



Trabajo Fin de Grado

ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LA INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ACTIVA

CAC. Jose Revert Tormo

Director académico: D. Carlos Cajal Hernando

Director militar: Cap. Carlos Yubero Sanz

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar



Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia y amigos, quienes han sido una fuente de inagotable apoyo a lo largo de este arduo viaje académico. Sin su constante respaldo y comprensión, este logro no habría sido posible. A mis padres, hermano y seres queridos, gracias.

Asimismo, deseo mostrar mi gratitud al capitán jefe del Escuadrón Acorazado y al teniente jefe de la segunda Sección por su orientación y apoyo. Sus conocimientos y su saber hacer fueron fundamentales para completar este trabajo de manera satisfactoria.

También quiero agradecer al director académico por su constante apoyo y sus valiosos consejos a lo largo del proceso de ejecución y redacción de este TFG. Su gran experiencia y conocimientos han sido de gran ayuda para organizar y desarrollar la presente memoria.

Este logro no habría sido posible sin el respaldo de todas estas personas. Gracias por ser parte de este viaje.



RESUMEN

El avance tecnológico en la Industria de Defensa ha llevado al desarrollo de sofisticados sistemas de armas, municiones y medidas de protección. Esto ha provocado la necesidad de modernizar los vehículos de combate para adaptar sus capacidades a la realidad del campo de batalla. Este TFG analiza la implementación de un Sistema de Protección Activa en el VRCC Centauro para mejorar su capacidad de supervivencia y determina cuál de los APS existentes es el mejor para su implementación.

En la presente memoria se estudian las municiones que amenazan actualmente al VRCC Centauro, incluyendo la valoración de los expertos del nivel de peligrosidad de dichas municiones. Los ATGM y los drones suicidas se han establecido como las amenazas más peligrosas. Posteriormente se realiza un análisis de las medidas actuales de protección del Centauro, que se reducen al blindaje convencional, blindaje reactivo y protección contra ataques NBQ. Combinando todo esto, se exponen las vulnerabilidades del vehículo, basadas en la poca protección en la parte superior de la torre y la carencia de protección para todo tipo de misiles guiados. Se proponen los Sistemas de Protección Activa como solución.

Tras esto, se analiza mediante un estudio de mercado y una detallada comparación de medios una gran cantidad de Sistemas de Protección Activa. Se muestra que las propiedades mejor valoradas de los APS son el rango de amenazas al que hacen frente, el tiempo de reacción y la cobertura angular. Se ha determinado que el sistema Soft-kill más adecuado para ser instalado es el sistema GALIX y el mejor Hard-kill es el sistema TROPHY.

Tras una comparativa entre ambos, por razones económicas y facilidad de instalación y uso, se establece que el más adecuado para ser instalado en el VRCC Centauro es el sistema GALIX, de la empresa francesa Etienne Lacroix. Esto se debe a que posee las capacidades de detección, reacción y protección que contrarrestan las vulnerabilidades del vehículo. Además, su interoperabilidad con otros activos y con los sistemas del propio vehículo permiten su perfecta implementación.

Esta investigación contribuye a mejorar la capacidad de supervivencia y protección del VRCC Centauro, detectando las vulnerabilidades de este e indicando el APS que mejor se adapta a las nuevas necesidades de Defensa.

Palabras clave

Sistemas de Protección Activa, Centauro, Vulnerabilidades, Supervivencia



ABSTRACT

The technological advancements in the Defense Industry have led to the development of sophisticated weapon systems, ammunition, and protective measures. This has prompted the need to modernize combat vehicles to adapt their capabilities to the reality of the battlefield. This Final Assessment Report examines the implementation of an Active Protection System (APS) in the VRCC Centauro to enhance its survivability and determines which of the existing APS is best suited for its implementation.

This report studies the ammunition currently threatening the VRCC Centauro, including the assessment of experts regarding the level of danger posed by these munitions. Anti-Tank Guided Missiles (ATGM) and suicide drones have been identified as the most dangerous threats. Subsequently, an analysis of the Centauro's current protection measures, encompassing conventional armour, reactive armour, and protection against Nuclear, Biological, and Chemical (NBC) attacks, is conducted. When all these factors are considered, the vehicle's vulnerabilities are exposed, primarily stemming from insufficient protection on the top of the turret and the lack of defense against various guided missiles. Active Protection Systems are proposed as the solution.

Following this, a large number of Active Protection Systems (APS) are analysed through a market study and a detailed media comparison. It is demonstrated that the most highly rated characteristics of the APS are the range of threats they address, response time, and angular coverage. It has been ascertained that the most suitable Soft-kill system for installation is the GALIX system, and the best Hard-kill system is the TROPHY system.

After comparing the two, considering economic factors and ease of installation and usage, it has been determined that the most appropriate system for installation on the VRCC Centauro is the GALIX system from the French company Etienne Lacroix. This is due to its detection, reaction, and protection capabilities that counter the vehicle's vulnerabilities. Furthermore, its interoperability with other assets and the vehicle's own systems allows for its seamless integration.

This research contributes to enhancing the VRCC Centauro's survivability and protection capabilities by identifying its vulnerabilities and indicating the APS that best aligns with the new defense requirements.

KEYWORDS

Active Protection System, Centauro, Vulnerabilities, Survivability



INDICE DE CONTENIDO

<i>Agradecimientos</i>	I
RESUMEN	II
Palabras clave	II
ABSTRACT	III
KEYWORDS	III
INDICE DE FIGURAS	VII
INDICE DE TABLAS	IX
ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS	X
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Contexto del Trabajo	1
1.2 Estructura de la memoria.....	2
2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	4
2.1 Objetivos del Trabajo.....	4
2.2 METODOLOGÍA	5
2.2.1 Diagrama de Gantt	6
2.2.2 Revisión bibliográfica	7
2.2.3 Grupo de expertos	8
2.2.4 Encuesta.....	8
2.2.5 Matriz de decisión con datos ponderados	8
2.2.6 Entrevista semiestructurada	9
3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	10
3.1 Sistemas de protección y supervivencia del vehículo	10



3.2	Origen y evolución de los APS.....	10
3.3	Sistema de Protección Activa.....	11
4	Análisis de las vulnerabilidades	13
4.1	Análisis de las potenciales amenazas.....	13
4.2	Elementos de protección Actuales	15
4.3	Vulnerabilidades principales.....	16
4.4	Propuesta de solución	17
5	Implementación del Sistema de Protección Activa.....	19
5.1	Funcionamiento de los APS.....	19
5.1.1	Sensores	22
5.2	Estudio de mercado	23
5.3	Comparativa de los APS	26
5.3.1	Comparativa de los APS de tipo Soft-kill	26
5.3.2	Comparativa de los APS de tipo Hard-kill.....	29
5.3.3	Evaluación de alternativas y propuesta de APS	32
5.3.4	Estimación de costes.....	33
6	Conclusiones.....	35
7	Líneas futuras	36
ANEXOS.....		37
	ANEXO I: Diagrama de Gantt. Planificación temporal	37
	Anexo II: Listado de APS en el mercado actual.....	38
	ANEXO III: Sistema GALIX	39
	ANEXO IV: Sistema SHTORA-1	41
	ANEXO V: Sistema Rosy	42
	Anexo VI: Sistema MUSS (Multifunction Self-Protection System)	43



Anexo VII: Sistema TROPHY RAFAEL	44
ANEXO VIII: Sistema ARENA.....	46
ANEXO IX: Sistema IRON FIST	47
ANEXO X: Sistema STRIKE SHIELD	48
ANEXO XI: Sistema ZASLON	49
ANEXO XII: Encuesta	50
ANEXO XIII: Partes interesadas en el resultado del presente TFG	53
ANEXO XIV: Origen y evolución de la tecnología láser en uso militar	55
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	<i>56</i>



INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Escudos de la BRIPAC y el RCPAC Lusitania nº 8. Fuente: Repositorio del ET	1
Figura 2: Diagrama de Gantt. Fuente: Elaboración propia	5
Figura 3: PMBOK: Planificación temporal. Fuente: [6].....	6
Figura 4: Diagrama de un APS y secuencia típica. Fuente: Elaboración propia	12
Figura 5: Concepto de protección de un APS. Fuente: Empresa Rafael	12
Figura 6: Clasificación de las amenazas por nivel de peligrosidad. Fuente: Elaboración propia	14
Figura 7: Diagrama de bloques. Estructura organizativa del apartado 4. Fuente: Elaboración propia.....	16
Figura 8: Efectividad de las partes del Centauro contra las diferentes amenazas. Fuente: Elaboración propia	17
Figura 9: Efectividad de los APS ante las diferentes amenazas. Fuente: Elaboración propia ...	18
Figura 10: Análisis DAFO de los sistemas Soft-kill. Fuente: Elaboración propia	21
Figura 11: Análisis DAFO de los sistemas Hard-kill. Fuente: Elaboración propia	22
Figura 12: Radar chart de la valoración de las capacidades de los APS Soft-kill. Fuente: Elaboración propia	27
Figura 13: Matriz de decisión ponderada. Elección APS Soft-kill. Fuente: Elaboración propia .	28
Figura 14: Puntuaciones de los sistemas APS Soft-kill. Fuente: Elaboración propia.....	28
Figura 15: Radar chart de la valoración de las capacidades de los APS Hard-kill. Fuente: Elaboración propia	30
Figura 16: Matriz de decisión ponderada. Elección APS Hard-kill. Fuente: Elaboración propia 31	31
Figura 17: Puntuaciones de los sistemas APS Hard-kill. Fuente: Elaboración propia	31
Figura 18: APS en la protección multicapa. Fuente: Elaboración propia	32
Figura 19: Unidad de control del jefe de Centauro. Fuente: Elaboración propia	34
Figura 20: Diagrama de Gantt completo. Fuente: Elaboración propia.....	37
Figura 21: Vehículo utilizando contramedidas GALIX. Fuente: Etienne Lacroix	40
Figura 22: Protección en grupo utilizando el APS GALIX. Fuente: Etienne Lacroix.....	40
Figura 23: Funcionamiento APS Trophy. Cobertura 360º en 3 dimensiones. Fuente: Empresa Rafael	45



Figura 24: Sistema ARENA instalado en torre del T-72. Fuente: Análisis Militares 46

Figura 25: Matriz de Poder-Interés. Partes interesadas en las líneas futuras del TFG. Fuente: Elaboración propia 54



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de las amenazas por dimensión, trayectoria y velocidad. Fuente: Elaboración propia	14
Tabla 2: Clasificación de los APS por el SRT. Fuente: Elaboración propia	19
Tabla 3: Clasificación de los APS por el IP. Fuente: Elaboración propia	19
Tabla 4: Cálculo del MDD para diferentes velocidades y SRT. Fuente: Elaboración propia.....	20
Tabla 5: Estudio de mercado APS Soft-kill. Fuente: Elaboración propia.....	24
Tabla 6: Estudio de mercado APS Hard-kill. Fuente: Elaboración propia	25



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

APS	Active Protection System
ATGM	Anti-Tank Guided Missile
BMS	Battle Management System
BRIPAC	Brigada Paracaidista
CAC	Caballero Alférez Cadete
Cap.	Capitán
CUD	Centro Universitario de la Defensa
DGAM	Dirección General de Armamento y Material
DIDOM	Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales
DIRACA	Director Académico
DIRMIL	Director Militar
ET	Ejército de Tierra
FAS	Fuerzas Armadas
HEAT	High-Explosive Anti-Tank
IAT	Instructor Avanzado de Tiro
IED	Improvised Explosive Devise
IP	Interception Point
KE	Kinetic Energy
LIDAR	Light Detection and Ranging
LWR	Laser Warning Detector
MDD	Minimum Defeat Distance
NBQ	Nuclear, Biológica, Química
OTAN	Organización del Tratado del Atlántico Norte
PERT	Project Evaluation and Review Techniques
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
POI	Point Of Impact
RCPAC	Regimiento de Caballería Paracaidista
RWR	Radar Warning Detector
SABBLIR	Santa Bárbara Blindaje Reactivo
SRT	System Reaction Time
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
TFG	Trabajo de Fin de Grado
TOI	Time Of Impact
UE	Unión Europea
VRCC	Vehículo de Reconocimiento y Combate de Caballería



1 INTRODUCCIÓN

La siguiente memoria recoge los distintos resultados del Trabajo de Fin de Grado con título “Análisis y estudio de la integración de un Sistema de Protección Activa” realizado en el Regimiento de Caballería “Lusitania” Nº8 de Paracaidistas. El objetivo de este estudio es determinar qué Sistema de Protección Activa del mercado es el óptimo para instalarse en el VRCC (Vehículo de Reconocimiento y Combate de Caballería) Centauro.

