

## Trabajo Fin de Grado

“Estudio de la integración del sistema 35/90 SKYDOR con el de misiles RIM-7 *Sea Sparrow* en una misma unidad de tiro”

Autor

CAC. Miguel Enrique Nieves Sainz

Director/es

Director académico: Dr. D. Óscar de la Iglesia Pedraza

Director militar: Cap. D<sup>a</sup>. Rosa María Agüera Ros

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar  
Año 2017



## **Agradecimientos**

Me gustaría dedicar las primeras palabras de este Trabajo Fin de Grado, a las personas que han contribuido de una forma u otra a su realización. Estoy especialmente agradecido con mis dos tutores, el Dr. Óscar de la Iglesia Pedraza y la Cap. Rosa María Agüera Ros, quienes me han apoyado y han trabajado con mucha dedicación para que pudiese lograr mis objetivos. Asimismo, quisiera agradecer el buen trato y la acogida recibida por todo el personal del Regimiento de Artillería Antiaérea nº 71, en especial a la 11 Batería del Grupo I, cuyas enseñanzas durante el período de prácticas serán muy útiles. Finalmente, agradezco profundamente a mi familia, por su aliento e inspiración diaria en este ilusionante camino que es la carrera de las armas.



## Abstract

The air defense of a country or territory is the set of measures designed to cancel or reduce enemy air action. In this framework, air defense operations try to achieve the appropriate level of airspace control by integrating the air defense capabilities of the different land, naval and air components. The anti-aircraft defense is the contribution of the surface units to this defense, within which the anti-aircraft artillery is an active member, which is formed by a set of units belonging to the Spanish Army, specially conceived, organized, trained and equipped to carry out Antiaircraft Defense actions.

The anti-aircraft artillery has the main function of facing any air activity, which has the intention of attacking possible units of its own, facilities, zones and points of special interest or strategic value, and in this way, guarantee the security of the force as well as of the protected goods. These hostile actions can be of multiple nature, among which are fixed-wing aircrafts, helicopters, missiles, rockets or howitzers, which can also be launched from a variety of platforms.

The need to combat an increasingly complex range of air threats has forced the evolution of anti-aircraft artillery to develop new defensive foundations, including the principle of integration and complementarity between weapon systems. In this sense the principles and fundamentals of the use of anti-aircraft artillery are a doctrinal reference to plan and establish antiaircraft defenses, taking into account the circumstances of each tactical situation, that is, both in conventional environments and asymmetric combat.

This work aims to obtain a new unit of fire for the anti-aircraft artillery batteries with great versatility, based on the integration of RIM-7 Sea Sparrow missiles directly on the SKYDOR fire control of the 35/90. An approach that has not been previously developed by any company as such, nor contemplated in works on anti-aircraft artillery. This unit of fire must be perfectly integrated with the superior organs of the air defense, such as the COAAAS-M, where the data can be transmitted even from the fire control to the COAAAS-M. And, moreover, the fire control can efficiently direct both 35/90 guns and missiles from the command post. Also it would allow the combat actions to be performed in automatic and real time. Precisely, the lack of automation in the integrations between weapons systems available in the Spanish Army as well as the delay in executing the actions of fire, are two of the most important deficiencies that must be solved.

The End of Degree Project also seeks to complement the very short range defense that the 35/90 guns would give, with a somewhat more advanced defense by means of missiles. Predictably, the closest threat would be mortars, UAVs and other hostile elements of little cost; while the missiles would be used to deal with more important objectives such as enemy aircraft or missiles. In addition, this proposal aims to seek to optimally configure this new unit of fire, consisting of RIM-7 Sea Sparrow missiles and fire control SKYDOR with 35/90 guns, in terms of weapons systems. A work that could lower the costs of implementation and reduce the risks associated with the project.

To achieve all of these goals, we have made a bibliographic review on the treated weapons systems integrated in the same unit of fire currently in use by the Spanish Army, such as the Skyguard fire control system with 35/90 guns integrated with Aspide missiles, and the combination of Mistral missiles firing positions with 35/90 and SKYDOR fire control. Including articles published in specialized military magazines and technical manuals, both of the armed forces and commercial houses. Likewise, the virtual reference known as Jane's by IHS Markit has been used, which constitutes a reliable and specialized database in the defense industry that is used by governments and military institutions. In this case, Defense has contracted its services and can be accessed from the military intranet.

Next, we have studied how to integrate the RIM-7 Sea Sparrow missiles and 35/90 guns into the SKYDOR fire control, analyzing the technical characteristics of the missiles and especially of the SKYDOR fire control, and in this way determine the procedure to achieve the integration. A study that included conducting surveys of a group of military experts in anti-aircraft artillery and civilian missile engineers. This survey has been answered exactly by twenty-two military experts and two civil engineers, which makes a total of 24 responses and has been intentionally structured in three differentiated blocks, so that the results obtained from each block allow to analyze different aspects of this work.

The experience of these people has been fundamental to give a comprehensive approach to the subject addressed in this End of Degree Project and obtain a viable proposal in reality. The viability of the proposed solution has been determined from the results of the surveys. In addition, the data obtained from the surveys of the specialists have been analyzed using a multi-criteria matrix in order to optimize the configuration of the solution proposed in this End of Degree Project.

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. La artillería antiaérea	1
1.1.1. Orgánica de la artillería antiaérea	1
1.1.2. Principios y fundamentos de empleo	2
1.2. Motivación	3
1.3. Objetivos y alcance del trabajo	3
1.4. Ámbito de aplicación	4
1.5. Metodología	4
<b>2. Sistemas de armas para artillería antiaérea</b>	<b>5</b>
2.1. Cañones 35/90 y direcciones de tiro	5
2.1.1. <i>Skyguard</i> -35/90	5
2.1.2. SKYDOR-35/90	6
2.2. Sistemas de misiles	7
2.2.1. Misil Aspide	7
2.2.2. Misil Mistral	8
2.2.3. Misil RIM -7M <i>Sea Sparrow</i>	8
2.2.3.1. Misil RIM-7M <i>Sea Sparrow</i>	9
2.3. Integración de sistemas de armas en la AAA del Ejército de Tierra	10
2.3.1. Sistema <i>Skyguard</i> -35/90 y misiles Aspide	10
2.3.1.1. Enlace <i>Skyguard</i> -35/90 y misiles Aspide	10
2.3.2. Sistema SKYDOR-35/90, COAAAS-M/L y misiles Mistral	11
2.3.2.1. COAAAS-M	11
2.3.2.2. COAAAS-L	12
2.3.2.3. Enlace COAAAS-M/L, SKYDOR-35/90, y misiles Mistral	13
<b>3. Propuesta de una nueva unidad de tiro integrada</b>	<b>15</b>
3.1. Evaluación de los sistemas de armas actualmente operativos	15
3.1.1. Resultados del primer bloque de preguntas	15
3.2. Integración del sistema SKYDOR-35/90 y misiles RIM-7 <i>Sea Sparrow</i>	16
3.2.1. Resultados del segundo bloque de preguntas	17
3.3. Configuración de la unidad de tiro	18
3.3.1. Resultados del tercer bloque de preguntas	18
3.4. Enlace SKYDOR-35/90 y misiles RIM-7M <i>Sea Sparrow</i>	20
3.5. Análisis de costes	20
<b>4. Análisis de Riesgos</b>	<b>22</b>
4.1. Imposibilidad de ser implementado a corto plazo	22
4.2. El precio del software/implementación de cambios en la DT y/o misiles es prohibitivo	22
4.3. La automatización del sistema es inferior a la deseada	22
<b>5. Planificación</b>	<b>23</b>
5.1. Planificación de las actividades del proyecto	23
5.2. Planificación temporal del proyecto	23
5.3. Planificación de recursos	23
<b>6. Conclusiones</b>	<b>24</b>
6.1. Perspectivas futuras	24
<b>7. Referencias</b>	<b>25</b>
<b>ANEXO A Orgánica de artillería antiaérea del ET</b>	<b>27</b>
<b>ANEXO B Fundamentos de empleo</b>	<b>30</b>
<b>ANEXO C Encuesta de valoración</b>	<b>33</b>
<b>ANEXO D Análisis de riesgos</b>	<b>35</b>
<b>ANEXO E Planificación de las actividades del proyecto</b>	<b>37</b>
<b>ANEXO F Planificación temporal del proyecto</b>	<b>39</b>
<b>ANEXO G Planificación de recursos del proyecto</b>	<b>41</b>
<b>ANEXO H Armas de energía dirigida</b>	<b>42</b>





## Índice de figuras

Figura 1. Principio de integración en los diversos niveles [2].....	2
Figura 2. Cañón ligero de artillería antiaérea 35/90 [4] .....	5
Figura 3. Dirección de tiro <i>Skyguard</i> [6].....	6
Figura 4. Dirección de tiro SKYDOR [8] .....	7
Figura 5. Misil Aspide 2000 [9] .....	7
Figura 6. Misil Mistral 1[11].....	8
Figura 7. Misil RIM-7 M <i>Sea Sparrow</i> [12].....	9
Figura 8. Lanzadera terrestre del misil RIM-7M <i>Sea Sparrow</i> [12] .....	10
Figura 9. Enlace <i>Skyguard</i> -35/90 y misiles Aspide [9].....	11
Figura 10. Consolas de trabajo del COAAAS-M [17] .....	12
Figura 11. Composición del COAAAS-L [18].....	13
Figura 12. Terminal inteligente [18] .....	13
Figura 13. Esquema de interfaces funcionales del sistema de integración [18].....	14
Figura 14. Preguntas del primer bloque de la encuesta .....	16
Figura 15. Preguntas del segundo bloque de la encuesta .....	17
Figura 16. Preguntas del tercer bloque de la encuesta.....	18
Figura 17. Unidad de tiro SKYDOR 35/90 y misiles RIM-7M <i>Sea Sparrow</i> .....	19
Figura 18. Espectro de la amenaza aérea [21].....	24
Figura 1A. Grupo de Artillería Antiaérea [2].....	27
Figura 2A. Batería de Armas [2] .....	28
Figura 3A. Regimiento de artillería antiaérea [2].....	28
Figura 4A. Mando de artillería antiaérea [2] .....	39
Figura 1B. Defensa equilibrada y ponderada [2].....	31
Figura 2B. Solape de fuegos y apoyo mutuo [2] .....	31
Figura 3B. Acción lateral y frontal [2] .....	32
Figura 4B. Acción en profundidad [2] .....	32
Figura 1D. Resumen del número de riesgos y su clasificación .....	36
Figura 1G. Organigrama de recursos humanos .....	41
Figura 1H. Evolución del láser de alta energía de <i>Rheintmetall</i> y sus capacidades [22] .....	42

## Índice de tablas

Tabla 1. Unidades orgánicas en función de las características del sistema de armas [2].....	1
Tabla 2. Características de los cañones 35/90 [4] .....	5
Tabla 3. Características de la dirección de tiro <i>Skyguard</i> [6].....	6
Tabla 4. Características de la dirección de tiro SKYDOR [7].....	7
Tabla 5. Características del misil Aspide 2000 [9].....	7
Tabla 6. Características principales del misil Mistral 1 [11].....	8
Tabla 7. Características de los principales modelos del RIM-7 <i>Sea Sparrow</i> [12] .....	9
Tabla 8. Frecuencias de respuestas a las preguntas del primer bloque de la encuesta .....	16
Tabla 9. Frecuencias de respuestas a las preguntas del segundo bloque de la encuesta.....	17
Tabla 10. Frecuencias de respuestas a las preguntas del tercer bloque de la encuesta.....	18
Tabla 11. Factores de la matriz multicriterio y su ponderación .....	19
Tabla 12. Matriz multicriterio .....	19
Tabla 13. Coste de la UT óptima [12] .....	21
Tabla 1B. Tipos de criterios de despliegues [2] .....	30



## Glosario de abreviaturas y términos

<b>A</b>	
AAA	Artillería antiaérea
AHEAD	<i>Advanced Hit Efficiency and destruction</i>
ARS	<i>Air Control Center + RAP Production Center + Sensor Fusion Post</i>
AD	Defensa aérea
<b>B</b>	
BIA	Batería
<b>C</b>	
COAAAS-L	Centro de operaciones de artillería antiaérea semiautomático ligero
COAAAS-M	Centro de operaciones de artillería antiaérea semiautomático medio
CAAAL	Cañón de artillería antiaérea ligero
<b>D</b>	
DT	Dirección de tiro
DAA	Defensa antiaérea
<b>E</b>	
EME	Estado Mayor del Ejército
ESSM	<i>Involved Sea Sparrow</i>
ET	Ejército de Tierra
<b>F</b>	
FDC	Centro de Dirección de Fuego
<b>G</b>	
GE	Grupo electrógeno
<b>H</b>	
HAWK	<i>Homing All-the-Way Killer</i>
<b>I</b>	
IFF	<i>Identification Friend or Foe</i>
<b>M</b>	
MAAA	Mando de artillería antiaérea
MBDA	<i>Matra BAe Dynamics</i>
MANPADS	<i>Mistral Man-Portable Air Defense System</i>
<b>N</b>	
NASAMS	<i>Norwegian Advanced Surface to Air Missile System</i>
NATO	<i>North Atlantic Treaty Organization</i>
NSSMS	<i>Sea Sparrow Surface Missile System</i>
<b>P</b>	
PC	Puesto de Mando
PCUDAA	Centro Director de Fuegos del Puesto de Mando de una Unidad de Defensa Antiaérea
PLMM	Plana Mayor de Mando
PGM	<i>Precision-Guided Munition</i>
PT	Puesto de tiro
<b>S</b>	
SAM	<i>Surface-to-air missile</i>
SATCP	<i>Sol-Aire À Très Courte Portée</i>
SHORAD	<i>Short Range Air Defense</i>
<b>T</b>	
TI	Terminal Inteligente
<b>V</b>	
VLS	<i>Vertical Launch System</i>
<b>U</b>	
UAV	<i>Unmanned aerial vehicle</i>
UDAA	Unidad de defensa antiaérea
UT	Unidad de tiro



## 1. Introducción

### 1.1. La artillería antiaérea

La capacidad intrínseca que posee una acción enemiga de naturaleza aérea de destruir los recursos esenciales de la fuerza o elementos con un alto valor estratégico, define el elevado grado de amenaza que representa. En este sentido, la defensa aérea (AD) tiene la misión de neutralizar o reducir la eficacia de estas actividades de origen hostil dentro del territorio nacional o en determinados teatros de operaciones, y a través de los diversos componentes terrestres, navales y aéreos de las fuerzas armadas. Específicamente, la contribución que brindan las fuerzas de superficie define la denominada defensa antiaérea (DAA), y a su vez, aquellas unidades organizadas, entrenadas y equipadas para reaccionar conforme dispone la defensa antiaérea constituyen la artillería antiaérea (AAA) [1].

Para cumplir su misión, la artillería antiaérea actualmente tiende a seguir una serie de principios de empleo, que le otorgan mayores posibilidades de éxito frente al enemigo. Fundamentos que han evolucionado en función de la amenaza, y que sin duda alguna, reflejan principalmente la necesidad que se tiene por combinar esfuerzos, y sistemas de armas para desarrollar estructuras operativas cada vez más eficientes [2].

A continuación se van a explicar algunos conceptos básicos sobre la orgánica, principios y fundamentos de empleo de la artillería antiaérea con el fin de facilitar la comprensión de este Trabajo Fin de Grado.

