en Posición
RAC 3-D	100	80	>100	Si/No	0,3 a 1	13	<40 con rachas de hasta 60	-31° C a +43° C	15 min.
SENTINEL	75	5	>60	Si/Si	8 a 12	3,56	<84 con ráfagas de hasta 121	-46° C a +52° C	15 min.
AN/TPS 43-E	445 /408	350	*	Si/No	2 a 4	9	*	*	1 hora
Lanza Banda D	470	160	*	Si/No	1 a 2	15	<180 con vientos racheados	-40° C a +50° C	10 horas

Tabla 5. Características de los radares [8] [9] [10] [12] \*Clasificado (Elaboración Propia)

Nota: Todos trabajan en los 4 Modos IFF. ANEXO IV



## 8.2. Análisis Comparativo Subjetivo

Para la elaboración de este apartado se han llevado a cabo una serie de entrevistas al personal del Regimiento. A continuación se exponen las conclusiones extraídas a partir de las mismas. (Ver ANEXO II). En las Figuras 8.1, 8.2 y 8.3 se presenta un resumen de la comparación extraída de las encuestas realizadas (ANEXO II) a los miembros del Regimiento de Artillería Antiaérea N° 73.

### 8.2.1. Sentinel VS. RAC 3-D

La principal diferencia que se observa al comparar ambos radares es la de su alcance. Mientras que el RAC 3-D es capaz de detectar hasta 100 km, la capacidad del Sentinel es algo menor, en torno a 25 km menos, lo que provoca que este último pierda capacidad de alerta temprana contra objetivos cuando opera de forma descentralizada. Esta pérdida originaría una mayor limitación de área a cubrir de la UDAA que si se utilizase el RAC 3-D, ya que a más de 75 km no tendría control del espacio aéreo. Por tanto, el menor alcance que abarca el Sentinel afectaría de forma directa a las capacidades de la UDAA que se forma en base al COAAS-M, ya que ésta perdería capacidad de combate.

Respecto al ancho de haz utilizado por ambos radares, hay grandes diferencias entre ellos. El RAC 3-D utiliza un ancho de haz en acimut de 10° mientras el Sentinel utiliza un ancho en acimut de 1,8°. Esto indica que el Sentinel obtiene blancos con una mayor precisión, ya que, como se ha expuesto en el apartado "Fundamentos del Radar", cuanto más estrecho es el haz, más se incrementa la precisión de la posición del blanco. Además, se aumenta la detección de blancos en presencia de obstáculos y disminuye el nivel de ruido recogido por el sensor.

Otra de las grandes diferencias que existen entre ambos radares es la potencia a la que emiten. Se puede observar que la potencia del RAC 3-D es muy superior a la utilizada por el Sentinel, lo que provoca que las amenazas aéreas detecten con mayor facilidad al primero. Además, una de las grandes ventajas que tiene el Sentinel respecto al otro es el *blinking*, es decir, tiene la posibilidad de no emitir radiación cuando está realizando la exploración en busca de amenazas.

Respecto al número de trazas que puede detectar cada radar de forma simultánea, se puede observar que el Sentinel tiene menor capacidad que el RAC 3-D. Sin embargo, en los conflictos actuales, debido a la escasa probabilidad de que exista un ataque aéreo a gran escala, no resulta una diferencia relevante.

Respecto a la localización y seguimiento de objetivos sí que existen diferencias remarcables entre estos dos radares; mientras que el RAC 3-D únicamente tiene capacidad para la exploración de objetivos (localización), con el Sentinel puede llevarse a cabo la exploración, seguimiento y tiro a objetivos, es decir, tiene la capacidad de localizar un objetivo, realizar su seguimiento y teleguiar a los misiles en su trayectoria sin que ello origine una disminución de su capacidad de detectar nuevas trazas que puedan acceder a su zona de cobertura. La utilización del RAC 3-D en el COAAS-M implica que los sistemas subordinados

necesiten de sensores de seguimiento y tiro, ya que con la exploración de trazas no es posible realizar fuego sobre ellas. Por tanto, si se implementara el Sentinel en el COAAAS-M, esta deficiencia se vería cubierta.

En cuanto al modo IFF, ambos radares son capaces de trabajar en los cuatro modos (ver ANEXO IV) que actualmente utilizan las FAS. El IFF es un sistema a través del cual se identifican las aeronaves basándose en el envío de una respuesta concreta a una señal enviada, en este caso desde un radar, de manera que el sistema identifica como amigos a aquellos elementos que le responden de manera correcta y como enemigos, a aquellos en los que no se genera una respuesta o ésta es incorrecta. Gracias a este sistema es posible establecer de manera fiable la naturaleza de las trazas que se encuentran en el espacio aéreo a defender.