1.1 Contexto del Trabajo

El contexto estratégico global actual en el que se enmarca la actuación de las Fuerzas Armadas (FAS) se caracteriza por profundos cambios que obligan a actualizar sus capacidades militares [1]. El Ejército de Tierra (ET) se encuentra en un proceso ininterrumpido de modernización para adaptarse a la actualidad y poder dotar a las estructuras de la organización de los recursos más avanzados [2]. España, sobre la base de defender sus objetivos estratégicos concretos, se orienta a la búsqueda y promoción de la estabilidad, la paz y la seguridad internacionales [3].

El Regimiento de Caballería “Lusitania” Nº8 de Paracaidistas, encuadrado en la Brigada Paracaidista, tiene la responsabilidad de mantenerse eficaz para el combate tanto hoy como en el futuro. Para conseguir esto, se tiene como meta formar parte de la “Fuerza 2035”, “capacitada para construir organizaciones flexibles y cohesionadas, dotadas de medios tecnológicamente avanzados y formadas por personal altamente motivado y preparado” [2].

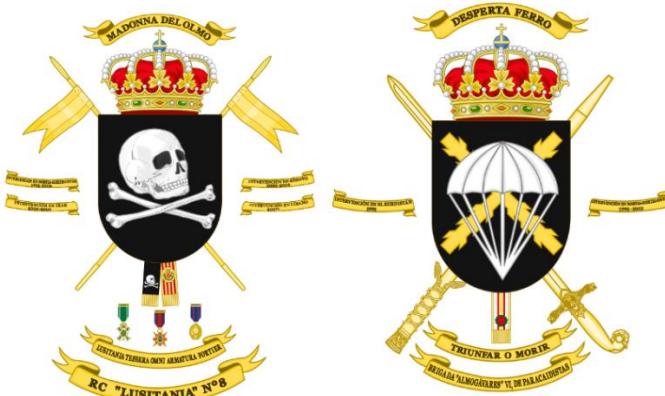


Figura 1: Escudos de la BRIPAC y el RCPAC Lusitania nº 8. Fuente: Repositorio del ET

Actualmente, el análisis exhaustivo de los conflictos existentes y de la prospectiva tecnológica de diferentes ejércitos muestra que las nuevas tecnologías en la industria de Defensa sustituirían a una parte relevante del arsenal convencional [1]. La moderna tendencia armamentística genera la necesidad de hallar contramedidas que permitan hacer frente a estas nuevas amenazas. En el presente, se están implementando dichos avances tecnológicos, como pueden ser los láseres de la industria armamentística para el guiado y designación de objetivos, telemetría, sistemas de imagen y ayuda a la navegación LIDAR (Light Detection and Ranging) (ver Anexo XIV).

A los riesgos y amenazas tradicionales se suman otros nuevos que se interconectan y potencian su peligrosidad [3]. En consonancia con el aumento del abanico de amenazas, las medidas de protección también crecen. Por todo esto, para aumentar la capacidad de



supervivencia y protección de la Fuerza, se deben potenciar los sistemas de autoprotección en todas las plataformas de combate [4]. Dichos dispositivos de protección, en el campo de las fuerzas acorazadas y mecanizadas, se dividen entre los que reducen al máximo los daños provocados por los ataques (protección pasiva, como el blindaje reactivo) y los que evitan que el ataque impacte sobre el vehículo (protección activa, como los Sistemas de Protección Activa).

Más allá de las amenazas emergentes, esta memoria recoge información que resulta de gran interés a diversas organizaciones o empresas. Entre las partes interesadas, está en primer lugar el Arma de Caballería, ya que este documento contiene información completa y actualizada de las amenazas reales para los vehículos, los sistemas utilizados para combatirlas y el estado del arte de dichos sistemas. En segundo lugar, la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), la cual juega un papel fundamental al ser el órgano militar que controla la administración y gestión económica de los programas de investigación, obtención y desarrollo [5].

Por último, cabe resaltar la importancia que tiene el contenido de este documento para las empresas del sector Defensa. La información sobre los últimos sistemas de protección vehicular, el interés de los países al adquirirlos y las capacidades que ofrece son importantes para conocer el estado de sus productos y el de sus competidores.

1.2 Estructura de la memoria

La presente memoria se organiza de acuerdo con una estructura coherente que facilita la comprensión y la presentación ordenada de todos los contenidos que se desarrollan en el Trabajo de Fin de Grado (TFG). A continuación, se detalla por partes la estructura de la memoria:

1. **Introducción:** en este apartado se presenta el contexto del TFG, delineando la relevancia que tiene para las partes interesadas y encuadrándolo en el contexto geopolítico actual.
2. **Objetivos y Metodología:** esta sección cuenta con la presentación del objetivo principal del TFG y los objetivos intermedios, que servirán de guía para llegar a la meta cumpliendo con los requisitos necesarios de información y calidad de la memoria. Por último, se detallan los métodos y enfoques utilizados en la investigación.
3. **Antecedentes y Marco Teórico:** esta sección cuenta con el análisis de la investigación previa relacionada con los sistemas de protección activa y basa su redacción en la revisión bibliográfica. Se definen estos sistemas por primera vez para facilitar la debida comprensión de la memoria.
4. **Ánalisis de las vulnerabilidades:** el primer apartado del desarrollo cuenta con el estudio detallado del armamento y las municiones que amenazan la supervivencia de los VRCC Centauro en el campo de batalla. Además, se exponen las medidas de protección actuales de dicho vehículo. Tras esto, se lleva a cabo el análisis conjunto de las amenazas y las medidas de protección para detectar las vulnerabilidades existentes y, finalmente, se propone una solución a estas flaquezas para aumentar la supervivencia de la plataforma.
5. **Implementación del Sistema de Protección Activa:** el segundo apartado del desarrollo en el que se definen de manera técnica los APS y se analizan sus propiedades, características y modos de funcionamiento. Tras la clara definición de estos sistemas, se efectúa un detallado estudio de mercado para conocer el estado del arte y



los mejores sistemas para el VRCC Centauro. Seguidamente, se realiza una comparativa de estos sistemas que lleva al cumplimiento del objetivo principal: la elección del sistema más adecuado para ser implantado en el VRCC Centauro.

6. **Conclusiones:** apartado donde se recogen los resultados clave del TFG.
7. **Líneas futuras:** se ofrecen sugerencias para investigaciones futuras relacionadas con la información expuesta en la presente memoria.



2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 Objetivos del Trabajo

El origen de este trabajo es la propuesta de mejora de la supervivencia del Vehículo de Reconocimiento y Combate de Caballería (VRCC) Centauro realizada por el Regimiento de Caballería “Lusitania” Nº8 de Paracaidistas. Esta propuesta está motivada por “*la aparición de nuevas amenazas en el campo de batalla y las necesidades de protección que la unidad ha observado en el VRCC Centauro*” (Cap. Don Carlos Yubero Sanz, DIRMIL).

Desde el punto de vista personal del autor, el análisis de los diferentes APS del mercado y su estudio comparativo para la elección e implantación de uno de ellos en el Centauro supone un reto y una gran oportunidad para realizar una importante aportación de conocimiento sobre estos sistemas a las diferentes unidades del Arma de Caballería. La actualización tecnológica que implica la adquisición de un Sistema de Protección Activa para el vehículo permitirá equiparar las aptitudes de dicha plataforma a las de los ejércitos aliados de referencia (como pueden ser Estados Unidos, Francia o Alemania).

Los objetivos del trabajo se van a separar en principal y específicos. El objetivo principal es determinar el Sistema de Protección Activa más adecuado para la instalación en el VRCC Centauro. Para lograr este propósito, se establecen los siguientes objetivos secundarios o específicos:

- Precisar las distintas amenazas a las que hacen frente los distintos Sistemas de Protección Activa
- Analizar las necesidades de protección y supervivencia (vulnerabilidades) del VRCC Centauro
- Estudiar los Sistemas de Protección Activa que existen actualmente en el mercado de Defensa

El alcance del presente proyecto comprende un riguroso estudio de mercado y un profundo estudio comparativo mediante el cual se determina qué APS es el idóneo para satisfacer los requerimientos reales de protección del Centauro. Por lo tanto, el trabajo incluye el estudio del material enemigo que amenaza al vehículo y las necesidades de protección de la plataforma, detectando las vulnerabilidades de esta.

El trabajo se limita a mostrar y justificar qué APS es el más adecuado para instalar en el Centauro y propone varias formas de continuar con el proyecto en el apartado “Líneas futuras”. No se profundizará en la gestión de un posible contrato con la empresa fabricante del APS GALIX, Etienne Lacroix, ni en sus condiciones de instalación, mantenimiento o garantía. No se busca la instalación de un sistema en el Centauro sino analizar si esta es necesaria y qué sistema cumple los requisitos para cubrir las vulnerabilidades existentes.

El estudio se plantea con vistas al futuro, de manera que pueda ser desarrollado por parte de las unidades de Caballería que cuenten con el VRCC Centauro o por parte de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), órgano responsable de la planificación y desarrollo de la política de armamento y material.

Para la organización de este Trabajo de Fin de Grado, se ha realizado y seguido una línea temporal estricta (ver Figura 2). Para ver de qué manera se ha abordado y permitir la visualización de los diferentes hitos, se muestra la planificación temporal dentro de la



presente memoria (ver Figura 2) (ver ANEXO I).