#### 1.1.1. Orgánica de la artillería antiaérea

Las unidades de artillería antiaérea se estructuran orgánicamente con el fin de garantizar las condiciones adecuadas de instrucción y adiestramiento del personal, administración, logística y disciplina. Las mismas son definidas por una serie de factores, entre los que destacan: las características de los sistemas de armas, el apoyo logístico, y las necesidades de mando y control. Asimismo, el diseño de estas estructuras orgánicas debe realizarse bajo el criterio de empleo modular y, de esta manera, facilitar la generación de estructuras operativas cuando fuese necesario. Por tanto, se pueden crear estructuras en operaciones, fruto de la combinación de módulos de capacidades procedentes de distintas unidades orgánicas, con sistemas de armas que pudiesen complementarse en función de las necesidades de la fuerza.

Por otra parte, no todas las unidades de artillería antiaérea son de la misma naturaleza, ya que se distinguen fundamentalmente por el tipo de sistema de armas con el que trabajan. Los mismos, varían en su alcance y altura eficaz, clasificándose (ver Tabla 1) en sistemas SAM para misiles con medias y grandes alturas, es decir a partir de 8000 metros, o sistemas SHORAD tanto para cañones y misiles de baja o muy baja cota, en un radio inferior a esa distancia.

Tabla 1. Unidades orgánicas en función de las características del sistema de armas [2].

Unidades SAM	Unidades SHORAD	Se organizan en
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Misiles PATRIOT</li> <li>▪ Misiles HAWK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Misiles NASAMS</li> <li>▪ Misiles ROLAND</li> <li>▪ Misiles ASPIDE con cañones 35/90</li> <li>▪ Cañones 35/90</li> <li>▪ Misiles MISTRAL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grupos</li> <li>▪ Baterías</li> </ul>

De la misma manera, las unidades de artillería antiaérea se pueden distinguir entre básicas, aquellas que son del tipo Grupo e inferiores, o superiores, las cuales pueden ser del tipo Regimiento o Mando de artillería antiaérea (ver ANEXO A) [2].

### 1.1.2. Principios y fundamentos de empleo

Como ocurre por lo general en todo despliegue de unidades militares ante posibles amenazas, la labor de planeamiento previamente ejecutada es de importancia capital. En el caso de la artillería antiaérea, durante este proceso, además de analizarse los factores de decisión tales como la misión, terreno, enemigo, tiempo disponible o fuerzas propias, se tiene en cuenta lo que se denomina “los principios y fundamentos de empleo”.

Los principios de empleo de la artillería antiaérea son cuatro: masa, integración, complementariedad de armas y movilidad. Siendo la aplicación de los mismos una herramienta idónea y por tanto se tiende a su cumplimiento [2]. A continuación se explica cada uno de estos principios:

- El principio de masa está relacionado con la concentración de elementos de combate antiaéreo, con el cual se pretende acumular la cantidad adecuada de medios en los lugares precisos para garantizar la supervivencia y la protección de los objetivos a proteger. Las ventajas de su aplicación son relevantes, ya que permite disponer de múltiples orígenes de fuego creando superioridad estratégica, y en ocasiones disuadir al enemigo de efectuar el ataque.

- El principio de armas complementarias está orientado a la combinación de distintos sistemas de armas con diversas capacidades operativas y técnicas, que permitan interrelacionarse de manera que las limitaciones de unos sean compensadas por las ventajas de otros. Por ejemplo, muchas son las variaciones en alcance, altitud, tipo de objetivo a batir, posibilidades de actuación, tipo de detección, adquisición, que presentan los sistemas de armas. Lo que provoca un abanico de posibilidades de empleo con la consecuente complejidad en los planeamientos, sin embargo, igual de elevada es también la probabilidad de éxito y eficacia frente a la amenaza.

- El principio de movilidad se refiere a la capacidad operativa que presentan las unidades para moverse sin comprometer el éxito de la misión. Este aspecto resulta también fundamental en el caso de la artillería antiaérea, por la necesidad de ocupar asentamientos, reducir los tiempos de entrada y salida de posición, y evitar los fuegos de contrabatería.

- El principio de integración (ver Figura 1) permite que las acciones de la defensa antiaérea se ejecuten en función de los criterios de la autoridad responsable. De esta manera, se alcanza la máxima eficacia de todos los componentes que integran esa red. El mismo puede abarcar diversos niveles tales como el de defensa aérea, tanto en estructuras operativas como en las unidades de defensa.

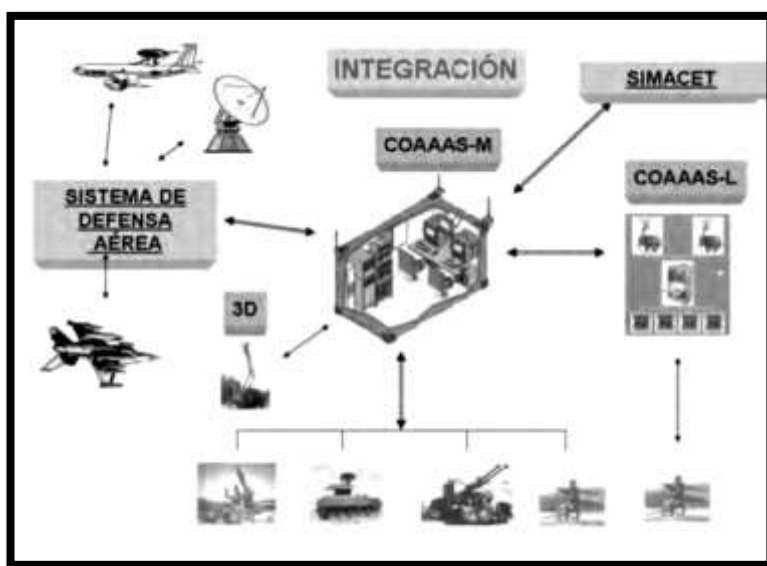


Figura 1. Principio de integración en los diversos niveles [2].

En los últimos años, como consecuencia del avance en la tecnología, en los sistemas informáticos, en las telecomunicaciones, y en los sistemas de mando y control, se intenta evolucionar hacia el concepto de fuegos en red e integración entre sistemas. Por tanto, existe la necesidad real de crear sistemas cada vez más integrados, combinados y coordinados entre sí, para poder hacer frente eficazmente a las amenazas aéreas.

Respecto a los fundamentos de empleo, la artillería antiaérea tiene la función principal de hacer frente a cualquier actividad aérea, que tenga la intención de atacar posibles unidades propias, instalaciones, zonas y puntos de especial interés o valor estratégico, y de esta manera, garantizar la seguridad de la fuerza así como de los bienes protegidos. Estas acciones hostiles pueden ser de múltiple naturaleza, entre las que destacan las aeronaves de ala fija, aeronaves de alas rotatorias (helicópteros), misiles, cohetes u obuses, que además pueden ser lanzados desde una gran variedad de plataformas [3]. Por esta razón, los sistemas de artillería antiaérea deben ser capaces de batir un amplio espectro de la amenaza. Un hecho por el cual cobra gran importancia la organización de la estructura operativa, la cual lleva a cabo ciertos cometidos y cumple algunos criterios de despliegues (ver ANEXO B).

## 1.2. Motivación

En la actualidad, las unidades de artillería antiaérea se encuentran con el importante reto de mantener un adecuado nivel de preparación para hacer frente a amenazas cada vez más complejas y de naturaleza diversa. Para ello, el Ministerio de Defensa, precisa no solo mejorar las prestaciones de los sistemas de armas<sup>1</sup> que posee el Ejército de Tierra en la actualidad, sino también innovar en el desarrollo de ideas y conceptos de batalla que brinden nuevas posibilidades de actuación.

Para que una unidad de tiro cumpla sus funciones de una manera rápida y eficaz es imprescindible que trabaje de forma automatizada. Sin embargo, como consecuencia de la desactualización tecnológica de los modelos disponibles, esto no ocurre en el Ejército español y por eso estos sistemas actúan con operadores intermedios, como el centro de operaciones de artillería antiaérea semiautomático medio o ligero (COAAAS-M o COAAAS-L), lo que aumenta los tiempos de respuesta ante una amenaza.

La motivación de este trabajo es la necesidad de desarrollar una nueva unidad de tiro (UT) para las Baterías de artillería antiaérea que sea capaz de funcionar de forma automatizada. De esta manera, se conseguiría reducir tanto el número de operadores intermedios como el tiempo de reacción desde que se ordena el disparo hasta el momento en que se ejecuta. Asimismo, esta innovación podría reemplazar algunos sistemas de armas disponibles que se encuentran prácticamente obsoletos, superando incluso las capacidades de combate de los mismos.

## 1.3. Objetivos y alcance del trabajo

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es el estudio de la integración de una nueva unidad de tiro tipo SHORAD, para las Baterías de artillería antiaérea basada en la integración de misiles RIM-7 *Sea Sparrow* directamente sobre la dirección de tiro SKYDOR de los cañones 35/90. Lo que permitiría llevar a cabo las acciones de combate con un nivel de automatización elevado y en el momento preciso, sin necesidad del apoyo de otros medios auxiliares como los COAAAS-M o los COAAAS-L. Este planteamiento no ha sido desarrollado previamente por ninguna empresa como tal, ni contemplado en la literatura especializada sobre artillería antiaérea.

---

<sup>1</sup> Los sistemas de armas están definidos como la combinación de armas, materiales y equipos necesarios para cumplir una misión operacional y su desarrollo requiere, fundamentalmente, la aplicación transversal de diferentes ramas del conocimiento, como electrónica, informática, mecánica, ingeniería de sistemas, electro-óptica, ciencia de los materiales, cálculo, física y química.

Este objetivo principal se va a dividir en dos objetivos concretos:

- Estudio de la viabilidad de la integración de la mencionada unidad de tiro en base a la dirección de tiro SKYDOR.
- Optimización de la configuración de esta nueva unidad de tiro, en términos de sistemas de armas.

El alcance de este Trabajo Fin de Grado ha involucrado los siguientes aspectos:

- Análisis de los requisitos técnicos de los sistemas de armas que conforman la UT.
- Análisis de costes de la alternativa planteada.
- Análisis de riesgos del proyecto de integración de los sistemas de armas en la unidad de tiro.

#### **1.4. Ámbito de aplicación**

Este Trabajo de Fin de Grado está destinado al entorno de actuación de una Batería de artillería antiaérea del Ejército de Tierra que debe ser capaz de combatir un amplio espectro de amenazas aéreas a baja o muy baja altitud en tiempo real, y que requiera un alto grado de versatilidad en su empleo.

#### **1.5. Metodología**

Para realizar este trabajo inicialmente se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica sobre los sistemas de armas tratados, incluyendo artículos publicados en revistas militares especializadas y manuales técnicos, tanto de las Fuerzas Armadas como de las casas comerciales. Asimismo, se ha empleado la referencia virtual conocida como *Jane's by IHS Markit*, la cual constituye una base de datos fiable y especializada en la industria de defensa, que es utilizada por gobiernos e instituciones militares. En este caso, el Ministerio de Defensa ha contratado sus servicios y se puede acceder desde la intranet militar.

Posteriormente, se han realizado encuestas a un grupo de militares expertos en artillería antiaérea y a ingenieros de misiles civiles. De los resultados de las encuestas se ha determinado la viabilidad de la solución planteada. Finalmente, los datos obtenidos de las encuestas a los especialistas se han analizado mediante una matriz multicriterio con el fin de optimizar la configuración de la solución planteada en este Trabajo de Fin de Grado.



## 2. Sistemas de armas para artillería antiaérea

Con el fin de exponer los antecedentes y la situación actual de la integración y complementariedad de armas en la artillería antiaérea del Ejército de Tierra, a continuación se presenta un conjunto de sistemas de armas a los que se hace referencia en este Trabajo Fin de Grado. Principalmente, este apartado se divide en cañones 35/90 y direcciones de tiro, sistemas de misiles y por último, ejemplos de integración de sistemas de armas en la AAA del Ejército de Tierra.

### 2.1. Cañones 35/90 y direcciones de tiro

#### 2.1.1. *Skyguard-35/90*

El sistema de armas *Skyguard-35/90* está formado por dos cañones antiaéreos ligeros 35/90 bitubo, y una dirección de tiro *Skyguard*, ampliamente utilizada para dirigir las acciones de fuego de los cañones, que se ha ido adaptando a las exigencias actuales y futuras [4].

Los cañones bitubo (ver Figura 2) son de procedencia suiza y fabricados por la empresa *Oerlikon Contraves*, denominada actualmente *Rheinmetall Air Defence AG* tras la fusión con *Rheinmetall* en 2009. El primer prototipo se completó en 1959 con la designación 2 ZLA / 353 MK, que se rebautizó con el nombre de GDF-001, y en 1980 se introdujo el modelo GDF-002. En 1985 se introdujo el GDF-005, una versión mejorada de los modelos anteriores mediante el uso de kits avanzados de combate desarrollados por la propia *Oerlikon Contraves*. El GDF-005 contaba, entre otras mejoras, con un nuevo sistema autónomo de avistamiento de armas, un sistema de alimentación a bordo y una recarga automática. Posteriormente, el GDF-005 se actualizó con el sistema AHEAD, pasando a llamarse GDF-007. Una tecnología desarrollada por *Oerlikon Contraves* que mejoraba la capacidad de los cañones de defensa aérea para atacar y destruir objetivos aéreos, desde aviones de grandes dimensiones hasta objetivos pequeños como misiles o municiones guiadas de precisión (PGMs, del inglés *Precision-Guided Munition*) [5]. En la Tabla 2, se muestran algunas características de interés de estos cañones.



Figura 2. Cañón ligero de artillería antiaérea 35/90 [4].

Tabla 2. Características de los cañones 35/90 [4].

Calibre	Cadencia	Puntería en Orientación	Puntería en Elevación	Aumentos	Calculador	Modos
35 mm	550 dpm	6400 <sup>oo(2)</sup>	-88 <sup>oo</sup> a 1644 <sup>oo</sup>	8x	16 bits	Remoto <sup>3</sup> /Local <sup>4</sup>

<sup>2</sup> Milésimas artilleras, unidad angular que resulta de dividir la circunferencia en 6400 partes iguales.

<sup>3</sup> La pieza se integra en la DT que proporciona los datos de puntería.

<sup>4</sup> El cañón actúa de forma autónoma a través de su propio sistema de control de tiro.

Por otra parte, la dirección de tiro *Skyguard* (ver Figura 3) fue desarrollada durante los años 70 también por *Oerlikon Contraves*, con la colaboración de *Ericsson* y *Siemens-Albi* de Suiza. La idea consistía en dotar de un moderno sistema de control de fuego a la familia GDF de cañones de 35mm, reemplazando asimismo a sistemas más antiguos como la ampliamente difundida *Superfledermaus*, también de *Contraves*. Además de la capacidad para dirigir de forma remota cañones 35/90, *Skyguard* fue configurada para integrar módulos que pudiesen controlar sistemas de misiles. A día de hoy, la empresa *Rheinmetall Air Defence AG* ha fabricado una nueva versión conocida como *Skyguard 3*, que ha mejorado los tiempos de reacción, la movilidad, los sensores, y la posibilidad de lanzar cualquier misil del tipo “dispara y olvida” y/o de guía láser [6]. En la Tabla 3, se muestran algunas características de interés de la DT *Skyguard*.