Como se puede apreciar en la Figura 4.1 y 4.2, respecto a la altura de ambos radares, cabe destacar la diferencia existente entre ellos, ya que el Sentinel tiene una altura mucho menor que el RAC-3-D. Esto implica que el primero de ellos tenga una mayor facilidad en su enmascaramiento.

En lo que se refiere a la resistencia a las condiciones ambientales, cabe destacar que el Sentinel desempeña mejor su función en un ambiente hostil que el RAC 3-D. Esto se debe a que su menor longitud de mástil le permite soportar ráfagas de viento mayores, lo cual es importante teniendo en cuenta que cuando actúa de forma descentralizada, la pérdida de señal del radar conllevaría la pérdida de la imagen del RAP, no pudiendo llevar la propia UDAA su misión a cabo

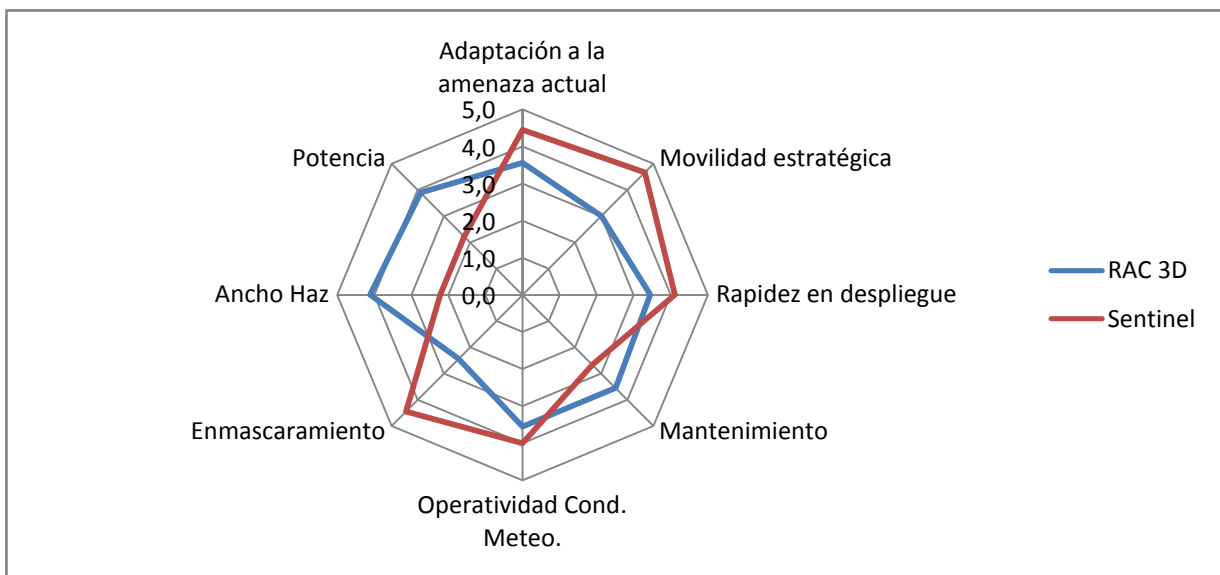


Figura 8.1 Sentinel VS RAC 3D. Fuente (Elaboración propia)

### 8.2.2. RAC 3-D VS. AN/TPS 43-E

La principal diferencia entre ambos radares radica en el alcance. Mientras que el radar RAC 3-D tiene un diámetro de 100 km, el AN/TPS 43-E tiene un alcance de 445 km, localizando objetivos pequeños hasta 408 km. Esta ganancia en alcance resultaría muy beneficiosa para la creación de una UDAA en base al COAAAS-M, ya que el espacio aéreo controlado prácticamente se cuadruplicaría. De esta manera, el TDO y

TDA del COAAAS-M tomarían decisiones de la situación aérea con más antelación que utilizando el RAC 3-D, teniendo más tiempo para establecer comunicaciones con el ARS y sus sistemas subordinados.

Respecto al número de trazas simultáneas que puede detectar cada radar, ambos radares tienen una gran capacidad de obtención simultánea de trazas. Cabe destacar que el equipo AN/TPS 43-E no se satura, de manera que su capacidad de detección es casi ilimitada. Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, este atributo no es muy relevante en los conflictos actuales.