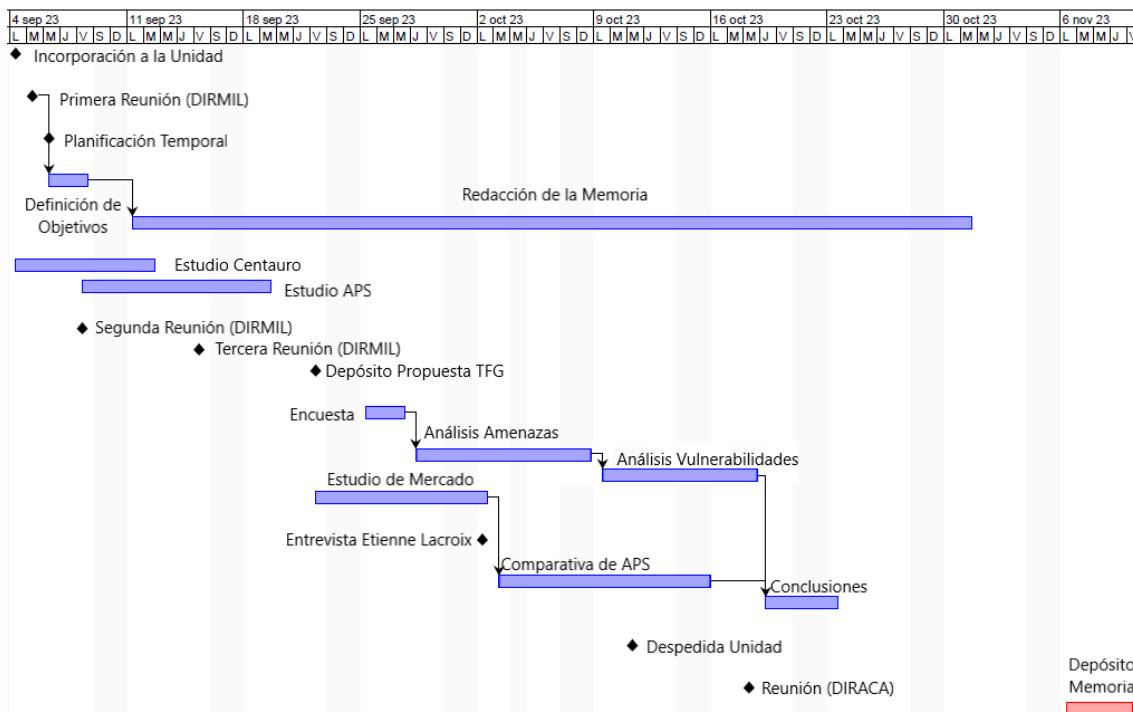


Figura 2: Diagrama de Gantt. Fuente: Elaboración propia

2.2 METODOLOGÍA

Para la ejecución de los distintos análisis que suponen el cumplimiento del objetivo principal y los alternativos, se emplearán multitud de metodologías, tanto de carácter cuantitativo como de carácter cualitativo, de manera que se adaptan al planeamiento inicial del proyecto.

Inicialmente, previo al desarrollo de cualquiera de las fases, se realiza un esquema que organiza el tiempo disponible para la realización del TFG con el fin de cumplir con los límites temporales establecidos en la norma. Dicho esquema consiste en el Diagrama de Gantt expuesto en el apartado anterior (ver Figura 2).

En segundo lugar, se explica el contexto e historia de las capacidades de protección y supervivencia de los vehículos, así como de los Sistemas de Protección Activa, mediante la revisión bibliográfica en varias de sus vertientes. La más utilizada es la revisión de literatura científica, para revisar la investigación existente en el campo de los APS e identificar tendencias y áreas de interés para futuros proyectos. La revisión de tecnologías emergentes también tiene un papel fundamental en la ejecución del estudio de mercado y la comparativa de medios. Finalmente, toda esta información se refuerza con la revisión de literatura educativa y de las distintas publicaciones militares disponibles en la red interna del Ministerio de Defensa.

Con la revisión bibliográfica citada anteriormente se consiguen dos hitos: adquirir el conocimiento necesario para la adecuada comprensión de los sistemas y revisar las fuentes utilizadas para la obtención de datos. Dichos datos son los que se emplean para llevar a cabo los métodos cuantitativos. Adicionalmente, el tercer objetivo alternativo (estudiar todos los APS



del mercado actual) se ve cumplimentado cuando toda esta información se selecciona, se analiza y se presenta en el estudio de mercado.

Simultáneamente al estudio de la bibliografía sobre los diferentes temas tratados en la presente memoria, se ha realizado una encuesta para conocer tres datos imprescindibles para la realización del TFG: el nivel de peligrosidad de las diferentes municiones que pueden amenazar al Centauro en el campo de batalla, las características más valoradas de los APS Soft-kill y las propiedades más valoradas de los APS Hard-kill. Esta encuesta se realizó a personal de todas las unidades del Arma de Caballería, obteniendo así la opinión de un gran grupo de profesionales que realizan su aportación desde diferentes perspectivas.

Con la información obtenida en las diferentes preguntas de la encuesta se crean varias tablas que facilitan en gran medida la comprensión y el análisis de los resultados. Estas incluyen un diagrama de barras que muestra el nivel de peligrosidad de las amenazas y dos "radar chart" que representan las prioridades de los expertos a la hora de considerar qué propiedades de los APS son más importantes.

Para culminar el estudio y conseguir el objetivo principal, mediante la revisión de la documentación académica que se posee tras el estudio del grado de Ingeniería de Organización Industrial, se utiliza un modelo matemático que combina toda la información obtenida hasta el momento para comparar los APS entre sí: la matriz de decisión con datos ponderados.

Finalmente, se contactó con dos empresas dedicadas a la fabricación y distribución de Sistemas de Protección Activa. La primera de ellas, la empresa alemana Rheinmetall, aportó información sobre el sistema ROSY (ver Anexo V) mediante correo electrónico. Por otro lado, el contacto con la empresa Etienne Lacroix fue más directo, ya que la decisión de implementar su sistema en el Centauro requiere la máxima obtención de información de primera mano. Esto se consigue a través de la entrevista con varios de sus Gerentes de Producto encargados del sistema GALIX.

2.2.1 Diagrama de Gantt

La gestión del tiempo es una de las diez áreas de conocimiento que recoge el Project Management Body of Knowledge (PMBOK) para la dirección de proyectos [6]. Como este proyecto se recoge dentro de un tiempo que viene limitado, se siguen las indicaciones de dicho documento para distribuir de manera óptima la carga de trabajo en la línea temporal.



Figura 3: PMBOK: Planificación temporal. Fuente: [6]



El método PMBOK para la planificación temporal se desglosa en seis fases (ver Figura 3), de las cuales cinco van destinadas a la planificación del tiempo disponible y la sexta se orienta al control del cumplimiento del horario establecido. El Diagrama de Gantt (ver Anexo I) surge de las cinco primeras fases, en las que se definen las actividades a realizar, el orden de ejecución y el tiempo y recursos necesarios para llevarlas a cabo. Se obtiene un horario que marca diferentes hitos importantes y guía el orden de trabajo.

2.2.2 Revisión bibliográfica

Esta herramienta se utiliza de manera continuada a lo largo del trabajo. La documentación revisada se clasifica según las áreas o temas en:

- **Revisión de Literatura Científica:** se revisa la información existente sobre una disciplina o campo científico específico. En este caso, se estudian diferentes campos de la tecnología de Defensa, como los Sistemas de Protección Activa, la tecnología de sensores, los sistemas láser o las municiones que amenazan a la Caballería.
- **Revisión de Tecnologías emergentes:** permite completar el estudio de mercado con las modernizaciones y actualizaciones que se están realizando actualmente en los APS. Se analizan los APS y los sistemas de protección del VRCC Centauro para evaluar su estado actual y potenciales amenazas, extrayendo sus vulnerabilidades. Además, ofrece una visión de futuro esencial para orientar la estrategia de Defensa y justificar la selección del mejor APS para su implantación en el Centauro.
- **Revisión de Literatura Educativa:** se realiza dicha revisión para encontrar la metodología necesaria para realizar el trabajo. Todo el material académico del grado universitario se revisa para conseguir las herramientas utilizadas en el presente TFG. Cabe mencionar la importancia que tienen los Manuales de Instrucción de Caballería en este apartado.

Además de la clasificación mencionada, esta bibliografía se clasifica en función de la fuente de información de la siguiente manera:

- **Publicaciones de acceso libre:** se encuentran todos los documentos académicos y publicaciones oficiales que son de acceso libre al público general. Las fuentes se basan en documentos oficiales, como publicaciones del Ministerio de Defensa, y en documentación académica que se puede encontrar en el Campus Virtual de Moodle del grado de Ingeniería de Organización Industrial impartido por el Centro Universitario de la Defensa (CUD).
- **Publicaciones de acceso restringido:** se refiere a cualquier tipo de documento, manual, reglamento o informe que contiene información diseñada exclusivamente para su utilización por personal militar o autorizado. Estos documentos contienen información sensible que ha de ser analizada previamente. Son de gran ayuda los manuales del VRCC Centauro para analizar sus capacidades de supervivencia y poder así cumplir con los objetivos secundarios del TFG. Las fuentes son la solicitud de documentación a DIDOM (Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales) y búsqueda en la Biblioteca Virtual de Intranet (red de uso interno del Ministerio de Defensa).



2.2.3 Grupo de expertos

A lo largo del trabajo se llevan a cabo entrevistas y consultas a diferentes grupos de expertos. Entre ellos se encuentran:

- **Suboficiales del Escuadrón Acorazado:** incluye a los nueve suboficiales que están encuadrados en las diferentes Secciones del Escuadrón. Han sido seleccionados por sus años de experiencia en Unidades Acorazadas. Su profundo conocimiento del vehículo Centauro ha sido una gran aportación para evaluar sus vulnerabilidades y proponer posibles soluciones. Su colaboración continua ha ayudado a cumplimentar los objetivos del presente trabajo.
- **Oficiales del Escuadrón Acorazado:** los tres tenientes jefes de Sección y el capitán jefe del Escuadrón aportan la información relativa a la gestión de recursos en dicho Escuadrón y los diferentes enfoques que aparecen en la presente memoria. El capitán jefe del Escuadrón, Don Carlos Yubero Sanz, junto con el teniente Don Jaime Ramón Escudero Bravo establecieron tanto el tema del TFG como su motivación. Han colaborado con su experiencia como oficiales en este tipo de unidades y en la realización de trabajos de investigación e introspectiva tecnológica.
- **Instructores Avanzados de Tiro (IAT):** Son los dos sargentos primeros del Escuadrón Acorazado. Han resuelto de manera analítica las cuestiones más técnicas sobre los Centauros y las diferentes municiones que se utilizan actualmente en los distintos conflictos existentes.

2.2.4 Encuesta

Se lleva a cabo una encuesta que abarca a todo el personal del Arma de Caballería del Ejército de Tierra. La encuesta (Anexo XII) tiene dos finalidades:

- Conocer cómo valoran los jinetes españoles la peligrosidad de diferentes municiones que amenazan la supervivencia del Centauro en territorio hostil.
- Analizar cuáles son las prioridades más valoradas por el personal a la hora de plantear la implementación de un Sistema de Protección Activa en el vehículo.