Figura 3. Dirección de tiro *Skyguard* [6].

Tabla 3. Características de la dirección de tiro *Skyguard* [6].

Peso	Radar	Alcance Radar	Combustible GE <sup>5</sup>
5500 Kg	Seguimiento/Exploración	20 Km	Gasolina

### 2.1.2. SKYDOR-35/90

El sistema de armas SKYDOR-35/90 contra aeronaves a baja o muy baja altura se compone de cañones antiaéreos de 35 mm, explicados previamente, y una dirección de tiro SKYDOR con vigilancia radar y/o sistema óptico de asignación de blancos [7].

La dirección de tiro SKYDOR (ver Figura 4 y Tabla 4) surge a finales de la década de los 90 del siglo pasado, como resultado de la colaboración entre la empresa española FABA (*Navantia Systems*, denominada *FABA Factory* desde el 2005) y la empresa Suiza *Oerlikon Contraves*, actual *Rheinmetall Air Defence AG*. FABA, por aquel entonces, se posicionaba en el mercado a través de la dirección de tiro DORNA, de naturaleza naval, mientras que *Oerlikon Contraves* tenía una amplia experiencia en sistemas terrestres como demostraban sus desarrollos *Skyguard* y *Skyshield* [8].

En la actualidad, el Ejército de Tierra cuenta con un total 24 unidades de la DT SKYDOR de tres modelos diferentes, adquiridos a lo largo de los últimos 17 años. Las seis primeras unidades datan del 2001, año en que se firma el primer contrato de compra con las empresas proveedoras. Posteriormente, en el 2008 se incorporaron las 18 DT restantes con algunas mejoras incorporadas, tanto en el software como en el hardware. Entre ellas, destacaba la DT número 18 como prototipo revolucionario, ya que, a diferencia de las otras 17, este modelo era capaz de integrarse parcialmente con el COAAS-M.

<sup>5</sup> Hace referencia al grupo electrógeno que alimenta los circuitos eléctricos de la dirección de tiro.

Sin embargo, todas las versiones de SKYDOR, a diferencia de la dirección de tiro *Skyguard*, ya existente en dotación de las unidades de artillería antiaérea, se separan en dos módulos distintos [9]: uno de ellos consiste en la unidad de sensores, donde se localizan los sistemas de adquisición y seguimiento de los objetivos; como radares o cámara de televisión y el otro es donde se ubica el puesto de mando, desde el cual dirige las operaciones asociadas a las funciones de fuego. En este sentido, esta separación de compartimentos y, por tanto, esta nueva configuración respecto al diseño previo *Skyguard*, ofrecía mayores garantías de supervivencia al puesto de mando ante un ataque aéreo. Por este motivo y con el fin de potenciar la industria nacional de armamento, el Ministerio de Defensa concedió el contrato de adquisición de nuevas direcciones de tiro a la propuesta conjunta de ambas compañías.

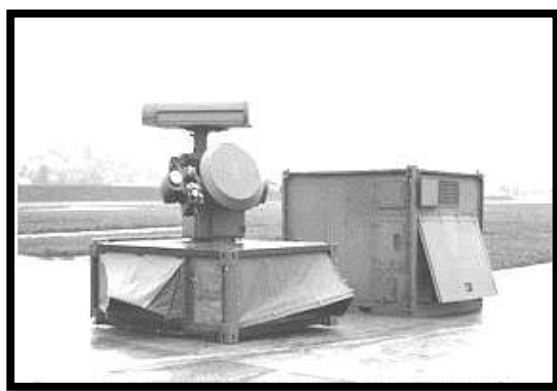


Figura 4. Dirección de tiro SKYDOR [8].

Tabla 4. Características de la dirección de tiro SKYDOR [7].

Compartimentos	Radares	Alcance Radares	Combustible GE
PC y Unidad de Sensores	Uno de seguimiento y otro de exploración	20 Km	Diésel

## 2.2. Sistemas de misiles

### 2.2.1. Misil Aspide

El misil Aspide (ver Figura 5) comenzó a comercializarse por la empresa italiana Selenia en el año 1977. En la actualidad es producido por el consorcio europeo MBDA. Presentaba un autoguiado directo semiactivo<sup>6</sup> en su primera versión Aspide Mk1, pero ha ido evolucionando hasta el Aspide Mk 2 y Aspide 2000, con buscador radar-horming activo y método de interceptación de navegación proporcional. Además, el misil Aspide emplea un motor cohete de combustible sólido para su propulsión durante los primeros minutos, y a continuación planea hasta el objetivo [9]. En la Tabla 5, se muestran algunas características de interés del misil Aspide 2000.



Figura 5. Misil Aspide 2000 [9].

Tabla 5. Características del misil Aspide 2000 [9].

Longitud	Diámetro	Velocidad	Alcance eficaz	Altura máxima
3,70 m	0,244 m	Supersónica	10 km	6 km

<sup>6</sup> Implica que el objetivo es iluminado desde el lanzador de misiles, y el sistema de localización instalado dentro del misil se dirige hacia la energía de iluminación reflejada por el blanco.

Es importante señalar que cuenta con plataformas de lanzamiento tanto terrestre como naval, cuyos lanzadores presentan radares iluminadores del blanco de onda continua que constantemente dan información sobre los parámetros del objetivo.

### 2.2.2. Misil Mistral

Mistral es un misil antiaéreo (ver Figura 6) superficie-aire, dirigido por infrarrojos y fabricado por la empresa multinacional europea de sistemas de misiles MBDA (anteriormente *Matra BAe Dynamics*) y distribuido desde 1988 en más de 25 países. Está basado en el misil francés SATCP (*Sol-Aire À Très Courte Portée*) desarrollado desde 1974 y puede ser empleado en diversas configuraciones de puesto de tiro. Es decir, tanto en plataformas aéreas, navales o terrestres, de estas últimas destacan: MANPADS (monomisil terrestre con trípode plegable), ALAMO (terrestre monomisil para vehículo) y ATLAS (bimisil terrestre para vehículo) [10].

Es un sistema de armas para baja y muy baja cota portátil, que colabora en la defensa de puntos vitales o unidades de combate. La versión inicial de este sistema es conocida como Mistral 1, del tipo *fire and forget* (dispara y olvida). Posteriormente se han efectuado modificaciones en el sistema y han aparecido nuevos modelos en el mercado tales como el Mistral 2 (empleado desde helicópteros) y Mistral 3. Este último, considerado la evolución directa del misil superficie-aire Mistral 1, destaca por un mayor alcance, un sofisticado mecanismo de autoguiado infrarrojo altamente preciso y un detector de sensor matricial incorporado que permite memorizar la firma térmica del objetivo. En la tabla 6, se muestran algunas características relevantes del Mistral 1.

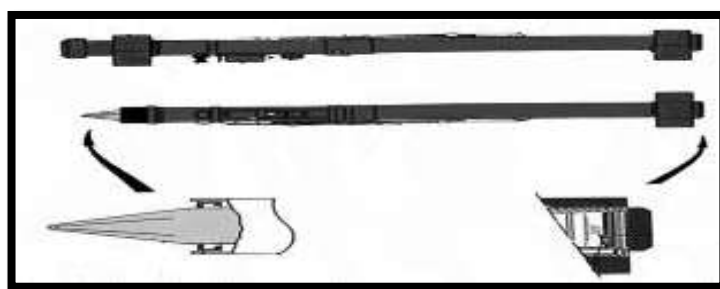


Figura 6. Misil Mistral 1 [11].

Tabla 6. Características principales del misil Mistral 1 [11].

Longitud	Diámetro	Velocidad máxima	Alcance
1,99 m	0,925 m	2,86 Mach	Hasta 5,30 km

### 2.2.3. Misil RIM-7 *Sea Sparrow*

El RIM-7 *Sea Sparrow* es un misil superficie-aire semi-activo de tipo SHORAD, creado originalmente para proteger buques de combate. Cumple funciones de defensa antiaérea y antimisil, y es fabricado por la compañía estadounidense *Raytheon* y *General Dynamics* como parte del proyecto *NATO Sea Sparrow*.

Precisamente, el *NATO Sea Sparrow*, como también se le conoce, se comenzó a distribuir en 1960 con la versión RIM-7E, que consistía en una adaptación simple del misil aire-aire AIM-7E. Desde entonces ha sufrido continuas modificaciones, como por ejemplo la alteración del tamaño de las alas del RIM-7H, y la adopción de nuevos lanzadores pasando del Mk 25 inicial al Mk 29. Además, la propia evolución llevó a transformaciones en el sistema de guiado, modernización electrónica del *seeker*<sup>7</sup>, introducción de medidas

<sup>7</sup> Se trata del buscador encargado del rastreo del objetivo.

anti *jamming*<sup>8</sup> así como mejoras en el motor; alcanzando el modelo RIM-7F, el posterior 7M/P en el año 1983 y 1991 respectivamente, y finalmente la versión más moderna, el misil *Evolved Sea Sparrow* (RIM-162 ESSM) desde 1998 [12].

El RIM-7 *Sea Sparrow* es uno de los misiles más empleados en todo el mundo, alrededor de 30 países integran este sistema de armas en sus flotas y/o artillería antiaérea. Gran parte de responsabilidad al respecto, tuvo la creación en 1966 del consorcio *NATO Sea Sparrow Surface Missile System* (NSSMS) aún vigente. En la cual, la mayoría de países OTAN apostaron por un programa en común de adquisición de misiles, con garantías y facilidades económicas. Una situación que se ha mantenido hasta la actualidad y que ha convertido al RIM-7 *Sea Sparrow* en un candidato óptimo para la integración con la DT SKYDOR [13].

Aunando en este criterio, se debe destacar otro factor fundamental, y es la compatibilidad entre sistemas. En este sentido, es necesario que el sistema de misiles que se integre con una dirección de tiro y sea capaz de reconocer las órdenes que esta dicte. Es decir, debe haber un protocolo digital de comunicación entre ambos elementos de la UT. Fenómeno que, según la literatura técnica analizada y las opiniones de los expertos consultados, podría ser posible en un alto porcentaje. Esta opción generalizada se asocia a la compatibilidad que tiene la dirección de tiro *Skyguard*, predecesora directa de SKYDOR, con los misiles *Aspide*, *SAHV* y *Sparrow* [12]. Por tanto, aunque el modelo SKYDOR adquirido por el Ejército de Tierra no tiene entre sus prestaciones estas funciones de misiles, existen opciones de software que permiten implementar esta capacidad.

### 2.2.3.1. Misil RIM-7M *Sea Sparrow*

De entre todas las versiones del misil RIM-7 *Sea Sparrow* comentadas con anterioridad, los modelos RIM-7E y RIM-7M (ver Figura 7) son los que mejor se adecúan a las consideraciones de defensa tipo SHORAD, tal y como se observa en la tabla 7. Esto es debido, a que no tendría sentido alguno utilizar un misil, en términos tácticos y de costes, con un rango de alcance muy superior al que limita la defensa a baja o muy baja cota, ni menos aún al que limita el propio radar de la dirección de tiro.

Tabla 7. Características de los principales modelos del RIM-7 *Sea Sparrow* [12].

	<b>RIM-7E</b>	<b>RIM-7M</b>	<b>RIM-7P</b>	<b>RIM-162 ESSM</b>
Longitud	3.68 m	3.68 m	3.66 m	3.83 m
Diámetro	203 mm	203 mm	203 mm	254 mm
<b>Alcance</b>	<b>12 km</b>	<b>19 km</b>	<b>40 km</b>	<b>55 km</b>
Peso	195 kg	195 kg	228 kg	297 kg
Año	1960	1983	1991	1998



Figura 7. Misil RIM-7 M *Sea Sparrow* [12].

Con respecto a los aspectos logísticos, el misil RIM-7M *Sea Sparrow* suele ser lanzado desde plataformas navales como la célula Mk 29 de 8 lanzaderas, Mk 41 o incluso a través de la lanzadera vertical Mk48 VLS (*Vertical Launch System*). Sin embargo, las plataformas de lanzamiento terrestre se han ido desarrollando con el paso de los años, en un intento por adaptar las ventajas del misil RIM-7 *Sea Sparrow* al entorno de la artillería antiaérea. Y ejemplos de esta configuración se emplean en la defensa aérea de países tan diversos como Grecia, Egipto o Tailandia [12].

<sup>8</sup> Efecto que pretende interferir en el correcto funcionamiento del sistema.



Figura 8. Lanzadera terrestre del misil RIM-7M *Sea Sparrow* [12].

### 2.3. Integración de sistemas de armas en la AAA del Ejército de Tierra

A continuación se describen aquellas unidades de tiro que en la actualidad son empleadas por la artillería antiaérea del Ejército de Tierra español para la defensa antiaérea de tipo SHORAD. Las cuales, se conforman a partir de la conjunción de al menos dos sistemas de armas diferentes. En este sentido, se tiene el sistema *Skyguard-35/90* integrado con misiles Aspide, y por otro lado, la combinación de puestos de tiro Mistral y cañones 35/90-SKYDOR, enlazados a través del centro de operaciones de artillería antiaérea semiautomático medio y ligero (COAAAS-M/L).

#### 2.3.1. Sistema *Skyguard-35/90* y misiles Aspide

El *Skyguard-35/90* y misiles Aspide es un sistema de armas de defensa antiaérea de corto alcance contra elementos de alto valor táctico o estratégico a baja o muy baja cota, que se compone de cañones ligeros y de misiles Aspide en un sistema mixto que ofrece gran versatilidad a las unidades para enfrentar un amplio rango de amenazas aéreas.

La unidad de tiro del sistema es la Sección, la cual se estructura en dos cañones de 35 mm, con capacidad para batir blancos con un alcance de hasta 4 km y 3,5 km de altura, y dos lanzadores-iluminadores con capacidad de hasta 4 misiles Aspide cada uno, que operan bajo la dirección de tiro *Skyguard*. Además la misma cuenta con dos radares, uno de adquisición y otro de tiro con un alcance máximo en ambos casos de 20 km [14].

##### 2.3.1.1. Enlace *Skyguard-35/90* y misiles Aspide

Por lo general, el conjunto de la unidad de tiro *Skyguard-35/90* y misiles Aspide puede combatir hasta 4 blancos simultáneamente: uno con cada lanzador y otro con cada cañón de 35 mm. Desde el punto de vista técnico, esta integración se puede realizar, fundamentalmente, por la compatibilidad entre el software de sus elementos, enlazados a través de las conexiones físicas [15].

En este sentido, la dirección de tiro *Skyguard* ha sido configurada internamente para que pudiera conectarse tanto con cañones 35/90 como con misiles, a través de ciertos protocolos informáticos que, por motivos de confidencialidad, no pueden ser revelados en este trabajo. Sin embargo, esta compatibilidad de sistemas debe ser recíproca tanto por parte de los cañones como por parte de los misiles. En el primer caso los 35/90 no ofrecen margen de duda, ya que son de la misma empresa que la DT (*Oerlicon Contraves* actual *Rheintmetall*), y en el segundo caso, los misiles Aspide han tenido que ser diseñados para que sus lanzadores reconocieran la dirección de tiro *Skyguard*. De la misma manera, las características técnicas de los misiles *Sparrow* (estadounidenses) o los SAHV (sudafricanos), presentan esta compatibilidad incorporada.