Al igual que ocurre con el Sentinel y RAC 3-D, el AN/TPS 43-E es capaz de trabajar en los cuatro modos IFF que utilizan las Fuerzas Armadas, lo que sumado con que dicho equipo radar es compatible con la mayoría de Centros de Operaciones y utiliza el mismo sistema de localización que el RAC 3-D, convierte a este radar en una buena alternativa a este último.

En lo que se refiere a las condiciones medioambientales, el radar RAC 3-D resiste en mayor medida a determinadas condiciones, como la corrosión y la ionización. En cambio, el AN/TPS 43-E, presenta una mayor tendencia a la corrosión en ambientes salinos.

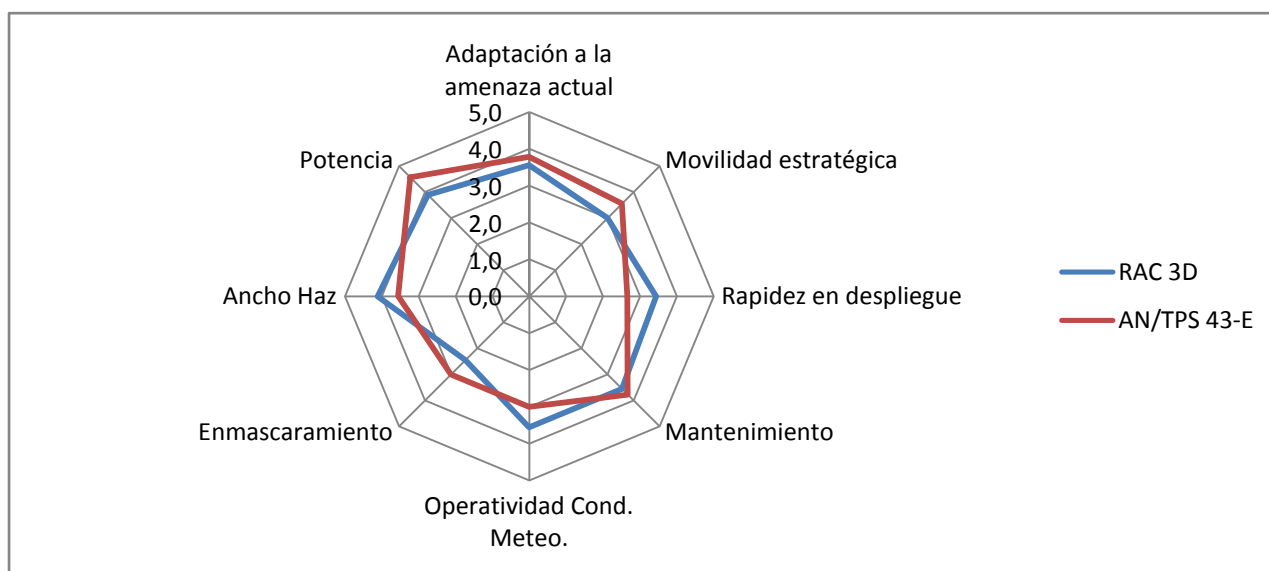


Figura 8.2 RAC 3D VS AN/TPS 43-E. Fuente (Elaboración propia)

### 8.2.3. RAC 3D VS. Lanza Banda D

Una de las diferencias entre ambos radares radica en su volumen de cobertura. Mientras que el RAC 3-D tiene un alcance de 100 km y de techo (altura) 24 km, el Lanza abarca un alcance de 470 km y de techo 30,48 km. Este mayor volumen resultaría muy beneficioso para la creación de una UDAA en base al COAAAS-M, como se ha explicado en el anterior apartado.

Respecto al ancho de haz, el Lanza (1,4° en acimut) tiene un haz más estrecho que el RAC 3-D (10° en acimut).

Otra de las diferencias es que el Lanza tiene la capacidad de realizar una exploración pasiva, es decir, tiene la posibilidad de no emitir radiación cuando está buscando amenazas, mientras que el RAC 3-D no la tiene.

Por otro lado, mientras el RAC 3-D es una única pieza, el Lanza es un radar que se desmonta para su transporte, por lo que posteriormente, a la hora de ponerlo en posición, es necesario emplear más tiempo que con el primero.

En cuanto al modo IFF, ambos radares son capaces de trabajar en los cuatro modos.

Finalmente, como se muestra en la Tabla 5, en lo que se refiere a la resistencia a las condiciones ambientales, cabe destacar que el Lanza desempeña mejor su función en un ambiente hostil que el RAC 3-D, ya que es capaz de soportar mayores vientos y temperaturas más extremas.