La información obtenida es esencial para el análisis de las amenazas más peligrosas y la posterior detección de vulnerabilidades del VRCC Centauro. Adicionalmente, las preguntas relativas a los APS permiten realizar con gran objetividad y precisión la comparativa de sistemas, para lograr así el cumplimiento exacto del objetivo principal.

2.2.5 Matriz de decisión con datos ponderados

La matriz de datos ponderados se usa para conseguir el objetivo principal: discernir cual de todos los APS es el más indicado para ser instalado en el Centauro. Esta metodología se utiliza para la toma de decisiones basada en la evaluación de múltiples criterios. Dicho proceso se basa en los siguientes pasos:

- **Identificación de criterios:** se identifican los criterios relevantes que son importantes en el proceso de toma de decisiones. En este caso, se recurre a la revisión bibliográfica y a las dudas a grupos de expertos para seleccionar los criterios adecuados.
- **Asignación de ponderaciones:** cuando se han identificado los criterios, se asigna una



ponderación a cada uno de ellos. Estas reflejan la importancia relativa de cada criterio en la decisión final. En la presente memoria se utilizan los resultados de las encuestas para ponderar cada uno de los criterios. Al utilizar dichos resultados, se refleja la importancia que le dan los diferentes expertos en las distintas unidades de Caballería españolas y aporta una media general que representa a todos los jinetes.

- **Evaluación de opciones:** cada APS es evaluado numéricamente en relación con cada aspecto. Para realizar estas evaluaciones se establece el mismo criterio a seguir para todos los sistemas, lo cual permite que se realice el método cuantitativo de manera objetiva.
- **Cálculo de puntuajes ponderados:** para cada uno de los sistemas APS que entran en la comparación se calcula una puntuación. Esta se obtiene sumando las puntuaciones de cada criterio multiplicadas por sus correspondientes ponderaciones.
- **Selección de la mejor opción:** el APS con mayor puntuación es el que mejor desempeño global posee y, por tanto, el más idóneo para cumplir el objetivo principal del trabajo.

2.2.6 Entrevista semiestructurada

Como último subapartado de metodología, se tiene la entrevista semiestructurada que tuvo lugar entre el autor del TFG y la empresa Etienne Lacroix. La motivación de esta entrevista es la obtención de información que no aparece publicada y que aporta un gran valor al trabajo por su objetividad y relevancia. Los datos obtenidos de la entrevista permiten justificar y consolidar la consecución del objetivo principal.

Los entrevistados fueron: D. Jesús Madrid del Val, consultor español de Defensa y Seguridad de la empresa Etienne Lacroix, D. Arthur Justice-Espenan, Ingeniero de Asuntos Exteriores y D. Eric Galvani, responsable del Producto GALIX.

La entrevista semiestructurada permite la obtención de datos no publicados acerca del sistema GALIX y la resolución de dudas sobre su funcionamiento e instalación. Más allá de las preguntas planteadas por el autor de la memoria, la flexibilidad de los entrevistados permitió la profundización en temas específicos, llevando a analizar el caso concreto del Centauro. El interés mostrado por los entrevistados y su conocimiento en el área de Sistemas de Protección Activa aporta gran valor a la presente memoria.



3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

3.1 Sistemas de protección y supervivencia del vehículo

Cuando se habla de supervivencia en el campo de batalla se hace referencia a la capacidad que tienen los vehículos de resistir y mantenerse operativos en un entorno hostil. El grado de supervivencia es la suma de la movilidad y la protección, siendo esencial encontrar el equilibrio entre ambas variables [7].

Actualmente, a bordo de los vehículos de combate de última generación, el ciclo de adquisición de blancos es más rápido, preciso y posible a una mayor distancia de intervención [7]. Este incremento de precisión y velocidad en las acciones ofensivas son causa de la creciente apuesta por las nuevas tecnologías (que se definen como todos los nuevos desarrollos tecnológicos y sus correspondientes aplicaciones) en la protección vehicular [8]. Ante la aparición de nuevos y complejos sistemas de armas la supervivencia de los vehículos se ve amenazada, por lo que la actualización de los sistemas de protección es esencial para mantener la operatividad.

Las medidas de protección, imprescindibles para el aumento de la supervivencia, se dividen en Sistemas de Protección Pasiva y Sistemas de Protección Activa (APS). El primer tipo se define por la Real Academia de Ingeniería como el blindaje del propio vehículo [9], pero se amplía la definición a todo sistema que anula o reduce los efectos de una amenaza inevitable, como son el SLAT ARMOR y la protección contraminas del tren de rodaje [10]. Históricamente, marca el inicio de los sistemas de protección vehicular. Sin embargo, el aumento de peligrosidad de las amenazas ha llevado a cambiar el concepto de defensa, ya que un incremento del espesor del blindaje conlleva un aumento de peso del vehículo y, por tanto, una reducción de movilidad [11].

3.2 Origen y evolución de los APS

La supervivencia del vehículo es esencial a la hora de utilizar el medio terrestre para el combate. Al comienzo de la Primera Guerra Mundial, el Reino Unido y Francia desarrollaron el carro de combate con la idea de que un vehículo blindado sobre orugas era capaz de cruzar las trincheras enemigas asegurando el transporte de personal. Esto permitió salir del estancamiento de la guerra de trincheras. Al poco tiempo, los alemanes también entrarían en esta industria. El primer carro de combate fue el Mark I, probado por el Ejército Británico en 1916.

Tras la Primera Guerra Mundial, periodo conocido como “entreguerras”, el concepto de carro de combate se fue extendiendo y, para la Segunda Guerra Mundial, ya se habían alcanzado grandes mejoras en cuanto a blindaje y armamento. Esto generó la necesidad de aumentar las armas contra carro y las defensas antitanques, que se lidiaron con el aumento del blindaje en esa época.

Debido a las mejoras en la Defensa Contra Carro, la Unión Soviética desarrolló en los años 80 el primer APS, denominado Drozd. Fue la alternativa al blindaje reactivo, y su implantación fue motivada por las nuevas cabezas de guerra explosivas antitanque. Drozd fue diseñado para destruir estas amenazas antes de que impactasen en el vehículo. Estaba compuesto por tres partes principales: dos conjuntos de lanzadores colocados en los laterales de la torre y una unidad auxiliar de potencia. Los lanzadores estaban controlados por dos antenas de radar. El Drozd podía proteger al carro de combate en elevaciones entre -6 y 20 grados en vertical y entre 40 y 60 grados en horizontal. Aumentó un 80% la supervivencia de los vehículos, pero la



detección de las amenazas no era precisa y el disparo de las contramedidas causaba inaceptables daños colaterales.

En 1988, el Ejército Soviético desarrolló el Shtora-1, diseñado para la neutralización de los misiles antitanque utilizando la irradiación infrarroja. El sistema consta de una estación de interfaz de radiadores de infrarrojos (compuesta por un bloqueador, un modulador y un panel de control), una serie de descargas de granadas frontales capaces de producir una cortina de humo, un receptor de advertencia láser y un panel de control general. Este sistema, mucho más sofisticado, ofrece protección a los 360º y, cuando detecta una amenaza, avisa al jefe de vehículo para que elija la contramedida desde su panel de control (ver Anexo IV)

Desde entonces, se han hecho varios programas de desarrollo de APS que han derivado en una amplia gama de sistemas (ver ANEXO II). El futuro de este tipo de tecnología va unido a la modernización de las armas contra carro, siendo la mejora de los sensores y la velocidad de reacción los mayores retos a los que se enfrentan los ingenieros.

3.3 Sistema de Protección Activa

Los APS se definen como los sistemas encargados de otorgar una protección 360º al vehículo mediante la neutralización de amenazas y sin reducir su movilidad [12]. Su función principal es la de generar una burbuja de protección alrededor de la plataforma para evitar la acción de los proyectiles enemigos. Los tres subsistemas de los que se componen los APS y dan una visión global de su funcionamiento son:

- **Sensores**, que detectan y rastrean las amenazas.
- **Procesador central**, que procesa la información detectada para clasificar, analizar e identificar la amenaza y desarrollar una respuesta efectiva
- **Contramedidas**, que destruyen, confunden, desvían o neutralizan la amenaza.

Asimismo, las contramedidas usadas en cada tipo de sistema dividen a los APS en dos grandes grupos: Hard-kill y Soft-kill [13]. Los APS de tipo Soft-kill utilizan contramedidas que confunden o desvían a la amenaza. Esto implica que el proyectil o el misil que ha sido lanzado por el enemigo para abatir nuestro vehículo no se destruye en vuelo, sino que se aplican medidas para variar su trayectoria y ocultar el vehículo a sus sistemas de guiado. Por otro lado, los APS de tipo Hard-kill utilizan contramedidas que neutralizan o destruyen la amenaza [11]. Para conocer el funcionamiento de los APS con mayor detalle es esencial desglosar la secuencia de reacción ante el peligro en 4 fases:

- **Fase de Detección**: se detecta y analiza la amenaza.
- **Fase de Seguimiento**: se determina el punto de impacto (POI: Point of Impact) de la amenaza sobre el vehículo y el momento de este impacto (TOI: Time of Impact).
- **Fase de Cálculo**: se calcula la respuesta a la amenaza y selección de la contramedida adecuada.
- **Fase de Respuesta**: se activa la contramedida en el punto de intercepción calculado.

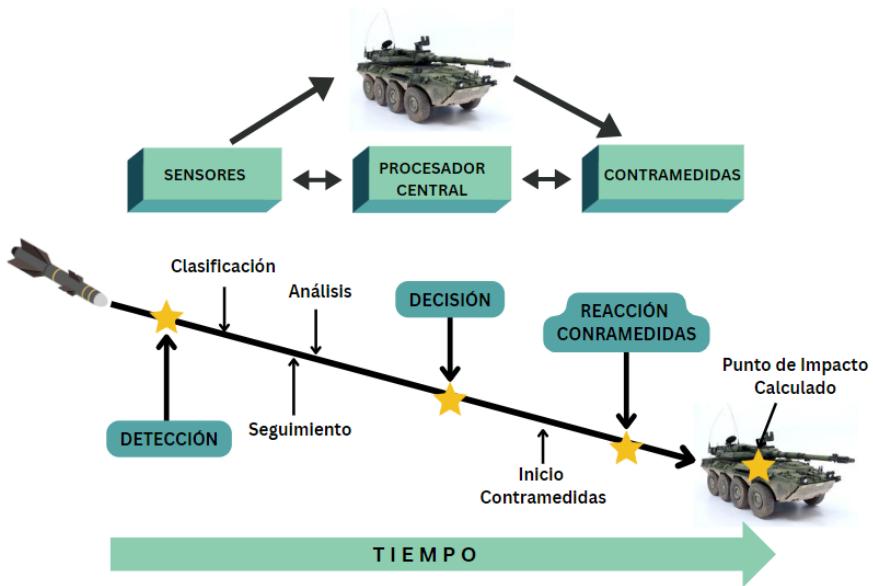


Figura 4: Diagrama de un APS y secuencia típica. Fuente: Elaboración propia

La Figura 4 muestra, de manera general, como se combinan los elementos citados anteriormente para hacer frente a una amenaza entrante. Cuando se detecta la amenaza a través de los sensores, el procesador central se encarga de clasificar y analizar dicho ataque, mientras el sistema realiza un seguimiento para no perder su situación actual. Toda la información procesada permite al sistema tomar una decisión y hacer frente a la amenaza mediante el uso de la contramedida adecuada. Se ha de tener en cuenta el tiempo transcurrido entre el inicio de la contramedida y su acción efectiva. Dependiendo del sistema, esta contramedida será activada de manera automática, semiautomática o manual.