Como parte de esta configuración, pueden existir distintos modos de funcionamiento. Los cañones como se expuso anteriormente, pueden actuar en remoto o local, mientras que los lanzadores en otros tantos. Como por ejemplo, en modo autónomo si al recibir la designación del objetivo actúa sin más información de la DT, en modo esclavo si el lanzador es gobernado por la DT en todo momento o excepcionalmente en manual, cuando se realiza una localización óptica del objetivo y seguimiento manual del mismo [16].

Por otra parte, esta conexión virtual se apoya en la interacción física DT- puesto de tiro (PT), a través de un par de cables de datos y de intercomunicación. Cada cable está integrado por dos hilos ordinarios de combate, por uno se transmiten y reciben datos de forma digital, y por el otro fonía. Los mismos, tienen una extensión máxima de 1000 metros y son de tipo intercambiables. En la Figura 5 se muestra un esquema resumido sobre este tipo de conexión.

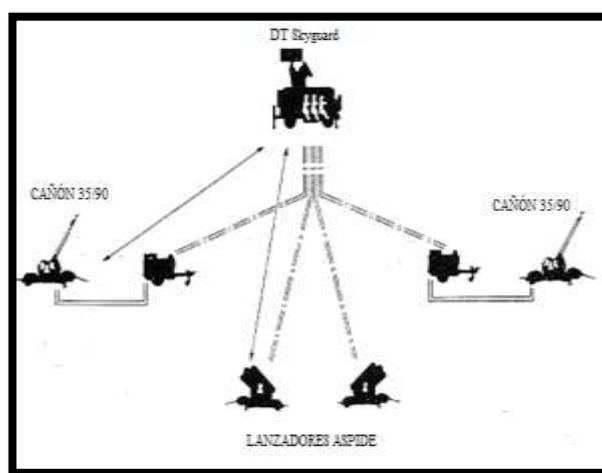


Figura 9. Enlace *Skyguard*-35/90 y misiles Aspide [9].

### 2.3.2. Sistema SKYDOR-35/90, COAAAS-M/L y misiles Mistral

En la actualidad, gran parte de las unidades de artillería antiaérea del Ejército de Tierra están provistas de sistemas de misiles Mistral y/o sistemas de armas SKYDOR-35/90. Ambos armamentos, representan elementos de defensa antiaérea de tipo SHORAD, contra objetivos a baja o muy baja altura, que a diferencia del caso anterior pueden emplearse de forma independiente. En este sentido, los elementos integradores son el centro de operaciones de artillería antiaérea semiautomático medio y ligero (COAAAS-M y COAAAS-L), capaces de coordinar los diferentes puestos de tiro a través de los terminales inteligentes, y a su vez, permite el enlace con el escalón superior de integración, el ARS<sup>9</sup>.

#### 2.3.2.1. COAAAS-M

La necesidad de establecer un control, hasta nivel de puestos de tiro, de las unidades de artillería antiaérea en el Ejército de Tierra ha provocado el desarrollo del COAAAS-M. Convirtiéndose a día de hoy en un multiplicador de las capacidades de combate, permitiendo la integración de las mismas y su empleo oportuno en condiciones de seguridad [17].

Por lo general, el COAAAS-M constituye el Centro Director de Fuegos (FDC, del inglés *Fire Director Center*) del Puesto de Mando de una Unidad de Defensa Antiaérea (PCUDAA), el cual ejecuta el control de la batalla aérea en el tiempo en que transcurre la misma. Asimismo, representa un órgano intermedio en el sistema de integración, ya que se encuentra subordinado directamente al órgano superior

<sup>9</sup> Centro de información y control aéreo, formado por el centro de control aéreo (ACC), centro de producción de la RAP (RPC) y el centro de fusión de sensores (SFP).

del sistema de defensa aérea, y por otro lado, gestiona la actividad del resto de sistemas de armas de la defensa antiaérea conectados al mismo. Su capacidad para integrarse es múltiple, pudiendo integrar como máximo los siguientes elementos:

- Un ARS,
- Un radar RAC-3D con un alcance de 100 km,
- 4 BIA de misiles tierra-aire (SAM) del tipo HAWK o NASAMS,
- 6 DT SKYDOR/*Skyguard*,
- 12 puestos de tiro de misiles Mistral,

La capacidad de ejecución de las labores de este elemento se determinada por el nivel altamente sofisticado de las configuraciones telefónicas que lo componen así como el software que gobierna las consolas de teclado táctico (ver Figura 10) del COAAAS-M.



Figura 10. Consolas de trabajo del COAAAS-M [17].

### 2.3.2.2. COAAAS-L

El sistema COAAAS-L por lo general es un sistema de vigilancia, mando y control para las unidades de tiro de misiles Mistral, que usualmente se encuentra subordinado a las directrices del COAAAS-M. A su vez, consta de una serie de elementos que permiten al Jefe de Operaciones el conocimiento de la situación en tiempo útil para poder tomar decisiones, transmitir órdenes y controlar la ejecución.

Se organiza en un Centro Director de Fuegos, un sistema de vigilancia y alerta, terminales inteligentes, y comunicaciones<sup>10</sup>. Puede ejercer funciones de vigilancia sobre el espacio aéreo mediante los sensores radar, de control sobre las operaciones de despliegue y enfrentamiento aéreo. Y por último, de comunicaciones, trasladando la información de las actividades a través de la radio de la red de combate hacia los canales oportunos de mando [18].

El COAAAS-L (ver Figura 11) se compone de los siguientes elementos:

- 2 radares RAVEN,

<sup>10</sup> Para unidades tipo batería o sección y de esta forma, que puedan formar UDAA independiente o subordinada.



- Centro de Dirección de Fuegos,
- Un terminal inteligente por cada puesto de tiro asociado,

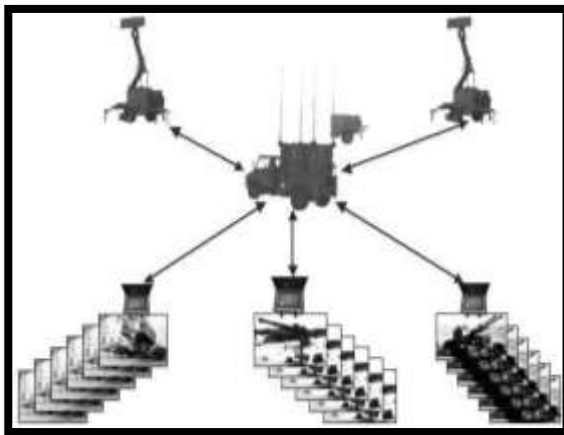


Figura 11. Composición del COAAAS-L [18].

Los radares RAVEN desarrollan la vigilancia y alerta, y están compuestos fundamentalmente por un radar primario de onda continua y otro secundario que permite clasificar a las trazas en vuelo en amigas o enemigas (IFF, del inglés *Identification friend or foe*). Por su parte, el Centro de Dirección de Fuegos se encarga del control de todos los medios en tiempo real. Por último, los Terminales Inteligentes (TI) (ver Figura 12) asociados a los sistemas de armas, se encargan de prolongar las acciones del Centro de Dirección de Fuegos a nivel de piezas de tiro [18,19].



Figura 12. Terminal Inteligente [18].

### 2.3.2.3. Enlace COAAAS-M/L, SKYDOR-35/90, y misiles Mistral

En esta configuración de la defensa antiaérea los puestos de tiro Mistral no se integran en la dirección de tiro SKYDOR como pasaba con el caso del sistema Skyguar-35/90 y los misiles Aspide. Por el contrario, cada sistema de armas actúa de forma independiente, aunque tácticamente se complementen, a expensas de la actuación del COAAAS-M/L como elementos integradores. Esto quiere decir, que tanto los cañones 35/90 como los puestos de tiro Mistral permanecen en sus modos de funcionamiento local, sin la posibilidad de ser dirigidos de forma automática desde un órgano superior.

Precisamente, los centros de operaciones ligeros y medios necesitan establecer un método de enlace eficaz con los sistemas armas, para proporcionar la información relativa del espacio aéreo a los puestos de tiro y asignar la amenaza aérea (ver Figura 13). Esta información desciende desde el Puesto de Mando

Superior de Defensa Aérea (ARS) al Puesto de Mando superior de Artillería Antiaérea (FDC del COAAAS-M). En este punto el flujo se bifurca y, por una parte, el COAAAS-M enlaza directamente con la dirección de tiro SKYDOR a través del terminal inteligente, la cual gobierna el funcionamiento de los cañones 35/90, comunicados entre sí a través de cables armados de pares trenzados para fonía y datos de forma bidireccional; y por la otra, la información continúa al Puesto de Mando del COAAAS-L, con capacidad de integrar hasta 18 puestos de tiro, y desde ese elemento se transmite a las piezas de tiro Mistral [18].

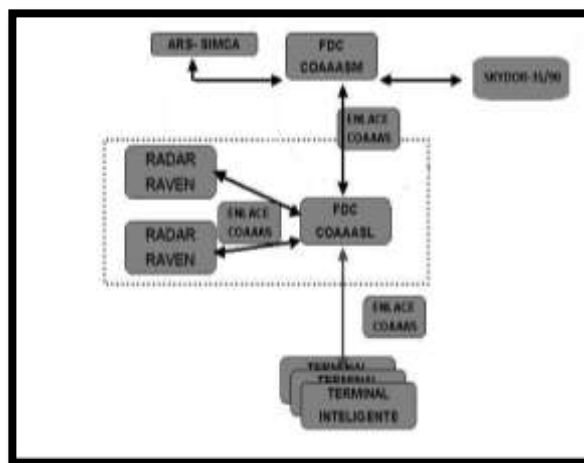


Figura 13. Esquema de interfaces funcionales del sistema de integración [18].

La comunicación entre los COAAAS-M/L y dichos terminales precisa del flujo de datos y fonía por ambas partes. Se puede realizar de dos maneras diferentes, mediante radio o cable, cada una con sus ventajas e inconvenientes. La utilización de la radio PR4G modelo 9210 V3 para la interconexión vía radio proporciona la posibilidad de establecer enlace a mayor distancia que la modalidad por cable y evita los posibles problemas de sensibilidad que tiene el hilo ante acciones externas, así como el trabajo a los operadores encargados de tender las líneas [17]. Sin embargo, y a pesar de ser el enlace radio el más empleado, no deja de ser una realidad que en muchas ocasiones está condicionado por numerosos factores como la meteorología, el terreno o el enemigo, entre otros.

En este sistema, la complementariedad de armas no se establece de forma automática. Es decir, desde que la autoridad del COAAAS-M/L asigna un objetivo a un puesto de tiro, tanto misiles Mistral como cañones 35/90, y se produce el disparo, actúan diversos intermediarios y transcurre un cierto tiempo. Esto tiene como consecuencia numerosas desventajas, desde la posibilidad de perder la traza del blanco en el radar y por tanto, la pérdida de tiempo en la neutralización de la amenaza, hasta el riesgo de ser abatidos por la misma. Como consecuencia, la tendencia de los sistemas de armas en complementariedad e integración en una misma unidad de tiro, es la de alcanzar la automatización en la mayoría de sus operaciones.

### 3. Propuesta de una nueva unidad de tiro integrada

Con el fin de proponer una solución óptima a los problemas de integración entre los sistemas de armas complementarios dentro de la AAA del Ejército de Tierra, además de la búsqueda de información bibliográfica; se ha podido llevar a cabo una encuesta a varios expertos militares e ingenieros civiles de armamento. La encuesta ha sido contestada por veintidós expertos militares y dos ingenieros civiles, lo que hace un total de 24 respuestas. La experiencia de estas personas es fundamental para dar un enfoque integral sobre el tema abordado en este Trabajo Fin de Grado y obtener una propuesta viable en la realidad.

La encuesta completa que se facilitó a los expertos se encuentra en el ANEXO C. Es un cuestionario de tipo valorativo en el que se acota la opinión del encuestado a un total de cinco posibilidades (que van de muy relevante a no relevante). Dicha encuesta se ha estructurado intencionadamente en tres bloques diferenciados, de manera que los resultados obtenidos de cada bloque permitan analizar aspectos diferentes de este trabajo.

A continuación se analizarán los resultados de cada uno de estos tres bloques y se extraerán los resultados más importantes, los cuales han contribuido a desarrollar la solución planteada en este Trabajo Fin de Grado. El primero de estos bloques se refiere a la complementariedad de armas en la artillería antiaérea; el segundo está enfocado en el misil RIM-7 *Sea Sparrow* y su posibilidad de empleo; y el tercer y último bloque analiza la composición y organización de la nueva unidad de tiro propuesta en este trabajo.

#### 3.1. Evaluación de los sistemas de armas actualmente operativos

Si se analiza la situación del sistema *Skyguard*-35/90 y misiles Aspide, se puede comprobar que tanto la dirección de tiro *Skyguard* como los misiles Aspide han servido durante años sin haberse actualizado lo suficiente. La preferencia por la adquisición de la dirección de tiro SKYDOR en comparación con nuevas versiones de la *Skyguard* ha sido determinante. Como consecuencia, a día de hoy, su número en dotación se ha visto reducido sustancialmente, y aunque no se tiene previsiones de su desaparición a corto o medio plazo, su peso y empleo por parte de la artillería antiaérea contra objetivos a baja o muy baja cota es cada vez menor.

Por el contrario, el sistema SKYDOR-35/90, misiles Mistral enlazados a través del COAAAS-M/L se ha visto potenciado con el paso de los años. La mayoría de unidades antiaéreas del Ejército de Tierra articulan sus baterías de armas en cañones 35/90 y misiles Mistral. Sin embargo, esta complementariedad también presenta algunos puntos débiles, como por ejemplo, la deficiente automatización de sus puestos de tiro desde la dirección del COAAA-L comentada previamente, el bajo nivel de integración entre órganos y/o la limitada actuación de sus piezas.

Con respecto a estas últimas cuestiones, de la revisión, tanto bibliográfica como sobre el terreno, realizada sobre el tema se desprende, en primer lugar, que la transmisión de datos entre el COAAAS-M y la DT no es efectiva, puesto que la información en las pantallas del órgano superior (COAAAS-M) no se envían a las del inferior y viceversa; y en segundo lugar, la complementariedad entre misiles Mistral y cañones 35/90 no es la óptima, debido a que ambos sistemas de armas presentan un rango similar de actuación, alrededor de 5 km, que forzaría a desplegar los puestos de tiro Mistral a varios kilómetros a vanguardia a la hora de ejecutar una acción lejana o en profundidad (ver el ANEXO B). Además, la eficacia de actuación del Mistral a la hora de combatir misiles tipo crucero u otros de medio y largo alcance no está contrastada.

##### 3.1.1. Resultados del primer bloque de preguntas

Para el primer bloque de preguntas (ver Tabla 8 y Figura 14), relacionado con la complementariedad de armas, un 83 % de los encuestados ha opinado que el sistema formado por el *Skyguard*-35/90 y los misiles Aspide tiene un papel entre poco y nada relevante en la AAA del Ejército de Tierra (pregunta a). Por otra parte, la mejora que supone la introducción de la DT SKYDOR frente a la *Skyguard* no está clara,

puesto que prácticamente la mitad de los encuestados considera que es positiva y la otra mitad creen que es negativa (pregunta b).

a. Determine la importancia del sistema <i>Skyguard</i> -35/90 y misiles Aspide en la AAA del ET
b. Identifique el grado de mejora adquirido en la AAA del ET con la incorporación de la DT SKYDOR versus <i>Skyguard</i>
c. Valore el nivel de automatización de la complementariedad COAAAS- M/L, misiles Mistral y DT SKYDOR-35/90
d. ¿Considera apropiado el grado de actualización de la DT SKYDOR en dotación?
e. Estime el impacto de la posible integración de misiles en la DT SKYDOR
f. Indique el grado de satisfacción global con los sistemas integrados en la AAA del ET

Figura 14. Preguntas del primer bloque de la encuesta.