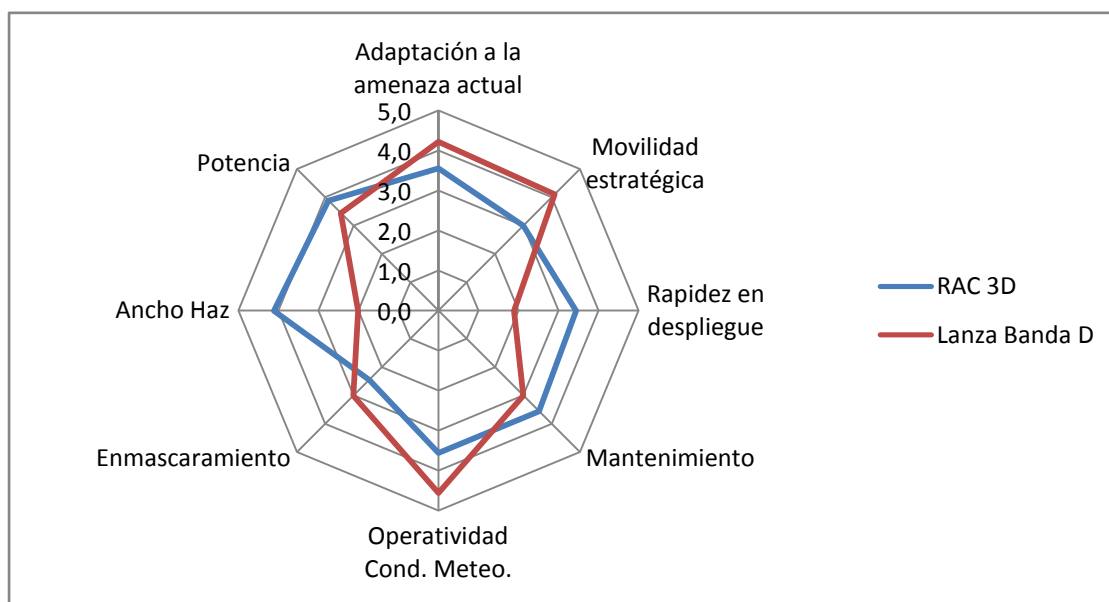


Figura 8.3 RAC 3D VS Lanza. Fuente (Elaboración propia)

## 9. Conclusiones

### 9.1. Grado de consecución de los objetivos

Para poder lograr los objetivos planteados en el presente trabajo ha sido necesario seguir una estrategia organizativa que fue planteada con anterioridad. En primer lugar, se recopiló información, procedente mayoritariamente de documentos extraídos de la Intranet del Ejército de Tierra así como del material bibliográfico y las orientaciones facilitadas por los mandos del RAA 73.

Tras esta recopilación inicial de información, a fin de clarificar y sintetizar los contenidos y técnicas incluidos en la misma, se llevaron a cabo una serie de informes basados en conversaciones con los mandos expertos en la materia de dicha unidad y en las demostraciones llevadas a cabo en los períodos de maniobras. Esta colaboración sirvió también para conocer con mayor exactitud las características y requisitos del sistema vigente, así como para establecer una serie de criterios que permitiesen que el estudio fuese lo más realista posible.

A la hora de lograr los objetivos planteados en el trabajo, además de la información recopilada, ha sido importante el uso de diferentes herramientas de análisis comparativo, como el análisis DAFO y el estudio estadístico en base a cuestionarios de respuesta cerrada a escala.

## **9.2. Tendencias futuras**

La constante evolución de la tecnología radar, propiciada por el aumento de amenazas aéreas altamente sofisticadas, ha permitido un incremento del número de radares creados con el objetivo de actuar como sistemas multifunción, en vez de como sistemas monopropósito (exploración o seguimiento). Estos radares tienen la capacidad de realizar las funciones de vigilancia y seguimiento independientemente y de manera simultánea. Ejemplos claros de este nuevo tipo de sistemas son los ya conocidos Sentinel y Lanza Banda D.