Figura 5: Concepto de protección de un APS. Fuente: Empresa Rafael

La Figura 5 resume de manera simple el concepto de protección 360º que se pretende obtener con los Sistemas de Protección Activa. El objetivo de las empresas que desarrollan estos sistemas es conseguir que la burbuja de protección sea impermeable en su totalidad, de manera que se asegure la supervivencia del vehículo ante cualquier ataque enemigo.



4 Análisis de las vulnerabilidades

4.1 Análisis de las potenciales amenazas

Este apartado define y clasifica las amenazas a las que están sujetos los vehículos. Se sitúa como primer apartado del desarrollo por la importancia que tiene conocer las amenazas que se pretenden combatir.

El apartado surge como resultado de un estudio realizado en colaboración con los Instructores Avanzados de Tiro del VRCC Centauro que hay en el Escuadrón Acorazado. En él se analizan los distintos peligros existentes (como pueden ser ataques NBQ, ciberataques, etc.) y se escoge un conjunto de ellos para su estudio detallado. La elección se realizó en función de la probabilidad que existe de encontrar este tipo de amenazas en el campo de batalla actual, considerando los conflictos recientes y los que siguen en transcurso.

- **Lanzagranadas contra carro (ATR):** arma de fuego portátil usada para disparar granadas u otros proyectiles, especialmente contra carros de combate o vehículos blindados [14]. Tienen una velocidad baja (en torno a 300-350 m/s). El mayor problema viene dado por la cercanía a la que se disparan, derivando en un tiempo de vuelo corto y generando la necesidad de una electrónica de cálculo rápida.
- **Misiles contra carro (ATGM):** misil diseñado específicamente para destruir carros de combate y otros vehículos blindados [15]. Los ATGM tienen una velocidad de vuelo relativamente baja, entre 180-350 m/s. Este tipo de misil se puede disparar desde distancias muy cortas (50-100 metros) hasta distancias de varios kilómetros. Es esencial que la destrucción de estos misiles se produzca suficientemente lejos del vehículo para evitar que la carga, al detonar, produzca daños en el blindaje.
- **Proyectiles cañón de bajo y medio calibre (menor a 50mm) en tiro tenso:** la protección que confiere el blindaje convencional de los vehículos es el encargado de asegurar su supervivencia ante este tipo de amenazas.
- **Proyectiles cañón de gran calibre (mayor a 50mm) en tiro tenso:**
 - **Energía química (HEAT, del inglés High-Explosive Anti-Tank):** mediante la disposición del explosivo en su interior, crea un cono que concentra toda la energía en un punto, penetrando el blindaje del objetivo. La velocidad de los proyectiles está en torno a 800-1400 m/s, con distancias de vuelo de entre 1500 y 4000 m, por lo que tienen tiempos de vuelo muy cortos.
 - **Energía cinética (KE, del inglés Kinetic Energy):** proyectiles que no utilizan explosivos para causar los daños, sino que se basan en su propio peso, resistencia mecánica y alta velocidad. La velocidad de estos proyectiles ronda los 1700 m/s, siendo la distancia de uso entre 1500 y 3000 metros. Este tipo de misiles consisten en una barra maciza estabilizada con aletas, y basan su poder de penetración en su energía cinética.
- **Municiones artillería y mortero dirigidas y no dirigidas:** proyectiles explosivos o incendiarios con gran poder destructivo. Su efectividad contra los carros de combate y vehículos blindados se basa en su trayectoria, puesto que ataca verticalmente al vehículo en su punto más débil: la parte superior de la torre.
- **Bombas racimo:** Bomba de fragmentación o de dispersión de submunición. La



efectividad de esta amenaza reside en su capacidad de realizar ataques verticales sobre la parte más débil de los vehículos acorazados.

- **Drones:** vehículo no tripulado de combate aéreo. Van armados con misiles o explosivos que utilizan contra la parte superior de los vehículos de combate. La efectividad de esta amenaza se debe a su capacidad de ataque vertical y la dificultad de ser detectados.

Si bien no se pueden incluir todas las armas contra carro en el análisis, las más comunes y usadas en la actualidad son las citadas anteriormente y su información se puede ver resumida de manera general en la siguiente tabla:

TIPO AMENAZA	DIMENSIÓN	TRAYECTORIA	VELOCIDAD
Lanzagranadas contra carro (ATR)	Superficie	Tiro tenso	Baja
Misiles contra carro (ATGM)	Superficie/Aérea	Guiada	Baja
Proyectiles cañón: bajo y medio calibre	Superficie	Tiro Tenso	Media
Proyectiles energía cinética cañón: gran calibre	Superficie	Tiro Tenso	Muy Alta
Proyectiles energía química cañón: gran calibre	Superficie	Tiro Tenso	Alta
Municiones artillería /morteros: guiadas	Aérea	Guiada	Medio
Municiones artillería/ morteros: no guiadas	Aérea	Tiro Indirecto	Medio
Drones	Aérea	Guiada	Muy Baja

Tabla 1: Clasificación de las amenazas por dimensión, trayectoria y velocidad. Fuente: Elaboración propia

Para la mayor profundización en el conocimiento de las amenazas que atañen a los VRCC Centauro se ha encuestado a un grupo de jinetes de distintas unidades de Caballería de España (ver Anexo XII). El resultado de dicha encuesta revela el conjunto de amenazas que resultan más peligrosas, según los encuestados, para la supervivencia del vehículo y, asimismo, de la tripulación.

Clasificación por nivel de peligrosidad

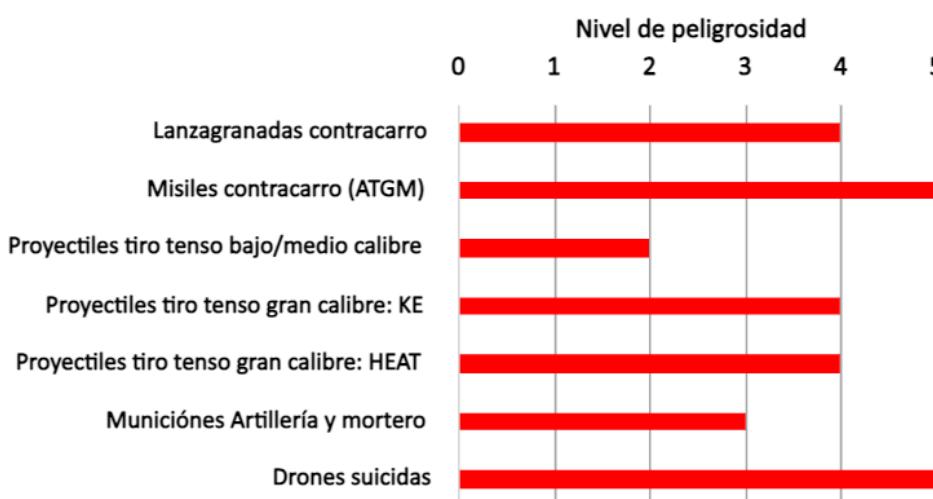


Figura 6: Clasificación de las amenazas por nivel de peligrosidad. Fuente: Elaboración propia



La Figura 6 muestra los resultados de la encuesta realizada al personal de Caballería que, al ser analizada, expone las amenazas que ofrecen un mayor nivel de peligrosidad.

En primer lugar, destacan las dos amenazas con mayor nivel de peligrosidad: los misiles contra carro (ATGM) y los drones suicidas. En el presente trabajo se estudian las contramedidas para paliar uno de los problemas: los ATGM; en cambio, los drones suicidas son un peligro que no puede ser combatido por los APS.

En segunda prioridad están los lanzagranadas contra carro y los proyectiles de tiro tenso de gran calibre (tanto los KE como los HEAT). La protección balística basada en el blindaje convencional y reactivo del vehículo no es suficiente para hacer frente a este tipo de amenazas, puesto que la modernización de la tecnología y la ingeniería de estos proyectiles hacen que lo superen sin problema. En cuanto a los APS como activo para combatir estos proyectiles, la supervivencia del vehículo dependerá del tipo de sistema elegido.

En tercer lugar, cabe destacar la peligrosidad media que se le asigna a las municiones de artillería y mortero (ver Figura 6). Esto se debe a que, normalmente, estos sistemas de armas emplean municiones que no están guiadas, por lo que la amenaza para un vehículo en movimiento y con capacidad de detección del proyectil no es muy elevada. Por otro lado, las municiones de artillería que cuentan con sistema de guiado son más peligrosas y, por tanto, se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar el APS que se implanta en la plataforma.

Para finalizar con el análisis de los resultados de la encuesta, cabe mencionar que la amenaza que muestra menor peligro es el proyectil de medio y bajo calibre, puesto que la gran mayoría de este tipo de municiones se contrarresta con el blindaje del propio vehículo. Las partes más expuestas a este tipo de proyectiles son los elementos de óptica, tanto del tirador como del jefe de vehículo.

Con el creciente interés por la tecnología y la modernización de la industria armamentística, es esencial poseer un amplio conocimiento de las amenazas más usadas actualmente y su nivel de peligrosidad, pues esto permite analizar de forma más profunda los sistemas de protección y supervivencia de los vehículos y las necesidades de estos.

4.2 Elementos de protección Actuales

En este apartado se estudia la protección y la capacidad de supervivencia del VRCC Centauro y presenta los diferentes sistemas que tiene actualmente para combatir las amenazas. Para enfrentar los peligros citados en el apartado anterior, los fabricantes italianos de Iveco Fiat-Oto Melara implementaron las defensas que aún se utilizan hoy en día.

La principal fuente de protección de los VRCC Centauro es el blindaje convencional, integrado permanentemente en el vehículo, ya que forma parte de su estructura. Este blindaje soporta impactos de 25mm en el arco frontal y de 14.5 mm en los laterales, tanto en la barcaza del vehículo como en su torre.

Adicionalmente a la capa de blindaje convencional que ofrece el fabricante, se puede instalar en su propia superficie un blindaje reactivo. Este tipo de blindaje reacciona al impacto de un proyectil para disminuir el daño provocado en la estructura del vehículo. Su eficacia reside en la disposición de placas de acero rellenas de explosivo plástico que, al recibir un impacto, implosionan, destruyen o inhabilitan el proyectil enemigo. En el caso del Centauro español, el blindaje reactivo utilizado es el SABBBLIR (Santa Bárbara Blindaje Reactivo). Además de este, que se sitúa tanto en la barcaza como en la torre, se pueden acoplar planchas de blindaje espaciado, las cuales hacen que el proyectil detone antes de llegar a la estructura principal.