También, se constata que el 88 % valora que el nivel de automatización de la complementariedad COAAAS-M/L, misiles Mistral y DT SKYDOR-35/90 es poco o nada relevante (pregunta c), por lo que no es una solución adecuada. Un 50% de los encuestados considera que la actualización de la DT SKYDOR en dotación está entre relevante y bastante relevante, frente a la otra mitad que opina que es poco o nada relevante (pregunta d). En cuanto a una posible integración de un sistema de misiles a la DT SKYDOR, el 90 % lo considera muy relevante o bastante relevante (pregunta e). Finalmente, la satisfacción global con los sistemas integrados en la AAA del Ejército de Tierra es poco alentadora, ya que solo el 45 % opina que la complementariedad es muy o bastante relevante, mientras que el resto ni se decanta por considerarla representativa (pregunta f).

Tabla 8. Frecuencias de respuestas a las preguntas del primer bloque de la encuesta.

	a	b	c	d	e	f
<b>No relevante (%)</b>	3	0	2	3	0	5
<b>Poco relevante (%)</b>	80	46	86	47	3	45
<b>Relevante (%)</b>	10	50	10	45	7	5
<b>Bastante relevante (%)</b>	4	2	2	4	85	43
<b>Muy relevante (%)</b>	3	2	0	1	5	2

Tras el primer bloque de la encuesta, la opinión general entre los expertos es que los sistemas actuales de integración de armas en la AAA presentan importantes deficiencias, especialmente en los aspectos de la automatización de funciones, transmisión de datos e intercomunicación entre los sistemas. Asimismo, la desactualización de los mismos ha provocado, por una parte, la marginalidad en su uso y, por otra, restricciones en sus capacidades operativas. Todo esto confirma la hipótesis planteada inicialmente de que es necesario otro sistema de armas que sustituya a los actuales.

### 3.2. Integración del sistema SKYDOR-35/90 y misiles RIM-7 *Sea Sparrow*

Uno de los objetivos de este trabajo es comprobar si es posible la integración de misiles RIM-7 *Sea Sparrow* bajo la dirección de tiro SKYDOR, para así complementar la actividad de los cañones 35/90 en una misma unidad de tiro. Con esta integración se podría complementar la defensa a muy corto alcance que darían los cañones 35/90, con una defensa algo más avanzada por medio de misiles. Previsiblemente, la amenaza más próxima se trataría de morteros, UAVs y otros elementos hostiles de poco coste; mientras que los misiles serían empleados para hacer frente a objetivos más importantes como aeronaves o misiles enemigos. Además, esta propuesta, pretende solucionar los problemas de renovación en los modelos Aspide disponibles a día de hoy, y a su vez mejorar las prestaciones de servicio de los mismos.

### 3.2.1. Resultados del segundo bloque de preguntas

En cuanto al sistema de misiles (ver Tabla 9 y Figura 15), un 90 % de los encuestados están de acuerdo en la sustitución del sistema de misiles Aspide por otro de mayor alcance en su integración con la DT (pregunta a). A su vez, a un 75 % les parece bastante o muy probable la compatibilidad de los misiles RIM-7 *Sea Sparrow* con la DT SKYDOR (pregunta b). Mientras que, un 88 % consideran que la integración de los misiles RIM-7 *Sea Sparrow* con la DT es adecuada (pregunta c), confirmando la viabilidad de la alternativa propuesta en el trabajo. Se consultó a los encuestados sobre la versión de misiles RIM-7 *Sea Sparrow* que se debía implementar, y al 89 % les pareció que el modelo RIM-7M *Sea Sparrow* sería el más idóneo (pregunta d<sup>11</sup>).

a. ¿Considera necesario sustituir los misiles Aspide integrados en DT por otro tipo con mayor alcance?
b. Indique el grado de compatibilidad de misiles RIM-7 <i>Sea Sparrow</i> con la DT SKYDOR
c. Valore globalmente, la posibilidad de sustituir los misiles Aspide por misiles RIM-7 <i>Sea Sparrow</i> integrados en DT del ET
d. En función de los datos de la tabla c1: ¿Considera el modelo RIM-7M <i>Sea Sparrow</i> , la versión más favorable para dicha integración?
e. ¿El empleo del misil RIM-7M <i>Sea Sparrow</i> mejoraría las prestaciones tácticas de la UT?
f. ¿Estime la posibilidad de llevar a cabo esta incorporación a corto o medio plazo?

Figura 15. Preguntas del segundo bloque de la encuesta

A partir de este último resultado y de los valores de la tabla, así como del hecho de que la versión RIM-7E se encuentra prácticamente obsoleta y ofrece pobres prestaciones de servicio respecto a otras más modernas, se ha determinado que el modelo adecuado para desarrollar la innovación del proyecto sea el RIM-7M. Además, otro factor fundamental, es que el alcance máximo de dicha versión RIM-7M se ajusta aproximadamente a los 20 km de rango del radar de la dirección de tiro SKYDOR. Un aspecto novedoso con respecto a los sistemas actuales de integración de armas del Ejército de Tierra y que ofrecería numerosas ventajas de tipo tácticas y logísticas a las Baterías de artillería antiaérea.

En este sentido, más del 80 % de los encuestados consideran que ese detalle técnico aumentaría sustancialmente las prestaciones tácticas de la UT (pregunta e). Sin embargo, en cuanto al tiempo necesario para esta integración, la opinión general de los encuestados fue que era muy poco probable que pudiese llevarse a cabo a corto o medio plazo (pregunta f).

Tabla 9. Frecuencias de respuestas a las preguntas del segundo bloque de la encuesta.

	a	b	c	d	e	f
<b>No relevante (%)</b>	1	2	3	1	0	3
<b>Poco relevante (%)</b>	9	8	15	3	8	48
<b>Relevante (%)</b>	30	15	68	7	8	25
<b>Bastante relevante (%)</b>	55	74	20	80	80	20
<b>Muy relevante (%)</b>	5	1	0	9	4	5

En este bloque, los especialistas consultados han coincidido en que la propuesta de integración de los misiles RIM-7M *Sea Sparrow* en la DT SKYDOR es bastante acertada. Principalmente por la compatibilidad entre sistemas, la actualización del material y un mayor alcance respecto a la versión Aspide.

<sup>11</sup> La tabla c1 se encuentra en el ANEXO C.

### 3.3. Configuración de la unidad de tiro

Si bien se han establecido los sistemas de armas que integran la unidad de tiro, quedaría por definir la proporción de cada elemento dentro de la UT. Este aspecto, indudablemente, no solo determina el número de piezas o lanzadores de misiles, sino que incluye el personal y material supeditado a la estructura dada.

#### 3.3.1. Resultados del tercer bloque de preguntas

En primer lugar, se debe definir cuantos misiles se implementarán en cada lanzadera. Se propone una distribución de cuatro misiles por lanzadera, típica de muchos lanzadores de misiles. La gran mayoría de los encuestados, alrededor de un 86 % coincidía en que esta opción era bastante adecuada (pregunta a).

En segundo lugar se debe definir el número de lanzaderas de misiles y el número de cañones. Esta decisión se ha tomado con ayuda de una matriz multicriterio como herramienta de valoración. Con esta metodología se da una valoración cuantitativa de las diferentes opciones de la configuración de la UT, asignando una ponderación a cada una de ellas en función de su importancia. La ponderación de cada factor se ha obtenido a partir del tercer bloque de preguntas de la encuesta (ver Figura 16 y Tabla 10).

a. ¿Considera óptimo el empleo de cuatro misiles RIM-7M <i>Sea Sparrow</i> por lanzadera?
b. Indique el grado de importancia que le confiere a la logística de los sistemas de armas a la hora de configurar los elementos de la UT
c. Indique el grado de importancia que le confiere al precio de los sistemas de armas a la hora de configurar los elementos de la UT
d. Indique el grado de importancia que le confiere al empleo táctico de los sistemas de armas a la hora de configurar los elementos de la UT
e. Indique el grado de importancia que le confiere a la duplicidad en los sistemas de armas a la hora de configurar los elementos de la UT
f. Teniendo en cuenta que como máximo se enlazarían dos lanzaderas a la DT ¿Sería idóneo el empleo de esta cantidad?
g. Teniendo en cuenta que como máximo se enlazarían dos cañones a la DT ¿Sería ideal el empleo de esta cantidad?

Figura 16. Preguntas del tercer bloque de la encuesta

Tabla 10. Frecuencias de respuestas a las preguntas del tercer bloque de la encuesta.

	a	b	c	d	e	f	g
<b>No relevante (%)</b>	2	0	1	0	1	1	1
<b>Poco relevante (%)</b>	6	75	25	3	8	4	9
<b>Relevante (%)</b>	6	15	51	20	15	20	10
<b>Bastante relevante (%)</b>	80	9	42	75	75	71	80
<b>Muy relevante (%)</b>	6	1	1	4	1	4	0

Los factores a tener en cuenta para la elección de la configuración son cuatro:

- Volumen logístico de los sistemas de armas,
- Coste,
- Empleo táctico que se puede implementar con los sistemas,
- Duplicidad de sistemas de armas,

Sobre el aspecto logístico de los sistemas de armas (abastecimiento, recursos de transporte, mantenimiento) para el 75 % de los encuestados no era muy determinante a la hora de configurar los elementos de la unidad de tiro (pregunta b). Por tanto, se le asigna una ponderación de 1/9. En cuanto al coste, menos de un 43 % de los encuestados entendía que tenía un papel bastante relevante (pregunta c),

así que se le asignó una ponderación de 2/9. Por último, tanto el empleo táctico que puede derivarse de esta composición, como la necesidad de duplicidad de sistemas para mantener la capacidad combativa, fueron considerados bastante relevantes por más del 80 % de los encuestados (pregunta d y e). Es por eso que se le ha asignado una ponderación de 3/9 a cada uno. En la Tabla 11 se resume la ponderación de estos cuatro criterios.

Tabla 11. Factores de la matriz multicriterio, y su ponderación.

Factores	Ponderación
Volumen logístico de los sistemas de armas	1/9
Coste	2/9
Empleo táctico	3/9
Mantenimiento capacidad combativa	3/9

Se han planteado cuatro alternativas en cuanto a número de cañones y lanzaderas (se pueden ver en la Tabla 12) y se han valorado las cuatro opciones asignando una nota entre 1 y 4. Esta asignación se ha hecho por estimación personal del autor, basándose en la revisión de la bibliografía y en la experiencia adquirida durante la elaboración de este Trabajo Fin de Grado.

El último paso para obtener la calificación de cada opción es multiplicar las valoraciones de cada factor por su ponderación. Como se puede ver en la Tabla 12, la opción que mejor puntuación ha obtenido es la de dos cañones y dos lanzaderas.

Tabla 12. Matriz multicriterio.

Factores					
Opciones de configuración	Logística (1/9)	Coste (2/9)	Empleo Táctico (3/9)	Capacidad combativa (3/9)	Resultado
Una lanzadera y un cañón	4	4	1	1	2,0
Una lanzadera y dos cañones	2	2	3	3	2,7
Dos lanzaderas y un cañón	3	3	2	2	2,3
Dos lanzaderas y dos cañones	1	1	4	4	3,0

Según los resultados obtenidos en la matriz multicriterio, la configuración de la unidad de tiro con una valoración más alta sería la de dos lanzaderas y dos cañones 35/90. Por lo tanto, la propuesta para la unidad de tiro llevaría una DT SKYDOR con dos cañones 35/90 y dos lanzaderas, cada una de ellas con capacidad para lanzar cuatro misiles (ver Figura 17).

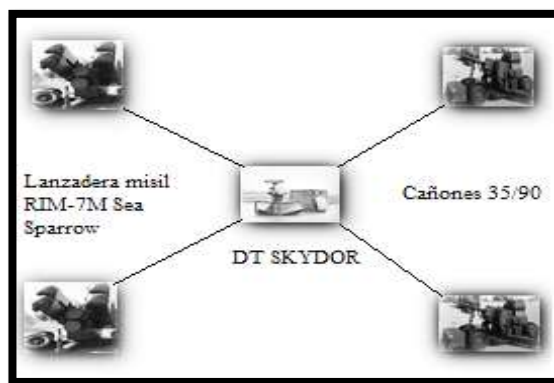


Figura 17. Unidad de tiro SKYDOR 35/90 y misiles RIM-7M *Sea Sparrow*.

Por último, para validar esta configuración se consultó a los encuestados sobre la misma: la gran mayoría de los encuestados la consideró adecuada, concretamente, para el 75 % suponía una mejora entre bastante y muy relevante la utilización de dos lanzaderas de misiles (pregunta f), y para el 80 % una mejora bastante relevante el empleo de dos cañones 35/90 (pregunta g).

### 3.4. Enlace SKYDOR-35/90 y misiles RIM-7M *Sea Sparrow*

Después de la elección del misil y de determinar la configuración óptima de la unidad de tiro, el siguiente elemento que se debe analizar es la manera de interconectar la DT con los misiles RIM-7M *Sea Sparrow* en la UT. Tanto desde el punto de vista físico, mediante conectores y cables, como desde el digital, de transmisión de datos.

La conexión digital entre la DT SKYDOR y la lanzadera de misiles *RIM-7M Sea Sparrow*, depende fundamentalmente de las características que tenga la propia dirección de tiro para gestionar los misiles; prestaciones que actualmente no posee la versión SKYDOR en dotación. Por ese motivo, se ha elaborado un proceso que permitiese alcanzar esas capacidades, el cual se describe a continuación, y que cuenta con la aprobación de uno de los ingenieros entrevistados en el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado.

- En primer lugar es imprescindible una puesta a punto tecnológica, es decir, una actualización de la DT SKYDOR, como requisito indispensable, sobre todo debido al desfase tecnológico en las 24 direcciones de tiro SKYDOR del ET. Esta actualización incluiría implantación de elementos del hardware y actualización del software.

- Posteriormente se necesita realizar un prototipo, a partir de una de las DT, que pudiera garantizar la integración. El cual contase con mejoras en la unidad de sensores, sistema medidor de distancia más sofisticado, sistema supervisor de todo el sistema radar, filtro especial para blancos muy pequeños, datos meteorológicos incluidos, entre otros.

- Finalmente, implantar el mecanismo software de integración DT-misiles.

Por otra parte, a pesar de la dificultad manifiesta, de integrar DT-misiles, desde una perspectiva digital, el enlace físico entre ambos elementos puede darse sin inconvenientes. Se debe realizar mediante pares de cables, tanto de datos como de fonía, los cuales, tienen una extensión máxima de 1000 metros y son intercambiables entre sí. Una conexión exactamente igual a la de los cañones 35/90 con la DT SKYDOR o la de los misiles Aspide con la DT *Skyguard*.