En este sentido, considero que una posible adquisición por parte del Ejército español en un futuro cercano podría ser el nuevo modelo del Sentinel (AN/MPQ-64F1). Este radar, al igual que su antecesor, cuenta con las mismas atribuciones, pero con más prestaciones. Una de las mejoras a destacar entre este modelo y la versión anterior es el aumento de su nivel de alcance, ya que éste pasaría de 75 km a 110 km, siendo muy importante para la creación de una UDAA. Además, la versión nueva de estos radares permitiría que hubiese una mayor distancia entre el radar y el FDC del Nasams, ya que tiene la capacidad de transmitir los datos mediante radio, ampliando la cobertura de una UDAA en todo su conjunto y siendo todavía más complicado de destruir el propio FDC de su sistema.

## 10. Bibliografía

- [1] Introduction to Radar Systems. Second Edition. Autor: Merrill I. Skolnik.
- [2] “El Universo eléctrico: la verdadera y sorprendente historia de la electricidad”. Autor: David Bodanis. Planeta, 2006.
- [3] Ejército de tierra español. Número 859, noviembre de 2012.  
Gestión del control del espacio aéreo en las Fuerzas Terrestres.
- [4] MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA. EJÉRCITO DE TIERRA ESPAÑOL.  
PD4-312(2011): Empleo Táctico del Sistema NASAMS.
- [5] <http://www.ejercito.mde.es/unidades/Murcia/raaa73/>
- [6] Los radares de milimétricas en el futuro de los sistemas de observación militares.  
Autor: Tte. Art. D. David Geijo Marcos. Institución: Academia de Artillería.
- [7] R., Acero Cacho, Pastor Pérez, J.J. y Sancho Val, J.J. & Torralba Gracia, M. *Ingeniería de la Calidad*. Zaragoza : CUD, 2013.
- [8] MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA. EJÉRCITO DE TIERRA ESPAÑOL.  
MI-301(2015): Radar RAC 3-D del sistema COAAASM.
- [9] MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA. EJÉRCITO DE TIERRA ESPAÑOL.  
MI6-347(2009): Radar del Sistema NASAMS.
- [10] [http://www.mobileradar.org/Documents/43E\\_Tactical%20Radar%20System.pdf](http://www.mobileradar.org/Documents/43E_Tactical%20Radar%20System.pdf)  
AN/TPS 43-E Tactical Radar System. Westinghouse.
- [11] [http://rinconeducativo.org/contenidoextra/radiacio/2radiaciones\\_ionizantes\\_y\\_no\\_ionizantes.html](http://rinconeducativo.org/contenidoextra/radiacio/2radiaciones_ionizantes_y_no_ionizantes.html)
- [12] INDRA. Manual técnico del radar Lanza Banda D, Volumen 1/1.  
OTE 31P6-4-LANZA (2005).
- [13] MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA. EJÉRCITO DE TIERRA ESPAÑOL.  
PD4-319 (2013): Empleo táctico del FDC del COAAAS-M.
- [14] MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA. EJÉRCITO DE TIERRA ESPAÑOL.  
MI4-309 (2013): FDC del COAAAS-M.
- [15] MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA. EJÉRCITO DE TIERRA ESPAÑOL.  
PD4-300(2011): Empleo de la artillería antiaérea (Tomo I).

**[16]** Integración militar en la sociedad del cambio tecnológico. Autor: Marisa Rodríguez Mojón  
Cuadernos de estrategia, 1990.

**[17]** SINGARS Internet controller-heart of the digitized battlefield.

0-7803-3658-5 (1996). Autor: R. Schulman, R. Snyder, L.J. Williams.

**[18]** MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA. EJÉRCITO DE TIERRA ESPAÑOL.  
M16-342(2008): Radar RAVEN del Sistema COAAAS-L.

**[19]** MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA. EJÉRCITO DE TIERRA ESPAÑOL.  
M16-328 (2004): Servientes del radar de adquisición de impulsos (PAR) AN/MPQ-50.

**[20]** MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA. EJÉRCITO DE TIERRA ESPAÑOL.  
M16-329 (2004): Servientes del radar de adquisición de onda continua (CWAR) AN/MPQ-62.

**[21]** System Description And Equipment Summary. Raytheon Technical Services Company.  
BR-10165 REV.F (2000): Patriot Air Defense Missile System.

**[22]** Curso Operador Sistema Patriot. Septiembre 2015. (Documento a nivel interno).

**[23]** <http://www.radartutorial.eu/07.waves/Ondas%20y%20Rangos%20de%20Frecuencia.es.html>

[Consulta]: 05/10/2016

**[24]** MANDO DE ARTILLERÍA ANTIAÉREA. EJÉRCITO DE TIERRA.

INSTRUCCIÓN 01/13 MAAA (Tomo I) (Enero 2013). Procedimiento de Integración en el sistema de Mando y Control de la Defensa Aérea y Operativo de Combate.