Con respecto a la protección interna, todo el vehículo está recubierto por planchas de kevlar. Estas planchas protegen a la tripulación del “spalling”, que es el desprendimiento de fragmentos o esquirlas producidos por el impacto de un proyectil en el blindaje. Estos fragmentos pueden ser peligrosos para los tripulantes y para el equipo cercano al impacto, por lo que a menudo se utilizan materiales como el kevlar o el blindaje espaciado para contener o minimizar su dispersión.

El vehículo también lleva instalado un sistema contra incendios y antiexplosivos. Este tiene dos modos de activación: el manual (por si se detecta peligro antes de que el sistema lo haya hecho) y el automático. Cuenta con 4 extintores repartidos por el vehículo que cubren las zonas de mayor peligro, como pueden ser la cámara de tripulación de la torre o el motor.

Por último, el VRCC Centauro cuenta con un sistema de defensa NBQ. El sistema permite el completo aislamiento hermético y la depuración de aire (depura 180 m³/min). Posee un filtro químico que tiene una duración limitada. Esta duración es de 10 años si no se ha utilizado y, en caso de haberse hecho, depende del tipo de contaminante al que se enfrenta.

Como resumen del presente apartado, cabe apreciar que toda la protección del vehículo contra ataques enemigos es pasiva, orientada a minimizar los daños producidos en el ataque, en vez de evitarlo. A pesar de que el blindaje es efectivo contra cierto tipo de proyectiles, no todas las amenazas son sorteadas. Además, el aumento del blindaje no es una opción factible debido al gran incremento de peso y, por tanto, pérdida de movilidad.

4.3 Vulnerabilidades principales

Se han analizado tanto las amenazas actuales del VRCC Centauro como su capacidad de supervivencia. En este apartado se combinan los dos estudios citados anteriormente para detectar cuáles son las vulnerabilidades principales. La finalidad es que, mediante el análisis de la situación actual y del problema existente, se llegue a una solución que permita reducir dichas vulnerabilidades (Figura 7).

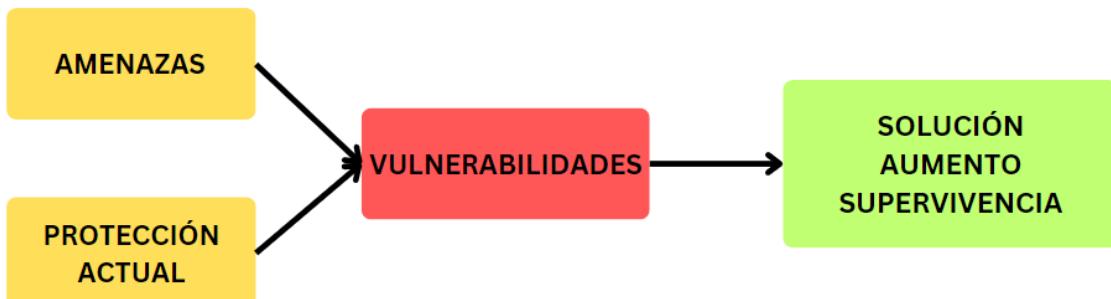


Figura 7: Diagrama de bloques. Estructura organizativa del apartado 4. Fuente: Elaboración propia

Una vulnerabilidad en el ámbito militar se define como una debilidad o fallo de un activo que puede ser explotada por una o más amenazas [16]. Esto, centrado en los vehículos, implica detectar puntos débiles en la protección de la plataforma o en los sistemas de alarma que permiten la acción eficaz del enemigo.

Ahora se procede a la detección y la exposición de las vulnerabilidades del Centauro ante las diferentes amenazas anteriormente analizadas. La Figura 8 muestra la efectividad que tiene cada parte del VRCC Centauro a la hora de enfrentarse a cada una de las amenazas estudiadas anteriormente.

Se observa que la torre y la barcaza, equipadas con el blindaje reactivo SABBLIR, son



capaces de hacer frente a los ATR, cierto tipo de ATGM y de proyectiles de gran calibre (KE y HEAT) y a los drones suicidas más usados.

Elemento del vehículo Amenaza	TORRE	BARCAZA	ELEMENTOS DE VISIÓN	RUEDAS
LANZAGRANADAS CONTRA CARRO ATR	✓	✓	✗	✗
MISILES CONTRA CARRO ATGM	?	?	✗	✗
PROYECTILES CAÑÓN: BAJO Y MEDIO CALIBRE	✓	✓	✓	✓
PROYECTILES GRAN CALIBRE	?	?	✗	✗
MUNICIONES ARTILLERÍA/MORTEROS	✗	✗	✗	✗
DRONES SUICIDAS	✓	✓	✗	✗

Figura 8: Efectividad de las partes del Centauro contra las diferentes amenazas. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, los proyectiles de bajo y medio calibre no suponen una amenaza real en combate, puesto que las diferentes partes del vehículo están preparadas para hacerles frente. En el caso de la torre, la barcaza y los elementos de visión: con el blindaje convencional; y en el caso de las ruedas, con una falsa cámara de aire y una estructura basada en hilos metálicos que ofrece gran resistencia. A pesar de esto, los elementos de visión y las ruedas no son capaces de hacer frente al impacto de ninguna de las amenazas restantes.

Como se observa, el Centauro posee distintas vulnerabilidades que afectan en gran medida a su capacidad de supervivencia en zonas hostiles. No se trata de un Carro de Combate, por lo que sus misiones no son puramente de combate, sino que está más orientado al reconocimiento. A pesar de esto, debe actualizar sus defensas para mejorar su capacidad de protección y ofrecer una mayor seguridad tanto a la plataforma como a su tripulación, permitiendo que el vehículo sea capaz de finalizar la misión.

4.4 Propuesta de solución

Cuando ya se han tratado las amenazas, el estado actual de protección del Centauro y las vulnerabilidades de este, solo queda ofrecer la solución que permita elevar la capacidad de supervivencia de la plataforma.

Como se ha explicado en el apartado de antecedentes, el grado de supervivencia del vehículo depende en igual medida de la protección como de la movilidad. Para abordar una solución factible al problema, se ha de considerar que el aumento de blindaje es insostenible, ya que aumenta en gran medida el peso y esto provoca que la movilidad se vea gravemente reducida, lo cual afecta muy negativamente a las capacidades de un vehículo de reconocimiento. Por tanto, de las dos opciones que se proponen en el mercado sobre la protección activa y la pasiva, se descarta sistemáticamente la pasiva.



A la hora de implementar una mayor movilidad al vehículo, los cambios estructurales deben ser totales, puesto que el vehículo de reconocimiento ya está fabricado para aprovechar al máximo sus capacidades sin reducir mucho su protección. Esto deriva en la compra de otro vehículo, con distintas capacidades y propiedades de protección y movilidad, con lo cual su estudio no procede en esta memoria.

La solución más adecuada para reducir las vulnerabilidades en el VRCC Centauro es la implantación de un Sistema de Protección Activa. Estos sistemas permitirán que las amenazas entrantes de mayor peligrosidad (como los ATGM o los proyectiles de gran calibre) no impacten en el vehículo o lo hagan contra las partes menos sensibles del mismo. Esto se logra mediante la destrucción del peligro durante su tiempo de vuelo o irrumpiendo en sus sistemas de guiado para desviar la trayectoria.

	PEQUEÑO ERROR DE CÁLCULO DEL IP	SOFT-KILL	HARD-KILL	OBSERVACIONES
ATR	NO CRÍTICO	NINGUNO	TODOS	
ATGM	NO CRÍTICO	ALGUNOS	ALGUNOS	Depende del tipo de guiado (radar, láser, IR, etc.)
GRAN CALIBRE: HEAT	CRÍTICO	NINGUNO	ALGUNOS	Requieren una electrónica muy rápida y algoritmos precisos
GRAN CALIBRE: KE	CRÍTICO	TODOS DETECTAN	NINGUNO	Los Soft-Kill detectan el telémetro láser que se utiliza para estos disparos
MUNICIONES ARTILLERÍA/MORTEROS	CRÍTICO	ALGUNOS	NINGUNO	Los Soft-kill pueden influir en la trayectoria por el sistema de guiado

Figura 9: Efectividad de los APS ante las diferentes amenazas. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 9 se disponen de manera gráfica las posibles soluciones APS a las vulnerabilidades del VRCC Centauro y su efectividad ante las amenazas.

Los pequeños errores de cálculo del punto de impacto de la amenaza (IP, del inglés “Impact Point”) no son críticos para el eficaz funcionamiento del sistema contra ATR y ATGM, esto se debe a que la velocidad de dichos ataques no es muy elevada. Sobre los ATGM cabe destacar que los APS Soft-kill pueden interferir en la trayectoria del misil dependiendo del sistema de guiado que utilice. Los APS Hard-kill actuarán solamente contra los ATGM para los que estén desarrollados en función de los sensores y las contramedidas que tengan.

Por otro lado, si se cometen errores de cálculo en las municiones HEAT o KE, debido a la gran velocidad que poseen en vuelo, impactarán en el vehículo. Los sistemas Soft-kill, contra estas dos amenazas, solamente pueden detectar que se les está apuntando, ya que para estos tiros se utiliza la telemetría láser en el apuntado. Esto les permite actuar antes del disparo enemigo, consiguiendo evadir el peligro inminente y conocer la posición del adversario.

La propuesta de solución, por tanto, es la instalación de un sistema APS. Este ofrece remedio a una gran parte de las amenazas y, si bien no elimina totalmente el peligro, reduce de manera drástica las vulnerabilidades del VRCC Centauro. Como se ve en la Figura 9, la efectividad de la solución dependerá del APS que se instale.



5 Implementación del Sistema de Protección Activa

5.1 Funcionamiento de los APS

En este apartado se profundiza en la definición de APS para conocer cómo funcionan estos sistemas y de qué parámetros se nutren los desarrolladores de producto para determinar si la calidad es la necesaria para usarlos en el combate.

Lo que caracteriza un sistema APS es el Tiempo de Reacción del Sistema (System Reaction Time: SRT), que es la suma temporal que hay entre la detección del objetivo, el reconocimiento, la identificación de la amenaza y el lanzamiento de contramedida para interceptar dicha amenaza. En la siguiente tabla (Tabla 2) se muestra una clasificación de los APS en tres categorías, dos para los APS tipo Hard-kill y una para los APS tipo Soft-kill.

TIPOS DE APS	SRT	Clasificación por SRT
HARD KILL	Menos de 100 μ s	Sistema al Microsegundo
HARD KILL	Entre 1 ms y 1000 ms	Sistema al Milisegundo
SOFT KILL	Mayor de 1s	Sistema al Segundo

Tabla 2: Clasificación de los APS por el SRT. Fuente: Elaboración propia

Además del SRT, los APS de tipo Hard-kill se clasifican en función de su Impact Point (IP) (ver Tabla 3), que hace referencia al punto de encuentro de la contramedida con la amenaza entrante. La distancia se mide desde la plataforma protegida hasta el IP. El sistema de control se calcula de forma precisa por el sistema de control en función de la velocidad y trayectoria de la amenaza [17].