### 3.5. Análisis de costes

Fundamentalmente, los costes que se estudian a continuación son los del producto. Este último, se entiende como el gasto necesario para conformar una unidad de tiro que integre misiles RIM-7M *Sea Sparrow* y cañones 35/90 en la DT SKYDOR.

El coste para crear la UT óptima, formada por dos lanzaderas de misiles (con 4 misiles cada una), y dos cañones 35/90, se dividirá básicamente en dos bloques. Por una parte, el coste de la actualización de la DT<sup>12</sup>, cuya cuantía proviene de la estimación real presentada por uno de los ingenieros civil encuestados, y por otra, el de adquisición de misiles y lanzaderas. Por otra parte, los cañones 35/90 actualmente en dotación son idóneos y no suponen un gasto añadido (ver Tabla 13).

---

<sup>12</sup> El coste de actualización de la DT que aparece en la tabla de costes del producto, implica la puesta a punto tecnológica, el prototipo y el software de integración. Pasos descritos en el apartado de enlace DT SKYDOR y misiles RIM-7M *Sea Sparrow*.



Tabla 13. Coste de la UT óptima [12].

<b>Número de misiles por UT</b>	<b>Coste unitario RIM-7M <i>Sea Sparrow</i></b>	<b>Coste</b>
8	~135 000 euros	~1 080 000 euros
<b>Número de lanzaderas por UT</b>	<b>Coste lanzadera terrestre misil</b>	
2	~115 000 euros	~230 000 euros
<b>Número de DT SKYDOR POR UT</b>	<b>Coste de Actualización DT</b>	
1	~1 000 000 euros	~1 000 000 euros
<b>Coste total por UT</b>		<b>~2 310 000 euros</b>

En los resultados anteriores se muestra, que el coste asociado a la creación de una unidad de tiro asciende a unos 2 310 000 euros. Por lo tanto, si se considera que se pueden conformar 24 unidades de tiro a partir de las 24 DT SKYDOR en dotación en el Ejército de Tierra, el coste total de ese proyecto sería de unos 55 millones de euros. Lo que representa un 2.5 % del presupuesto asignado a la partida de Inversiones Reales para el año 2017, según los datos del Presupuesto del Ministerio de Defensa para el 2017 [20].

## **4. Análisis de riesgos**

En esta parte de la memoria se pretende llevar a cabo un análisis de los principales riesgos que pueden afectar al proyecto de implantación de la propuesta planteada. Es decir, se estudiarán las causas de posibles amenazas y/o eventos no deseados, así como sus consecuencias negativas sobre el rendimiento esperado de la innovación.

Como se puede corroborar en el ANEXO D, el número de riesgos identificados ascienden a un total de diez, los cuales han sido clasificados en función de la probabilidad de ocurrencia y su nivel de impacto. En este sentido, tal y como muestra el análisis, se tiene un riesgo global moderado, excepto por los casos siguientes, que podrían afectar peligrosamente al proyecto.

### **4.1. Imposibilidad de ser implementado a medio plazo**

En primer lugar, se analizará el riesgo vinculado con la imposibilidad de poder implementar la innovación a corto o medio plazo, lo cual se enfrentaría directamente con uno de los requerimientos del proyecto, que en este aspecto, persigue desarrollar la innovación en un breve espacio de tiempo.

Numerosos factores podrían influir en este retraso temporal, desde problemas técnicos hasta los relacionados con sobrecostos. En cualquier caso, sin embargo, los efectos podrían invitar a los posibles compradores a adquirir productos de la competencia. Por ello, una de las soluciones planteadas al respecto sería proponer un contrato favorable a las partes implicadas que tuviese en cuenta esta situación, y que impidiese legalmente la pérdida de mercado nacional o internacional de armamento.

### **4.2. El precio del software/implementación de cambios en la DT y/o misiles es prohibitivo**

El siguiente riesgo estaría vinculado a un posible coste excesivo y casi prohibitivo del proyecto, como consecuencia del precio de adquisición de misiles o de las modificaciones en la dirección de tiro SKYDOR, ya que en este caso intervienen tanto sistemas de armas como actualizaciones muy costosas.

De las dos posibles causas de incremento del coste, la actualización del sistema de la SKYDOR podría suponer el mayor obstáculo. En este sentido, se sabe que los misiles *Sea Sparrow* son relativamente asumibles en términos de gastos, sin embargo, tal y como se ha discutido en el apartado de costes, la cuantía respecto a la mejora de la DT es considerable.

La consecuencia a tales inconvenientes estaría directamente asociada a un aumento del coste de la innovación y, por tanto, a una posible pérdida de contratos de adquisición de la misma. Por ello se han adoptado diversas medidas como, por ejemplo, estudiar el uso de misiles alternativos o mecanismos contractuales que permitan abaratar el coste de las mejoras en la DT.

### **4.3. La automatización del sistema es inferior a la deseada**

Por último, se destaca el riesgo asociado con la obtención de un sistema de armas cuya automatización no satisfaga el objetivo inicial, esto es, que la DT se vea incapaz de dirigir automáticamente los lanzadores de misiles. En ese caso, la innovación no cumpliría uno de sus requisitos y por tanto los posibles requerimientos del cliente. Con la consecuente pérdida de la confianza de compradores y volumen de ventas.

Para solventar este inconveniente, se ha creído necesario centrarse en la comunicación entre sistemas, por lo que se ha desarrollado en paralelo un análisis de otros medios de enlace entre los misiles RIM-7 *Sea Sparrow* y la dirección de tiro SKYDOR. De esta manera, se pretende abarcar todas las posibilidades de interconexión que pudiesen llevar a una integración óptima.

## **5. Planificación**

En este apartado del trabajo se analiza el conjunto de actividades realizadas a la hora de desarrollar el estudio de integración del sistema 35/90 SKYDOR con el de misiles RIM-7 *Sea Sparrow* en una misma UT, las cuales, relacionadas entre sí, se llevan a cabo en un periodo de tiempo programado y tienen asignados una serie de recursos necesarios, en términos de personal y material para poder cumplir con los plazos y tareas establecidas. Se ha considerado el trabajo realizado en este Trabajo Fin de Grado como parte del proyecto de implantación de la propuesta.

### **5.1. Planificación de las actividades del proyecto**

Un total de cinco fases se computan en el desarrollo del proyecto (ver anexo E). A su vez, estas se componen de sub-tareas, asociadas en este caso a un único responsable y acotadas en un período de tiempo determinado. De esta forma, se puede planificar desde el inicio y gestionar mejor la evolución del trabajo.

### **5.2. Planificación temporal del proyecto**

Como complemento a la gestión de la estructura de actividades, en este punto se estudia el plano temporal, que analiza la duración de las tareas y el orden en que deben efectuarse (ver anexo F). En este aspecto, el intervalo de tiempo dedicado a cada una ha dependido de numerosos factores como la complejidad y los recursos, entre otros. Para la parte del proyecto realizada en este TFG, la programación de las actividades también se ha visto influida por el tiempo de entrega del trabajo. Y finalmente, la herramienta seleccionada para tales efectos ha sido el método de Gant.

### **5.3. Planificación de recursos del proyecto**

Una vez definidas las tareas a realizar en el proyecto, y el tiempo disponible para ejecutarlas, es necesario asociar los recursos que permiten acometerlas. Recursos que en general pueden ser de tres tipos: materiales y técnicos, humanos, y financieros.

En esta parte, sin embargo, se hará mención tan solo a los recursos humanos (ver ANEXO G), puesto que los financieros se han abordado en el análisis de costes, mientras que los materiales y técnicos son despreciables, principalmente como consecuencia del enfoque eminentemente teórico del proyecto, que no ha necesitado por ejemplo, desarrollar ninguna fase de calidad, ni crear prototipos, utilizar pruebas fisicoquímicas o de cualquier otro tipo de validaciones.

## 6. Conclusiones

La realización de este Trabajo Fin de Grado ha permitido señalar los problemas reales en la integración de los sistemas de armas disponibles en la artillería antiaérea del Ejército de Tierra para la defensa de tipo SHORAD. Por una parte, la complementariedad entre la DT SKYDOR, cañones 35/90 y los misiles Mistral tiene un bajo nivel de automatización y un deficiente flujo unidireccional de datos, desde el COAAAS-M a la DT, que escasamente se sostiene por el soporte de los Terminales Inteligentes. Y por otra parte, la desactualización de los modelos *Skyguard* y SKYDOR ha mermado el interés por el empleo del sistema *Skyguard*-35/90 y misiles Aspide, así como la oportunidad de configurar nuevas unidades de tiro a partir de la integración de misiles con la DT SKYDOR.

Durante el desarrollo del proyecto que ha dado lugar a la presente memoria, se han logrado los objetivos inicialmente definidos en cuanto al estudio de viabilidad de la integración de misiles sobre la DT SKYDOR en una UT y a la configuración óptima de la misma. En el primero de los casos, el factor determinante para la integración es la actualización de las DT SKYDOR, a través de un proceso en el cual se parte de una puesta a punto tecnológica seguida de la creación de un prototipo de una de estas DT y de la implantación del software de integración. En el segundo caso, la configuración resulta del análisis multicriterio sobre las opiniones de expertos militares y civiles, y establece como idónea la estructura de dos lanzadores de misiles y dos cañones 35/90 conectados a la DT por unidad de tiro.

La materialización de la integración propuesta supondría un avance muy importante en la defensa antiaérea tipo SHORAD del Ejército de Tierra. De esta manera, se podrían alcanzar nuevas capacidades tácticas y operacionales, al nivel de países como Alemania y su innovador sistema de defensa antiaéreo Mantis. Asimismo, lograría complementar y potenciar algunos programas de armamento que se implementan en la actualidad, como es el caso de la actualización del COAAAS-M. Todo ello, con un coste aproximado de 55 millones de euros para el conjunto de las 24 DT, lo que representa un gasto perfectamente asumible y equivalente al 2,5 % de la cantidad asignada para Inversiones Reales según el Presupuesto del Ministerio de Defensa para el año 2017.

Las pretensiones de este Trabajo Fin de Grado y las previsiones actuales en programas de modernización de armas del Mando de Artillería Antiaérea van en la misma dirección. No obstante, el orden de prioridad con respecto a otros sistemas de armas de defensa antiaérea como el PATRIOT, HAWK o NASAMS hace pensar que un proyecto de esta envergadura conllevaría un tiempo estimado de 5 años.

### 6.1. Perspectivas futuras

Mientras tanto, se aconseja el seguimiento de nuevas líneas de trabajo en el marco de la defensa a baja y muy baja cota. Los temibles efectos de la amenaza aérea sobre las fuerzas terrestres e infraestructuras surgen de la disponibilidad, imprevisibilidad y empleo por parte del enemigo de un armamento muy variado (ver Figura 18). En la exploración de nuevas capacidades para prevenirlos, los avances más importantes en los que se está investigando son la alta potencia eléctrica, la guerra electrónica, el almacenamiento de energía, las comunicaciones, y las armas de energía dirigida (ver ANEXO H) [21].

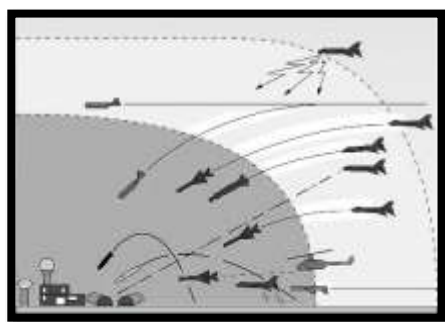


Figura 18. Espectro de la amenaza aérea [21].

## 7. Referencias

- [1] MADOC, *Gestión del espacio aéreo en las organizaciones operativas terrestres*. Granada, España: Ejército de Tierra, 2011. PD4-007.
- [2] MADOC, *Empleo de la Artillería Antiaérea*. Granada, España: Ejército de Tierra, 2010. PD4-300.
- [3] MADOC, *Manual de Adiestramiento*. Unidad de Defensa Antiaérea (UDAA). Granada, España: Ejército de Tierra, 2011. MA4-318.
- [4] MADOC, *Sistema 35/90 SKY (GUARD/DOR)*. CAAAL 35/90. Granada, España: Ejército de Tierra, 2009. ACART-MT-076.
- [5] CAAAL Jane's by IHS Markit [online]. Disponible: <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jlad0185-jaad> [Accedido: 03-10-2017]
- [6] *Skyguard* Jane's by IHS Markit [online]. Disponible: <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jlad0272-jaad> [Accedido: 03-10-2017]
- [7] MADOC, *Manual de Instrucción. Sirvientes de la Dirección de Tiro SKYDOR*. Granada, España: Ejército de Tierra, 2011. MI4-308.
- [8] SKYDOR Jane's by IHS Markit [online]. Disponible: <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jeos0075-jc4im> [Accedido: 03-10-2017]
- [9] MADOC, *Sistema 35/90 SKY (GUARD/DOR)*. D.T. SKYDOR. Granada, España: Ejército de Tierra, 2009. ACART-MT-076.
- [10] MBDA Missile Systems [online]. Disponible: <http://www.mbda-systems.com/product/aspide-2000/> [Accedido: 03-10-2017]
- [11] MADOC, *Sistemas de armas Mistral*. Granada, España: Ejército de Tierra, 2000. ACART-MT-017.
- [12] Misil RIM -7M *Sea Sparrow* Jane's by IHS Markit [Disponible]. Available: <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jsws0205-jsws> [Accedido: 03-10-2017]
- [13] P. Macchiavello, "Misiles *Sea Sparrow*," *Revismar*, vol. 13, pp. 74-82, Jun. 2006.
- [14] EME, *Orientaciones. Grupo de Artillería Antiaérea SKYGUARD 35/90 ASPIDE*. Madrid, España: Ejército de Tierra, 1996. OR4-305.
- [15] EME, *Reglamento de Empleo. Skyguard M-35/90 Aspide*. Madrid, España: Ejército de Tierra, 1994. RE6-305.
- [16] MADOC, *Manual de Instrucción. Sirvientes de lanzador ASPIDE*. Ejército de Tierra: 2007. ISBN MI6-325.
- [17] MADOC, *Empleo táctico FDC COAAAS-M*. Granada, España: Ejército de Tierra, 2013. PD4-319.
- [18] MADOC, *Manual Técnico. COAAAS-L*. Granada, España: Ejército de Tierra, 2006. MT6-332.
- [19] MADOC, *Manual de Instrucción. Terminal Inteligente del Puesto de Observación y Tiro (TIPOT)*. Sistema COAAAS-L. Granada, España: Ejército de Tierra, 2009. MI6-343.

[20] Ministerio de Defensa [online]. Disponible:  
[http:// http://www.defensa.gob.es/Galerias/presupuestos/presupuesto-defensa-2017.pdf](http://www.defensa.gob.es/Galerias/presupuestos/presupuesto-defensa-2017.pdf) [Accedido: 27-10-2017]

[21] M. Gómez, “Armas de energía dirigida,” *Memorial de artillería*, vol. 157/1, pp. 50-85, Jun.2011.

[22] F. Ochsner, “Trends and challenges for GBAD,” *Rheinmetall Defence*, vol. 8, pp. 35-41, Oct. 2017.

## ANEXO A

### a. Orgánica de artillería antiaérea del ET

#### a.1. Unidades básicas

Estas unidades están formadas por entidades de tipo elemental que permiten generar módulos de capacidades que constituyen la base sobre la que se crearán las estructuras operativas. Además, poseen los medios de mando y control y enlace que permiten integrar a la artillería antiaérea en las acciones de Defensa Aérea.