## 11. Anexos

### 11.1 ANEXO I. Cable de fibra óptica del RAC 3-D

El cable de fibra óptica debe de ser tendido por personal instruido porque es un material frágil, ya que los aplastamientos y los cantos agudos pueden aumentar la atenuación o rotura del cable. El despliegue del cable se realizará tanto en altura como en superficie. Tras ello, los técnicos llevarán a cabo la realización de los diferentes empalmes y montaje de los conectores. Antes de acoplar cada conexión, es necesario limpiar cuidadosamente los conectores.

<b>Daños al cable</b>	Radios de curvatura pequeños, cantos agudos, formación de lazos o nudos
	Fuerzas de presión o tracción excesivas
	Golpes (por ejemplo, con herramientas)
	Fuego
	Mordeduras (en especial de roedores).
<b>Daños a conectores</b>	Suciedad y en especial arañazos o daños al cristal protector de las lentes.
	Desgarro del cable debido a tracción excesiva
	Golpes.
<b>Daños a equipos terminales</b>	Descargas eléctricas
	Fuerzas mecánicas.

Tabla 6. Daños a los elementos que componen el equipo de fibra óptica Fuente [8]

Procedimiento a seguir según la superficie de instalación del tendido:

- A la hora de atravesar caminos no asfaltados cabe la posibilidad de enterrar el cable, pero para mayor protección se coloca hierba o material blando dentro de una zanja para su acolchamiento.
- Para cruzar calles asfaltadas se puede realizar un tendido aéreo.
- Para cruzar autopistas o vías férreas es recomendable usar canales o puentes existentes.
- Si algún tramo del cable queda sumergido bajo el agua, existe una limitación en los conectores, ya que entorno a los dos metros de profundidad, éstos dejan de ser operativos.



## 11.2. Anexo II. Entrevistas al Personal del Regimiento de Artillería Antiaérea N° 73

Estas entrevistas se llevaron a cabo en el período de prácticas externas entre la primera semana de septiembre y la tercera de octubre. El objetivo era conocer la opinión del personal experimentado acerca de los distintos radares estudiados. Para ello, se les pidió que complementaran un cuestionario de respuesta cerrada en el que se establecía el grado de acuerdo o desacuerdo a través de una escala numérica, en la cual el 1 representaba el máximo grado de desacuerdo y el 5 el máximo grado de acuerdo, en el que se abordaban diferentes aspectos técnicos y tácticos de cada uno de ellos, a fin de establecer comparaciones entre los mismos. Las cuestiones planteadas fueron:

1. En la actualidad, ¿es importante la integración de los radares en los sistemas de mando y control?
2. ¿Es importante la creación de un FDO en el COAAAS-M?
3. ¿Existe complejidad en el momento de realizar un “diálogo” entre las diferentes conexiones necesarias para el buen funcionamiento del conjunto?

Además se plantearon algunas cuestiones en relación al nivel de desempeño de los distintos radares en diferentes aspectos (potencia, ancho de haz, tamaño...). En este tipo de preguntas se estableció también una escala, de forma que el número 1 se vinculaba a un desempeño muy bajo y el 5 a un desempeño muy alto. Las cuestiones planteadas según este formato fueron:

1. Grado de adaptación a la amenaza aérea actual, es decir, nivel de actualización.
2. Nivel de movilidad estratégica (movilidad a la hora de ser transportado por tierra, mar o aire).
3. Nivel de movilidad para su puesta en posición.
4. Rapidez en el tiempo de despliegue.
5. Cantidad de tiempo en Mantenimiento.
6. Facilidad en enmascaramiento.
7. Apto para su uso en condiciones meteorológicas hostiles.
8. Errores en la correlación de trazas.
9. Su alcance se adecúa a las características que exige el COAAAS-M en su posible sustitución por el RAC 3-D.
10. Influencia del tamaño del radar en su uso en operaciones.
11. Operatividad según las características ambientales (lluvia, viento, temperatura...).
12. Potencia de emisión.
13. Ancho de haz utilizado.