Clasificación por IP	Distancia entre el vehículo y el IP
Cercano	Menos de 2 metros
Medio	De 2 a 30 metros
Lejano	Mayor de 30 m

Tabla 3: Clasificación de los APS por el IP. Fuente: Elaboración propia

Lo preferible por las unidades es utilizar sistemas cuyo IP se encuentre lejano al vehículo para evitar efectos secundarios sobre la plataforma por la destrucción de la amenaza. Esto, sin embargo, tiene el inconveniente del incremento del SRT total, debido a que la contramedida pasa mayor tiempo en vuelo hasta alcanzar a la amenaza. Por todo lo anterior, la tendencia es la elección de distancias al IP medias.

Como último parámetro importante para la definición técnica de los APS de tipo Hard-kill se define la Distancia Mínima de Derrota (del inglés: Minimum Defeat Distance, MDD) como la distancia a la que el sistema APS no es capaz de reaccionar lo suficientemente rápido para contrarrestar una amenaza entrante (algunos autores lo definen como "Dead Zone"). Por ejemplo, si el APS tiene un MDD de 50m, no podrá reaccionar a amenazas disparadas a una distancia menor a ella.

Los ingenieros que han desarrollado este tipo de sistemas definen la MDD a partir del IP y del SRT, combinado con la velocidad de la amenaza. La relación matemática que lo define es:

$$MDD = (SRV \times V) + IP$$



Siendo V la velocidad de la amenaza.

Usando esta fórmula, se muestra en la siguiente tabla el cálculo del MDD para diferentes SRT contra los proyectiles más comunes: ATGM, ATR y proyectiles KE, asumiendo que el IP del sistema es de 5 metros.

Minimum Defeat Distance				
Velocidad amenaza (m/s)	1000 ms SRT	500 ms SRT	1000 μ s SRT	500 μ s SRT
200 (ATR)	205 m	105 m	5.2 m	5.1 m
300 (ATGM)	305 m	155 m	5.3 m	5.15 m
1500 (KE)	1525 m	775 m	26.5 m	25.75 m
2000 (KE)	2025 m	1025 m	27 m	26 m

Tabla 4: Cálculo del MDD para diferentes velocidades y SRT. Fuente: Elaboración propia

La conclusión extraída de la tabla es que los sistemas con mayor SRT tienen una MDD elevada, lo que impide la protección del vehículo en distancias críticas de enfrentamiento. Es imprescindible conocer este dato para trabajar con el vehículo, ya que la disposición táctica en terrenos como zonas urbanizadas o áreas boscosas variará según la MDD. Si existe un valor de MDD pequeño, este permitirá hacer frente a ataques desde puertas/ventanas que se sitúen cerca del vehículo y emboscadas en caminos estrechos.

El estudio de mercado permite mantener el conocimiento sobre las últimas tendencias en defensa, los hábitos de compra de otros países, la evolución de las últimas tecnologías y los mercados de la posible competencia armamentística. Con toda esta información se conoce los productos populares en la industria, se detectan comportamientos y políticas de defensa que pueden suponer una amenaza para España y muestra las oportunidades para innovar y actualizar la plantilla actual de material.

Los APS cuentan con una serie de características que les define y les clasifica, entre ellos tenemos el tipo de APS: Hard-kill o Soft-kill. Ambos sistemas tienen sus ventajas y sus inconvenientes, que deberán considerarse al seleccionar qué sistema APS se elige para instalarlo en el VRC Centauro.

Un análisis DAFO (Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas) detallado sobre los sistemas de protección activa de tipo Soft-kill proporciona una comprensión más profunda de este tipo de tecnología y su contexto.

La Figura 10 muestra de manera resumida el análisis SWOT de los APS Soft-kill. Los factores internos (Fortalezas y Debilidades) hacen referencia a los aspectos que se encuentran dentro del propio producto e influyen en su calidad, funcionamiento y diseño, mientras que los factores externos (Oportunidades y Amenazas) hacen referencia a los aspectos relativos al contexto y entorno de este.

Las Fortalezas de los sistemas Soft-kill residen en su capacidad de aumentar sustancialmente la supervivencia de la plataforma, a través de la reducción de la probabilidad de impacto de la amenaza enemiga y la disminución de daños colaterales. También cabe destacar la facilidad con la que se instalan en las distintas plataformas y su coste accesible. Además, debido a su sencillo diseño, tienen la capacidad de ser actualizadas para nuevos tipos de amenazas en un corto espacio de tiempo.



Figura 10: Análisis DAFO de los sistemas Soft-kill. Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las Debilidades de los Soft-kill, destaca la efectividad limitada, puesto que el apantallamiento de los sistemas de guiado de los misiles o de los elementos de puntería de los vehículos enemigos no impide que el disparo se produzca. Además, dependiendo del sensor que se instale, el requerimiento de energía se elevará considerablemente, especialmente en los casos en los que el sensor esté emitiendo señales de forma continua en el tiempo.

Por otro lado, los factores externos (Oportunidades y Amenazas) hacen referencia a cualquier influencia, elemento o circunstancia del entorno que puede afectar a su desempeño, demanda o aceptación en el mercado. Como aparece en la Figura 10, las mejores Oportunidades para este producto son el constante desarrollo tecnológico que existe en la industria de Defensa y la capacidad de adaptar el material (sensores, sistemas de procesado de datos, etc.) a nuevas amenazas. Por el contrario, el desarrollo y la mejora de las armas contra carro suponen una Amenaza para estos APS.

En resumen, los sistemas de protección activa de tipo Soft-kill tienen ventajas en términos de supervivencia de la plataforma y reducción de daños colaterales, pero también presentan desafíos relacionados con la efectividad y la dependencia de la tecnología electrónica. Las oportunidades incluyen el desarrollo tecnológico y la adaptación a nuevas amenazas, mientras que las amenazas incluyen contramedidas y vulnerabilidades ciberneticas. El éxito de estos sistemas en el futuro dependerá de su continua evolución y adaptación a las cambiantes amenazas militares.

Ahora se procede al análisis de los sistemas Hard-kill.

Como muestra la Figura 11, los sistemas Hard-kill poseen Fortalezas basadas en el gran aumento de supervivencia de la plataforma a la que protegen por su capacidad de interceptar en vuelo los misiles y proyectiles enemigos. Esto genera una burbuja de protección que además de evitar el impacto, minimiza los daños en el vehículo y ofrece una gran versatilidad a la hora de enfrentarse a distintas situaciones.

Por otra parte, el elevado coste de los APS Hard-kill es una de las mayores Debilidades del producto (ver Figura 11). Este coste es tan elevado por la cantidad de pruebas que se deben realizar para su instalación, con la utilización de medios bélicos (proyectiles de guerra, misiles, etc.) que aumentan el precio considerablemente. Además, cabe destacar que estos sistemas son más sofisticados en comparación a los Soft-kill. El uso de misiles que interceptan a las amenazas



también supone un riesgo para la plataforma si existen errores de cálculo, y dichas contramedidas están limitadas tanto en alcance como en capacidad de recarga.



Figura 11: Análisis DAFO de los sistemas Hard-kill. Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los factores externos, el desarrollo tecnológico y la constante mejora de sistemas para adaptarse a las amenazas emergentes son las mayores Oportunidades que poseen los Hard-kill. Por el contrario, la actualización armamentística de los enemigos y las amenazas verticales, como los misiles tipo Javelin, son las Amenazas que afectan a estos sistemas.

En resumen, los sistemas de protección activa de tipo Hard-kill ofrecen una alta efectividad en la neutralización de amenazas entrantes, pero enfrentan desafíos relacionados con los costos, la capacidad de municiones limitada y la posibilidad de dañar la propia plataforma. Las oportunidades incluyen la innovación tecnológica, la colaboración internacional y la adaptación a amenazas emergentes, mientras que las amenazas involucran contramedidas enemigas, vulnerabilidades cibernéticas y regulaciones internacionales. La decisión de implementar estos sistemas dependerá de una evaluación cuidadosa de costos y beneficios, así como de las condiciones estratégicas y operativas.

5.1.1 Sensores

Los sensores se encargan de la detección de la amenaza, el rastreo de su trayectoria y la transmisión de información al sistema central. Son esenciales para la obtención de datos de manera veraz y veloz, siendo un factor determinante para la reducción del SRT visto en el apartado anterior. Para detectar múltiples amenazas, con sus diferentes trayectorias y velocidades, es necesario disponer de sensores que sean fiables en las diferentes condiciones meteorológicas y ambientales. Los tipos de sensores utilizados actualmente en los APS son:

- **RADAR:** operan en la banda de frecuencia de las microondas. Al emitir radiación (radar activo) en una frecuencia específica, es capaz de detectar y seguir a distintas amenazas cuando reciben retornos de alta amplitud. Los habitual en los APS es la distribución de varios sensores alrededor del vehículo, con un solape entre radares, para proporcionar una cobertura de 360º.

Este tipo de radares son capaces de detectar objetos que van a velocidades de entre 200 m/s (un ATGM o un ATR) y 2000 m/s (proyectil KE) y de discriminar falsos blancos. La



precisión es elevada, al igual que el procesado interno, lo que permite operar en entornos saturados electromagnéticamente. El mayor inconveniente de algunos de estos radares es la emisión constante, lo que permite al enemigo detectar el sistema a distancias superiores al alcance del propio radar. La empresa Rheinmetall afirma que este tipo de radares puede ser detectado a 350km por aviones de vigilancia [18].

- **Detectores electrópticos:** sensores pasivos que detectan en la banda del espectro electromagnético del IR, con posibilidad de ser sensibles en el espectro visible. Pueden trabajar en una sola banda del espectro o en varias simultáneamente (multiespectrales). Detectan el fogonazo del disparo, la pluma de propulsión y el calor desprendido por el rozamiento de la cabeza del proyectil durante el vuelo.
- **Detectores acústicos de disparos:** conjunto de micrófonos especiales que detectan el rumbo y alcance de las posiciones de lanzamientos de artillería, sistemas de mortero, armas de pequeño calibre y detección de helicópteros. Esto se realiza mediante un sistema de triangulación, con la desventaja de la tardía respuesta en caso de que la amenaza se desplace a velocidades similares o superiores a las del sonido (343.2 m/s). La ventaja de estos sensores es la capacidad de alertar de amenazas que no son disparadas directamente contra el vehículo.
- **Sensores de iluminación láser (Laser Warning Receptor, LWR):** son capaces de detectar la energía de un láser y de clasificar la fuente mediante el análisis de su modulación, la longitud de onda y el ángulo de incidencia. Los emisores láser que pueden detectar son los sistemas de guiado de misil, los telémetros, los designadores de objetivos y las contramedidas electroópticas.
- **Sensores de iluminación Radar (Radar Warning Receiver, RWR):** sensores capaces de detectar la energía electromagnética que emite el radar enemigo y determinar el modo de operación del radar mediante el análisis de la frecuencia de la radiación incidente, el ángulo de llegada, la frecuencia de repetición y la intensidad de la señal.