#### a.1.1. Grupo de artillería antiaérea

El Grupo es la unidad fundamental en el ámbito orgánico, y la base para constituir las unidades de defensa. Las cuales están formadas por tres núcleos principales, mando y control, apoyo logístico y fuego. La configuración modular del Grupo otorga precisamente los medios y personal que componen estos núcleos de la unidad de defensa:

- Mando,
- Plana Mayor de Mando (PLMM),
- Batería de Plana Mayor,
- Batería de Servicios,
- Baterías de Armas,

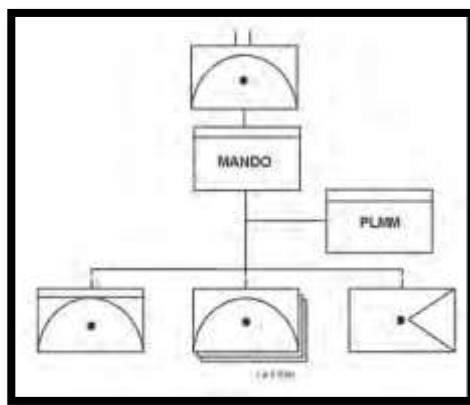


Figura 1A. Grupo de Artillería Antiaérea [2].

#### a.1.2. Batería de artillería antiaérea

La Batería constituye la unidad orgánica base de la composición de los Grupos de Artillería Antiaérea. Respecto a la organización y funciones, se pueden establecer los siguientes tipos:

- Batería de Plana Mayor (PLM) que posee el personal y medios necesarios para auxiliar al jefe del Grupo.
- Batería de Servicios conforma el personal y medios para ejecutar las funciones logísticas del Grupo.

- Batería de Armas es el elemento fundamental del combate, y encuadra al personal y medios para llevar a cabo la batalla aérea. Se compone del Mando, una Sección de Plana Mayor y Servicios, Secciones de Armas, y una Sección de Mantenimiento específico.

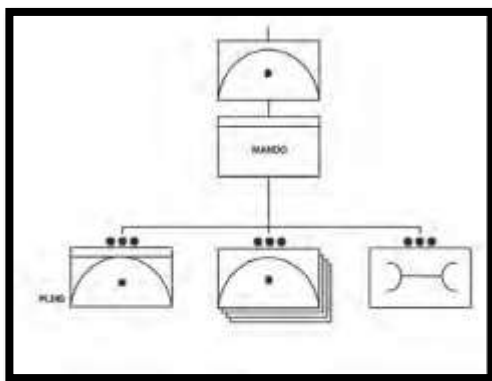


Figura 2A. Batería de Armas [2].

## a.2. Unidades superiores

### a.2.1. Regimiento de artillería antiaérea.

El Regimiento es una estructura orgánica formada por diversos Grupos y Baterías independientes. El objetivo de esta organización es satisfacer las necesidades de administración, preparación, disciplina y logística para el buen funcionamiento de los Grupos y Baterías que estructura.

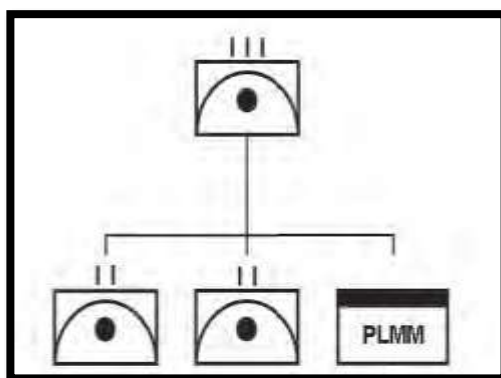


Figura 3A. Regimiento de artillería antiaérea [2].

### a.2.2. Mando de artillería antiaérea

El Mando de artillería antiaérea (MAAA) es una estructura orgánica formada por un Cuartel General, Regimientos de artillería antiaérea, y una unidad de Trasmisiones, bajo una dirección única, con la finalidad de contribuir en un marco conjunto o conjunto-combinado a la Defensa Aérea del territorio nacional y proporcionar la defensa antiaérea a las organizaciones operativas que se establezcan. Presenta la siguiente composición:

- Mando,
- Cuartel General,
- Regimientos de artillería antiaérea,



- Unidad de Transmisiones,

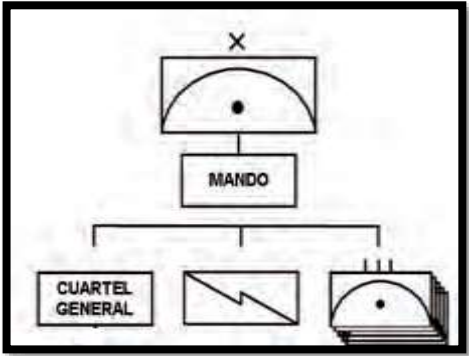


Figura 4A. Mando de artillería antiaérea [2].

## ANEXO B

### b. Fundamentos de empleo

#### b.1. Cometidos

Los cometidos que a continuación se explicarán brevemente, constituyen actividades genéricas que pueden derivar en otras más específicas en base a las necesidades del combate. Y dependen fundamentalmente de la finalidad de las acciones.

- Protección de fuerzas: Se basa en preservar a la fuerza de la amenaza aérea, incluyendo al personal, instalaciones y material. Constituye el cometido más complejo de llevar a cabo por la exigencia de combinar la defensa antiaérea con las demás funciones.
- Defensa de zona: El objetivo en este caso es la protección de una zona o área como un todo. Completando de esta manera el mecanismo de defensa aérea conjunto.
- Defensa de punto: A diferencia del caso anterior, en este aspecto sí se enfoca a la defensa de un elemento de vital importancia. Y se suele coordinar con el responsable de la seguridad de la instalación o punto, para establecer prioridades y vulnerabilidades del mismo.

Como se indicó previamente, existen actividades que podrían derivarse de los cometidos anteriores en función del objetivo que se pretenda alcanzar. Entre otras se encuentra la defensa de itinerario, que puede entenderse como una mezcla de los cometidos genéricos a lo largo de un recorrido. Otra en consideración sería el acompañamiento, acción en la cual se brinda protección a una unidad en movimiento. Y por último, la emboscada antiaérea, que implica el bloqueo de avenidas de aproximación por las que podría incursionar el enemigo.

#### b.2. Criterios de despliegue

Otra cuestión a valorar de los fundamentos de empleo de la artillería antiaérea son los llamados criterios de despliegue. En general, constituyen orientaciones a tener en cuenta durante el planeamiento del despliegue, ya que definen la distribución más adecuada de las unidades de tiro entre sí y respecto a los elementos a proteger de la amenaza aérea.

Existen ocho tipos de criterios de despliegues, los cuales se pueden organizar en cuatro pares con criterios complementarios o contrapuestos cada uno. Ver tabla 2.

Criterio de despliegue	Par	Finalidad
Defensa equilibrada	1	Similar eficacia en todas las direcciones
Defensa ponderada	1	Mayor eficacia en determinadas direcciones
Apoyo mutuo	2	Protección zona muerta y continuidad perimétrica de los fuegos
Solape de fuegos	2	Continuidad perimétrica de los fuegos
Acción lateral	3	Mayor eficacia sobre rutas de paso
Acción frontal	3	Mayor eficacia sobre ruta de aproximación directa
Acción lejana	4	Aplicación de los fuegos antes de que el enemigo aéreo lance sus armas
Acción en profundidad	4	Continuidad de fuegos a medida que el enemigo aéreo progresa

Tabla 1B. Tipos de criterios de despliegues [2].

- Defensa equilibrada: Con esta defensa se alcanza una distribución equilibrada de la seguridad.
- Defensa ponderada: En este caso, cuando los medios no son suficientes para realizar una defensa equilibrada, se dispone la existencia en la dirección más probable del enemigo.

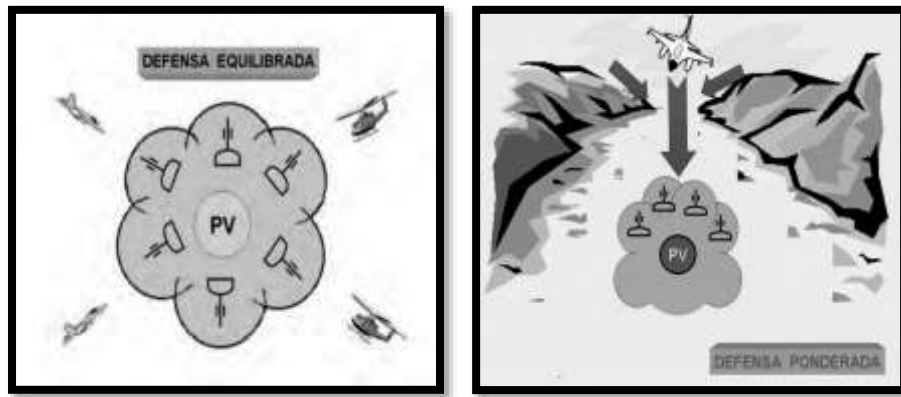


Figura 1B. Defensa equilibrada y ponderada [2].

- Apoyo mutuo: Distribución de las unidades de tiro de tal manera que queden bajo la influencia y protección de las armas colaterales para evitar quedar vulnerables en las llamadas zonas muertas.
- Solape de fuegos: Si debido a la escasez de medios o limitaciones del terreno no es posible realizar apoyo mutuo entre unidades colaterales, entonces se recurre a una distribución en la que las unidades se separan a una distancia mayor a la de apoyo mutuo hasta que sus coberturas de fuego se solapan.

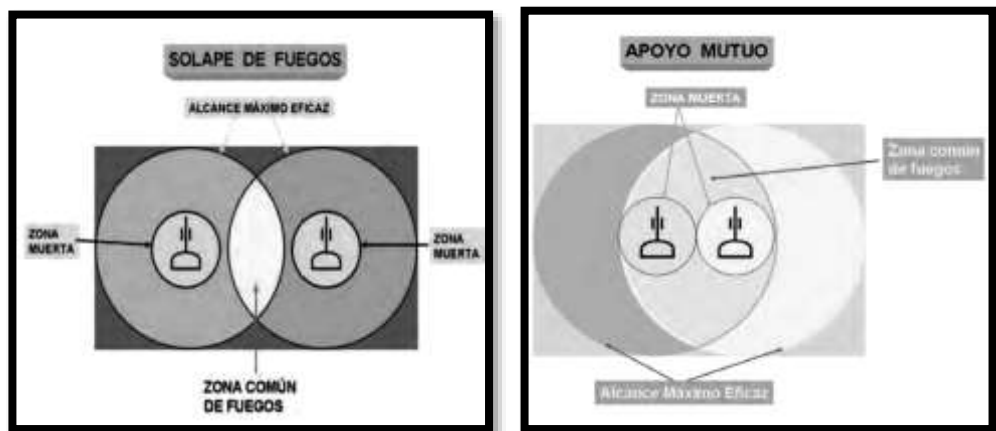


Figura 2B. Solape de fuegos y apoyo mutuo [2].

- Acción lateral: Despliegue lateral de las unidades de tiro a la dirección probable del enemigo, aprovechando de esta manera las características del sistema de arma.
- Acción frontal: Este caso se emplea para sistemas de armas cuya fortaleza se encuentra en la dirección frontal a la amenaza, por lo que se dispone en la dirección de asalto de la misma.

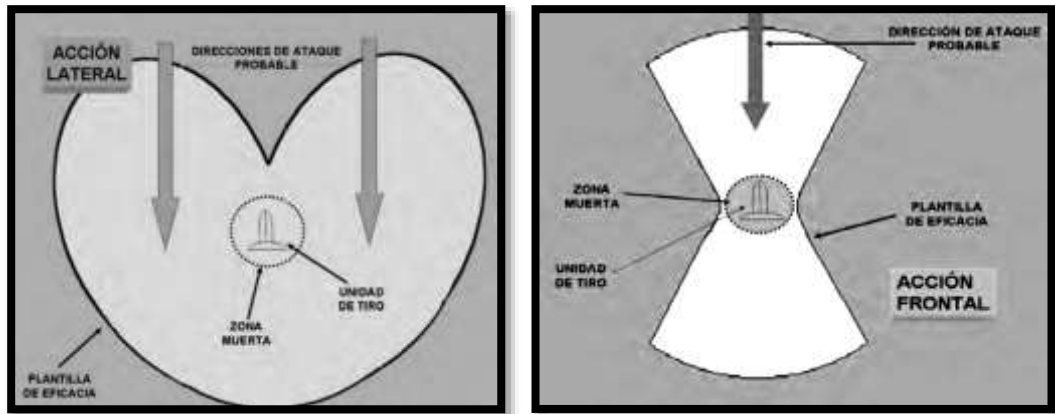


Figura 3B. Acción lateral y frontal [2].

- Acción lejana: Despliegue de las unidades de tiro de tal manera que impidan que la acción aérea hostil llegue a realizarse. Esto implica que el sistema de detección temprana actúe eficazmente.
- Acción en profundidad: Distribución de las unidades de tiro de tal manera que se coloquen a una distancia lejana del elemento a proteger sin dejar vacío de seguridad.

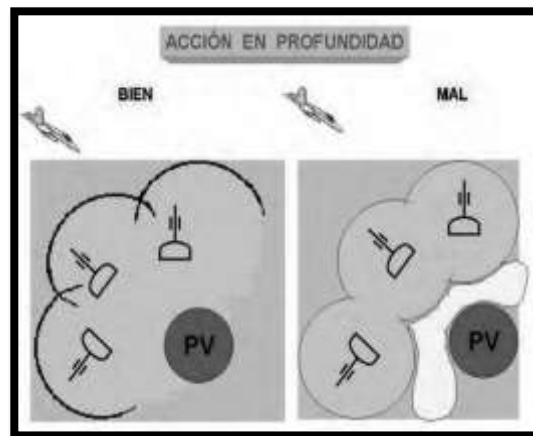


Figura 4B. Acción en profundidad [2].

## ANEXO C

### c. Encuesta de valoración

El presente cuestionario pretende recopilar la opinión de expertos militares en el ámbito de la artillería antiaérea, que permita valorar eficazmente los interrogantes planteados en la misma, y así contribuir al desarrollo del Trabajo Fin de Grado titulado, “Estudio de la integración del sistema 35/90 SKYDOR con el de misiles RIM-7 *Sea Sparrow* en una misma UT”. La encuesta está dividida en tres fases. La primera, se refiere a la complementariedad de armas en la artillería antiaérea. La segunda, está enfocada en el misil RIM-7 *Sea Sparrow* y su posibilidad de empleo. Y por último, se analiza la composición de la nueva unidad de tiro

**INSTRUCCIONES:** Para cada pregunta propuesta, debe señalar únicamente la columna que mejor refleje su opinión, entre un total de cinco posibilidades. Además, puede añadir un comentario al final de cada bloque de cuestiones.