### 11.3. ANEXO III. Banda de Frecuencias

En el ámbito militar existen un gran número de radares que trabajan en diferentes bandas de frecuencias en función de su misión de empleo. A continuación se va a describir la misión que tiene cada radar en función de la banda de frecuencia en la que trabaja [23]:

- **Bandas A y B:** son bandas de radar por debajo de 300 MHz. Actualmente estas frecuencias se utilizan para los radares de alerta temprana, como por ejemplo el radar P-18.
- **Banda C (Banda radar UHF):** existen algunos conjuntos de radares especializados, desarrollados para esta banda de frecuencia (300 MHz a 1 GHz). Esta frecuencia es utilizada en los radares para la detección y el seguimiento de satélites y misiles balísticos, cubriendo largas distancias. Estos radares funcionan para alerta temprana y detección de objetivos como radar de vigilancia.
- **Banda D (Banda radar L):** esta banda de frecuencias (1 a 2 GHz) es la más utilizada en el funcionamiento de los radares de vigilancia aérea de largo alcance por encima de 400 km. Estos radares transmiten pulsos de alta potencia. Debido a la curvatura de la tierra, el rango máximo alcanzable es limitado para los objetivos que vuelan con baja altitud. Estos objetos desaparecen muy rápido tras el horizonte del radar.
- **Banda E/F (Banda radar S):** trabaja en la banda de frecuencias de 2 a 4 GHz. La atenuación atmosférica es ligeramente superior que en la Banda D. Los equipos de radar en esta banda necesitan una potencia de transmisión mayor a la usada en los rangos más bajos de frecuencia para lograr un alcance máximo bueno.
- **Banda G (Banda radar C):** trabaja en la banda de frecuencias de 5,9 a 6,4 GHz. Utilizados normalmente en radares de vigilancia con un corto o mediano alcance. El tamaño de las antenas proporciona una excelente precisión y resolución, además que su tamaño no es un inconveniente para un rápido traslado. Sin embargo, la influencia de condiciones meteorológicas adversas es muy alta.
- **Banda I/J (Banda radar X & Ku):** en esta banda de frecuencia (8 a 12 GHz) la relación entre la longitud de onda utilizada y el tamaño de la antena es mejor que en las bandas de menor frecuencia. Las antenas más pequeñas y económicas, con alta velocidad de rotación, son perfectas para proporcionar una cobertura suficiente y una buena precisión.
- **Banda K (Banda radar K & Ka):** la frecuencia abarca desde 18 a 40 GHz. Los usos del radar en esta banda de frecuencia proporcionan resolución muy alta pero muy poco cubrimiento en distancia.
- **Banda V:** su rango se encuentra entre 50 y 75 GHz. Genera una alta atenuación (influida por una alta humedad del aire).

- **W-Band:** en esta banda de frecuencias (75 a 100 GHz) aparecen fenómenos de atenuación atmosférica.

HF	3 – 30 MHz		
VHF	30 MHz–300 MHz	↑	Exploración y búsqueda
UHF	300 MHz–1 GHz		
L-Band	1 GHz–2 GHz	↑	Búsqueda y seguimiento
S-Band	2 GHz–4 GHz		
C-Band	4 GHz–8 GHz	↑	Control de fuego y obtención de imágenes
X-Band	8 GHz–12 GHz		
Ku-Band	12 GHz–18 GHz	↑	Búsqueda de misiles
K-Band	18 GHz–27 GHz		
Ka-Band	27 GHz–40 GHz	↑	
W-Band	40 GHz – 100+ GHz		

Fuente: Introducción al radar. Departamento de Ingeniería y Comunicaciones de la Universidad de Cantabria.

Figura 11.1 Bandas de frecuencias asignadas al radar

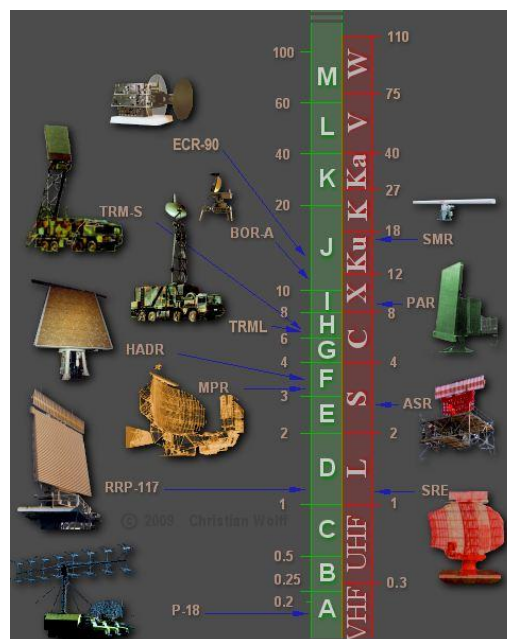


Figura 11.2 Algunos radares utilizados en las bandas de frecuencias. Fuente [23]

## 11.4. Anexo IV. Modos IFF

Hay varios modos de funcionamiento dependiendo del nivel de seguridad deseado, en relación con los niveles de seguridad en la operación militar IFF. Las normas generales para su empleo son las siguientes [24]:

- **Modo 1:** es un modo específicamente militar para realizar el seguimiento de aeronaves y buques. En tiempos de paz se responderá en el modo 1 de acuerdo con lo dispuesto en la documentación táctica promulgada para una determinada operación y, en ejercicios, según lo que disponga el Director del Ejercicio. En tiempo de crisis y/o conflicto, se habilitará por medio de un documento denominado AMSI-41 (Nato Confidential, NC) un plan de cambios de código por horario que será único para todas las plataformas aéreas y navales de la OTAN (todas las aeronaves o buques propios responden con un determinado código durante una determinada franja horaria), así como para la AAA. Desde tiempo de paz las UDAA,s custodiarán las diferentes versiones del AMSI-41 que puedan ser empleadas en tiempo de crisis o conflicto

Una UDAA debe disponer de tantos ejemplares de AMSI-41 como sensores tenga dotados de IFF.

En cada hoja del AMSI-41 están los códigos a emplear en las 48 franjas de media hora que componen un día. Existe una hoja para cada día. El código Modo 1 se cambia cada 30 minutos.

Es de gran utilidad para los radares de sistemas de armas dotados con IFF (posibilidad de interrogar únicamente en un modo y código concretos y presentar en la pantalla al operador si la respuesta es correcta en el modo y código interrogados).

- **Modo 2:** es un modo específicamente militar. Los códigos en Modo 2, en el marco de la OTAN, son empleados para identificación nacional de las aeronaves o buques, de la Unidad de procedencia y del tipo de misión, asignándose bloques de códigos por países y tipos de misión. Este modo es de particular aplicación en tiempo de paz, aunque puede seguir vigente incluso en tiempo de crisis o conflicto. La asignación de códigos en modo 2 está contenida en la publicación AMSI-42 (NC), de periodicidad semestral. Las naciones asignan códigos específicos en modo 2 a Unidades y aparatos específicos según misión.

No suele ser de mucha aplicación práctica para las UDAA,s, no obstante, deberán disponer de al menos un ejemplar del AMSI- 42 en vigor.

- **Modo 3:** no es específicamente militar. El modo 3, es empleado en todo el mundo para tráficos civiles y militares. De los 4096 códigos disponibles, 288 han sido reservados exclusivamente para necesidades militares, y no para control de tráfico aéreo. Los 3807 restantes (el código 0000 no se utiliza) empleados en tiempo de paz con fines de control de espacio aéreo, se emplearán también

en tiempo de crisis hasta la entrada en vigor del AMSI-41 (el AMSI-41 regula los códigos de los modos 1 y 3 en crisis o conflicto).

El uso del modo 3 no excluye el uso del modo 1; una aeronave militar tendrá normalmente cargados y activados simultáneamente al menos los modos 1 y 3.

El modo 3 es diferente de los otros porque, a diferencia de los demás, puede emplearse de diferentes formas. En tiempo de paz y ejercicios (hasta la entrada en vigor del AMSI-41) se emplean los códigos en modo 3 como "identificadores de matrícula" de una aeronave o misión determinada: cada aeronave/misión tiene asignado un código específico en este modo, que mantiene a lo largo de toda la misión (sin cambiarlo por horario). Distintas aeronaves en el aire tendrán normalmente diferentes códigos en modo 3 simultáneamente. No obstante, en caso de crisis o conflicto, puede ordenarse que el modo 3 pase a emplearse como modo 1; en este caso todas las plataformas aéreas o navales deberán introducir cada media hora un código común en función de lo establecido en el AMSI-41.

- **Modo 4:** es un modo específicamente militar. El modo 4 es el único modo seguro de proporcionar una identificación positiva como AMIGO. Su empleo está restringido en algunas naciones y en la actualidad su empleo en tiempo de paz requiere de autorización de escalones superiores. No hay diferenciación entre el empleo del modo 4 en tiempo de paz, crisis o conflicto.

Los códigos en vigor de este modo para las diferentes franjas horarias se encuentran en un cartucho o carcasa que contiene una cinta perforada de papel compuesta de segmentos que hay que ir extrayendo para su carga en el equipo IFF. Las instrucciones de uso se encuentran en la propia cinta.

Como norma general, los códigos del modo 4 cambiarán cada 24 horas a las 00:01 horas Zulú.