1. Complementariedad de armas	5 (muy relevante)	4 (bastante relevante)	3 (relevante)	2 (poco relevante)	1 (no relevante)
a. Determine la importancia del sistema <i>Skyguard</i> -35/90 y misiles Aspide en la AAA del ET					
b. Identifique el grado de mejora adquirido en la AAA del ET con la incorporación de la DT SKYDOR versus <i>Skyguard</i>					
c. Valore el nivel de automatización de la complementariedad COAAAS- ML, misiles Mistral y DT SKYDOR-35/90					
d. ¿Considera apropiado el grado de actualización de la DT SKYDOR en dotación?					
e. Estime el impacto de la posible integración de misiles en la DT SKYDOR.					
f. Indique el grado de satisfacción global con los sistemas integrados en la AAA del ET					
<b>Comentarios:</b>					
2. Misil RIM-7 <i>Sea Sparrow</i>	5 (muy relevante)	4 (bastante relevante)	3 (relevante)	2 (poco relevante)	1 (no relevante)
a. ¿Considera necesario sustituir los misiles Aspide integrados en DT por otro tipo con mayor alcance?					
b. Indique el grado de compatibilidad de misiles RIM-7 <i>Sea Sparrow</i> con la DT SKYDOR.					
c. Valore globalmente, la posibilidad de sustituir los misiles Aspide por misiles RIM-7 <i>Sea Sparrow</i> integrados en DT del ET					
d. En función de los datos de la tabla c1: ¿Considera el modelo RIM-7M <i>Sea Sparrow</i> , la versión más favorable para dicha integración?					
e. ¿El empleo del misil RIM-7M <i>Sea Sparrow</i> mejoraría las prestaciones tácticas de la UT?					
f. ¿Estime la posibilidad de llevar a cabo esta incorporación a corto o medio plazo?					
<b>Comentarios:</b>					

3. Configuración de la UT	5 (muy relevante)	4 (bastante relevante)	3 (relevante)	2 (poco relevante)	1 (no relevante)
a. ¿Considera óptimo el empleo de cuatro misiles RIM-7M <i>Sea Sparrow</i> por lanzadera?					
b. Indique el grado de importancia que le confiere a la logística de los sistemas de armas a la hora de configurar los elementos de la UT					
c. Indique el grado de importancia que le confiere al precio de los sistemas de armas a la hora de configurar los elementos de la UT					
d. Indique el grado de importancia que le confiere al empleo táctico de los sistemas de armas a la hora de configurar los elementos de la UT					
e. Indique el grado de importancia que le confiere a la duplicidad en los sistemas de armas a la hora de configurar los elementos de la UT					
f. Teniendo en cuenta que como máximo se enlazarían dos lanzaderas a la DT ¿Sería idóneo el empleo de esta cantidad?					
g. Teniendo en cuenta que como máximo se enlazarían dos cañones a la DT ¿Sería ideal el empleo de esta cantidad?					
Comentarios:					

c1. Tabla de datos adjunto a la encuesta

	RIM-7E	RIM-7M	RIM-7P	RIM-162 ESSM
Longitud	3.68 m	3.68 m	3.66 m	3.83 m
Diámetro	203 mm	203 mm	203 mm	254 mm
Alcance	12 km	19 km	40 km	55 km
Peso	195 kg	195 kg	228 kg	297 kg
Año	1960	1983	1991	1998

**ANEXO D**

**d. Análisis de riesgos**

Project Leader:		CAC, Miguel Enrique Nieves Sainz		Risk Evaluation		Start Date:		04/09/2017		Centro Universitario de la Defensa Zaragoza	
ID	Risk Description	Risk categories	Reason for risk	Impact (low, middle, high)	Probability (1,2,3)	Risk-class	Risk Effects	Measure	Risk class after measure implementation	Schedule date	Estimate of completion date
1	La funcionalidad de los sistemas, en la nueva UT, se detectan por debajo de sus posibilidades	Requerimientos cliente	La innovación no cumple con las expectativas	H	1	H	Retraso en la fecha de finalización y un aumento del coste del proyecto	Estudiar las funcionalidades de los sistemas de armas para conseguir potenciar las mismas en la nueva UT	L	24/10/2017	24/10/2017
2	El precio del software/Implementación de cambios en la DT y/o misiles es prohibitivo	Requerimientos cliente	Elevado coste del proyecto	H	2	2H	Disminución en las probabilidades de explotación	Estudiar el uso de misiles alternativos o mecanismos contrasuales que permitan a Defensa asumir el coste de las mejoras en la DT	L	25/10/2017	28/10/2017
3	Enlace entre misiles y la DT no compatible	Requerimientos cliente	La innovación no podrá llevarse a cabo	H	1	H	Rediseño de todo el producto, retraso en la fecha de finalización y sobrecostes	Verificar y verificar compatibilidad de sistemas por parte de expertos	L	25/10/2017	28/10/2017
4	La automatización del sistema es inferior a la deseada	Desarrollo	La integración perderá a parte de sus prestaciones	H	2	2H	El volumen del mercado interesado se verá reducido	Estudiar métodos alternativos de enlace entre los sistemas / Asumir el riesgo	L	27/10/2017	27/10/2017
5	Imposibilidad de ser implementado a medio plazo	Requerimientos cliente	El proyecto duraría más tiempo de lo esperado	H	2	2H	El cliente podrá preferir adquirir un producto de la competencia	Formular un acuerdo en términos contrasuales favorables a ambas partes que contemple esas situaciones temporales	L	27/10/2017	27/10/2017
6	La configuración de recursos no es la óptima en términos de personal y material	Desarrollo	Interrupción de recursos a tiempo y por tanto, del precio total de la innovación	H	1	H	Descenso en las opciones de contratos de ventas	Disponer de diseños alternativos que contemplen otras configuraciones posibles	L	28/10/2017	28/10/2017
7	Los resultados obtenidos con la nueva UT no mejoran las prestaciones de las innovaciones actuales en el ET	Desarrollo	El proyecto no supondrá un salto cualitativo en términos de rendimiento	H	1	H	Indiferencia hacia la innovación y pérdida potencial de clientes	Es preciso potenciar el desarrollo de esas nuevas capacidades que muestren el producto como único	L	28/10/2017	28/10/2017
8	Aparición de factores externos que provoquen pérdida de interés en la adquisición de la innovación	Desarrollo	Aparición de nuevas prioridades para el comprador	H	1	H	Descenso en las expectativas de ventas	Estudiar las prioridades del cliente incluyendo adquisiciones previas para determinar el grado de importancia que le da	L	28/10/2017	28/10/2017
9	Las características del misil RIM-7 <i>Sea Sparrow</i> exceden las capacidades del sistema	Desarrollo	Eseso de coste del proyecto	H	1	H	Disminución en las ventas del producto	Estudiar y analizar el grado de idoneidad del misil RIM-7 <i>Sea Sparrow</i> para la nueva UT	L	29/10/2017	30/10/2017
10	El proyecto no es acabado en el plazo marcado	Requerimientos cliente	No poder preparar una posible oferta para poder entrar en concurso de venta	H	1	H	Pérdida de clientes e ingresos.	Llevar a cabo un adecuado control y seguimiento del proceso que permita alertar de posibles retrasos	L	29/10/2017	30/10/2017

Probability	3	0	0	0	Risk-Class	Nr		
	2	0	0	3			High (red)	0
	1	0	0	7			High to Medium (orange)	3
		Low	Medium	High	Medium (yellow)	7		
		Impact			Low (green)	0		
					Total:	10		

Figura 1D. Resumen del número de riesgos y su clasificación.



ANEXO E

e. Planificación de las actividades del proyecto

Nombre proyecto: Estudio de la integración del sistema 35/90 SKYDOR con el de misiles RIM-7 <i>Sea Sparrow</i> en una misma UT		Fecha: 30/10/2017 0:00					
Project manager: CAC Miguel Enrique Nieves Sanz							
ID	Nombre tarea	Description	Responsible	Fecha ini	Fecha fin	Status	Area
1	Lanzamiento del proyecto	Reunión inicial para la planificación y creación de agenda	CAC. Nieves Sanz	04/09/2017	04/09/2017	Cerrada	Desarrollo
2	Búsqueda de información sobre la integración de sistemas	Recopilar información sobre la integración de sistemas como punto de partida	CAC. Nieves Sanz	05/09/2017	24/09/2017	Cerrada	Desarrollo
2.1	Estudio sobre la integración en el Ejército de Tierra	Busca información sobre armas complementarias, características y medios de enlace en el ET		05/09/2017	12/09/2017	Cerrada	Desarrollo
2.2	Estudio sobre la integración en otros ejércitos	Busca información sobre armas complementarias, características y medios de enlace en otros países		13/09/2017	15/09/2017	Cerrada	Desarrollo
2.3	Encuesta a expertos en artillería antiaérea	Encuesta para determinar		16/09/2017	20/09/2017	Cerrada	Desarrollo
2.4	Estudio sobre perspectivas de integración futuras	Busca información sobre innovaciones futuras en la integración de sistemas a la DT		21/09/2017	24/09/2017	Cerrada	Desarrollo
3	Desarrollo de la propuesta de innovación	Estudio de los sistemas de armas que la componen, tipo de enlace, optimización de recursos	CAC. Nieves Sanz	25/09/2017	18/10/2017	Cerrada	Desarrollo
3.1	Análisis del misil RIM-7 <i>Sea Sparrow</i>	Búsqueda de información sobre los misiles <i>Sea Sparrow</i>		25/09/2017	04/10/2017	Cerrada	Desarrollo
3.2	Análisis del enlace entre el misil RIM-7 <i>Sea Sparrow</i> y la DT SKYDOR	Estudio del tipo de enlace que se establece, y la manera de hacerlo, entre los misiles y la DT SKYDOR		05/10/2017	11/10/2017	Cerrada	Desarrollo
3.8	Matriz de decisión militar	Utiliza herramienta cualitativa y cuantitativa que me permita valorar el número de recursos de la UT		12/10/2017	12/02/2017	Cerrada	Desarrollo
3.4	Valoración de recursos materiales y humanos para la UT	Análisis y selección de los recursos materiales y humanos para la UT		13/10/2017	18/10/2017	Cerrada	Desarrollo
4	Costes de la innovación	Análisis de costes de adquisición de misiles y actualización de la dirección de tiro	CAC. Nieves Sanz	19/10/2017	23/10/2017	Cerrada	Costes
4.1	Estimar costes de adquisición de misiles	Estudio del precio de misiles		19/10/2017	21/10/2017	Cerrada	Costes
4.2	Estimar costes de actualización de la DT	Estudio del coste de la actualización del software de la DT SKYDOR		22/10/2017	23/10/2017	Cerrada	Costes
5	Riesgos de la nueva UT	Estudio de los riesgos más importantes a los que se enfrenta la innovación	CAC. Nieves Sanz	24/10/2017	30/10/2017	Cerrada	Desarrollo
5.1	Análisis de riesgos para la nueva UT	Valoración de riesgos para la nueva UT		24/10/2017	30/10/2017	Cerrada	Desarrollo

### **e.1. Fases**

En primer lugar, se tiene la etapa de lanzamiento del proyecto, en la cual se planifica y establece una agenda de actividades a seguir. A continuación, la segunda etapa denominada búsqueda de información sobre la integración de sistemas, pretende recopilar toda la información disponible en este tema a nivel nacional e internacional que permita, actuar como base y punto de partida del desarrollo.

Posteriormente, en la propuesta de innovación, se localiza el análisis de la nueva complementariedad. Etapa que destaca, por el estudio de los sistemas de armas que componen la nueva unidad de tiro, además del tipo de enlace que hace eficaz la interconexión entre lanzadores y la dirección de tiro, así como, la metodología para alcanzar la optimización de recursos en la UT.

Finalmente, se tiene la fase de costes de la innovación y riesgos de la nueva UT. En la primera, se analizan fundamentalmente los costes del desarrollo de la innovación, tanto el de adquisición de misiles como de la actualización de la dirección de tiro. Mientras que en la segunda, se determinan los principales eventos o factores a los que se enfrenta la nueva UT.





## ANEXO G

### g. Planificación de recursos del proyecto

Los recursos humanos a disposición del desarrollo de este proyecto también son muy limitados. Su composición discurre entre los miembros del equipo de proyecto, que en este caso solo es el alférez-autor de la memoria, los expertos militares encuestados o entrevistados a lo largo del proceso, e ingenieros expertos civiles de la industria de armamento, también consultados. A continuación se podrá observar un organigrama que jerarquiza de alguna forma, estos empeños humanos.

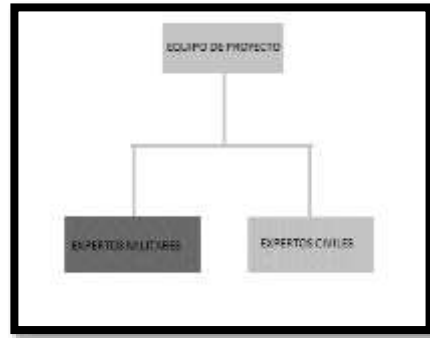


Figura 1G. Organigrama de recursos humanos.

## ANEXO H

### h. Armas de energía dirigida

Las armas de energía dirigida se basan en la concentración de diferentes tipos de energía en puntos determinados, con la finalidad de combatir una amenaza dada. Estas se pueden clasificar en láser, microondas o haces de partículas cargadas.

La línea de trabajo láser, es la más destacada y prometedora a nivel militar, a corto y medio plazo, y así lo corroboran los resultados obtenidos en muy poco tiempo por la empresa *Rheinmetall Air Defence* líder mundial en este campo de investigación (ver Figura 19). Esta empresa ha sido capaz de desarrollar un cañón láser de alta energía, adaptado a las necesidades actuales de objetivos con gran movilidad, y con la posibilidad de integrarse en las direcciones de tiro *Skyguard III*, *Skyshield* y la SKYDOR actualizada.

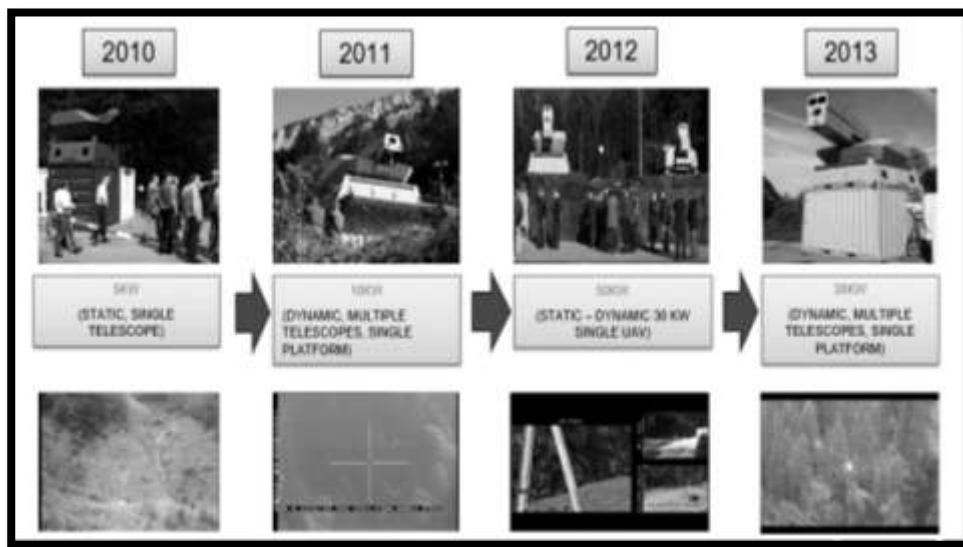


Figura 1H. Evolución del láser de alta energía de *Rheinmetall* y sus capacidades [22].