5.2 Estudio de mercado

El estudio de mercado de los Active Protection Systems es una investigación estratégica enfocada en analizar el entorno, la oferta y la demanda relacionada con estos sistemas de protección vehicular. El estudio de mercado se basa en la disponibilidad de información en diversas fuentes como informes de mercado, noticias del sector, documentación técnica de uso interno y datos proporcionados por los propios proveedores y fabricantes de la industria.

Los APS existentes en el mercado han sido objeto de un exhaustivo y detallado análisis. De todos los APS que se han estudiado para contemplar su entrada en este trabajo (Anexo II), se han seleccionado 4 APS de tipo Soft-kill y 5 APS de tipo Hard-kill. Estos son los sistemas de los que se dispone la mayor cantidad de datos e información para realizar el estudio comparativo en profundidad, ya que mucha de la información sobre material de Defensa está clasificada y, por tanto, las empresas no la comparten.

Los datos aportados sobre estos sistemas han permitido la evaluación precisa de sus características clave, de su efectividad y de la relevancia que poseen en el contexto geopolítico internacional. Los datos recopilados incluyen la información que, de manera resumida, se presenta a continuación en dos grandes tablas divididas en Soft-kill y Hard-kill:



Tipo Soft-kill

SISTEMA	GALIX (Anexo III)	SHTORA-1 (Anexo IV)	ROSY (Anexo V)	MUSS (Anexo VI)
PAIS	Francia	Rusia	Alemania	Alemania
AMENAZAS OBJETIVO	Misiles guiados contra carro (ATGM), designación láser telémetros láser	ATGM, telémetros láser, designador láser	ATGM, telémetro láser, designador láser	ATGM, telémetro láser, designador láser
TIEMPO DE REACCIÓN	NIL	3 seg	0.4 seg	1 a 1.5 seg
INTEGRADO BMS	Sí	No	No	Sí
MODOS	Manual Automático	Manual Semiautomático Automático	Manual Semiautomático Automático	Manual Semiautomático Automático
COBERTURA ANGULAR	Azimut: 360º	Elevación: de -5 a 25º	Elevación: 0º	Elevación: 70º

Tabla 5: Estudio de mercado APS Soft-kill. Fuente: Elaboración propia

Tipo Hard-kill

SISTEMA	TROPHY RAFAEL (Anexo VII)	ARENA (Anexo VIII)	IRON FIST (Anexo IX)	STRIKE SHIELD (Anexo X)	ZASLON (Anexo XI)
PAIS	Israel	Rusia	Israel	Alemania	Ucrania
AMENAZAS OBJETIVO	ATGM, misiles de ataque vertical (tipo JAVELIN), ATR, HEAT	ATGM, ATM, HEAT, amenazas con velocidad entre 70 y 700 m/s	ATGM, ATM, HEAT, reduce penetración de los KE	ATGM, ATM y ciertos IEDs	ATGM, ATR, HEAT
RECARGA	Sí, 3 veces por lanzador	NIL	Cada lanzador tiene 2 granadas	No, módulos están colgados alrededor del vehículo	No



TIEMPO DE REACCIÓN	De 0.3 a 0.35 s	0.07 s	0.3 a 0.35 s	0.00056 s	0.0006 s
DISTANCIA SEGURIDAD	10 m	20-30 m	15 m	10 m	400 m
DAÑOS COLATERALES	Pocos	Muchos	Pocos	Pocos	Muchos
USO EN COMBATE	Sí, probado en combate y muy eficaz	No	No	No	No
INTEGRADO EN BMS	Si	No	Sí	NIL	NIL
COBERTURA ANGULAR	Azimut: 360º Elevación: 60º	Azimut: 220º-270º. No parte trasera torre. Elevación: 15º	Azimut: 360º Elevación: 60º	Azimut y Elevación: zonas en las que hay módulos	Azimut: 150 a 180º (por caja) Elevación: 20º

Tabla 6: Estudio de mercado APS Hard-kill. Fuente: Elaboración propia

Todos estos sistemas APS son los que se han seleccionado tras realizar el estudio de mercado (Anexo II). Aunque las tablas con datos técnicos son muy útiles para decidir qué APS es más adecuado para su implementación en el Centauro, también se deben considerar otras cuestiones.

A la hora de discernir qué APS es el más adecuado para implementar en la plataforma española, se ha de considerar la interoperabilidad con otros países como pueden ser los aliados de la OTAN o de la UE. A este hecho se le añade el valor implícito que reside en observar las tendencias y herramientas que poseen los países de referencia, como pueden ser Estados Unidos, Reino Unido, Alemania, Francia e Italia.

- **EE. UU.:** tiene instalados en los CC M1 Abrams, los AFV M2 Bradley y en los ATP M109A6 Paladin los sistemas Soft-kill AN/VLQ-6 y AN/VLQ-8A [17], consistentes en una luz estroboscópica infrarroja que perturba el sistema de designación láser, Telémetros o la Línea de Visión de Control Semiaactiva (SACLOS) de un ATGM. En cuanto a los APS Hard-kill, están siendo estudiados dos proyectos de APS: Non Developmental Item (NDI) y la iniciativa Modular Active Protection System (MAPS) [19]. En la actualidad, solo ha implementado el TROPHY en los CC M1A2C. El US Army está estudiando cómo implementar el NDI y el MAPS a estos sistemas para combinar las capacidades Hard-kill y Soft-kill con éxito.
- **Reino Unido:** ha instalado el TROPHY para sus carros Challenger 2 y Challenger 3. Por otro lado, la empresa gubernamental Defence Science and Technology Laboratory (DSTL) encargó el estudio del Programa Demostrador de Tecnología (TDP) "ICARUS" a la empresa Leonardo. Esta empresa dirigió un equipo de expertos de la industria con el objetivo de desarrollar una arquitectura de Modular Active Protection System (MAPS) que permitiera el despliegue seguro de los mejores sensores y contramedidas. Además,



se perseguía la obtención de la propiedad del software de control APS y la gestión de la biblioteca de amenazas [18]. Un ensayo proporcionó en 2021 la prueba de la capacidad de detección, control y reacción para responder con éxito ante una amenaza en tiempos extremadamente cortos.

- **Alemania:** El ejército alemán ha dotado a sus AFV Puma con el sistema APS Soft-kill MUSSA. A pesar de haber desarrollado distintos tipos de APS, ha tomado la decisión de instalar el APS israelí TROPHY en 17 CC Leopard 2.
- **Francia:** El ejército francés cuenta con el sistema APS Soft-kill GALIX en los CC Leclerc en su versión semiautomática. No hay datos sobre la instalación de sistemas Hard-kill en sus vehículos, si bien están desarrollando el programa PROMETEUS (Protection Multi Effets Terrestre Unifiée pour Scorpion). Este pretende proteger el vehículo SCORPION con 3 tecnologías: APS, protección reactiva y activa.
- **Italia:** Los CC Ariete y los VRCC Centauro del ejército italiano tienen instalado el APS Soft-kill GALIX. En relación con los sistemas Hard-kill, la empresa Otto Melara trató de desarrollar un sistema llamado “Scudo” que no prosperó.

5.3 Comparativa de los APS

Para determinar qué sistema de protección activa es el más adecuado para ser instalado en el VRCC Centauro se ha realizado un detallado estudio comparativo que cuenta con dos fases: el análisis de las características que se consideran más importantes de los APS y la comparación de los APS resultantes del anterior estudio de mercado. Además de esta fragmentación en dos fases sucesivas, el estudio también se ha dividido entre sistemas de tipo Soft-kill y sistemas de tipo Hard-kill. Esto se debe a que cada APS tiene unas características comparables a los de su mismo tipo.

5.3.1 Comparativa de los APS de tipo Soft-kill

En primer lugar, para analizar de manera adecuada y exhaustiva las características más importantes que debe poseer un APS de tipo Soft-kill, se ha realizado una encuesta a expertos de distintas unidades de Caballería del Ejército de Tierra. En el grupo de expertos hay componentes de todas las unidades de Caballería y de las tres escalas del Ejército: Oficiales, Suboficiales y personal de Tropa. En esta encuesta se determina la importancia que tiene cada característica para el grupo de expertos mediante la asignación de valores, siguiendo la siguiente leyenda:

- 5: muy importante
- 4: importante
- 3: importancia media
- 2: poco importante
- 1: muy poco importante

Las respuestas de la encuesta se han recopilado durante una semana y, tras este proceso, se ha mediado para conocer de forma acertada el juicio del grupo de expertos. La representación gráfica del resultado es de gran utilidad para ver de forma directa cuales han sido los parámetros que más han valorado los jinetes de los sistemas APS Soft-kill.



VALORACIÓN EXPERTOS CAPACIDADES APS SOFT - KILL

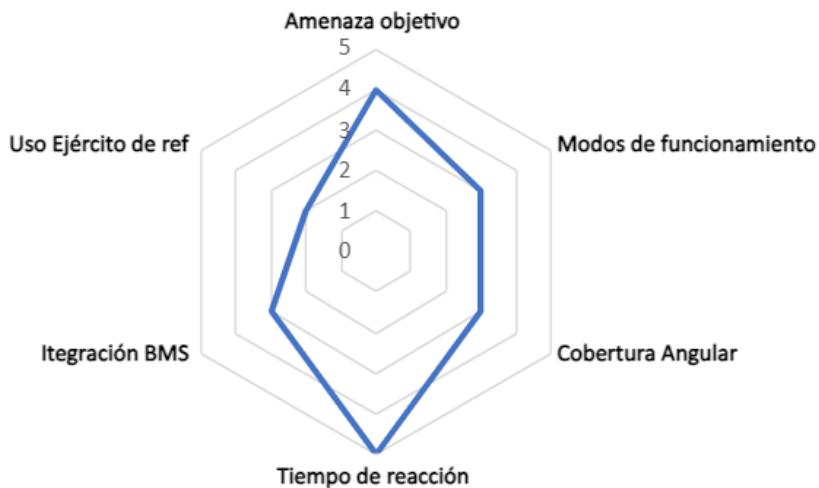


Figura 12: Radar chart de la valoración de las capacidades de los APS Soft-kill. Fuente: Elaboración propia

Se presentan los resultados de la encuesta en la Figura 12. Dichos resultados muestran que, de todas las capacidades atribuibles a los APS Soft-kill, las más valoradas por los expertos son el tiempo de reacción del sistema (tiempo que transcurre desde que el sistema detecta la amenaza hasta que lanza la contramedida) y el conjunto de amenazas a las que hace frente (amenazas objetivo). Estos dos parámetros son, por tanto, los más importantes para la toma de decisión del APS Soft-kill más adecuado para la instalación en el Centauro.

En segunda prioridad se tienen la capacidad de integración en el BMS, la cobertura angular del sistema y los diferentes modos de funcionamiento que posee. Estas tres capacidades son importantes para la interoperabilidad entre vehículos y unidades, la protección de la totalidad del vehículo y el proceso de toma de decisiones, respectivamente.

Por último, los expertos han determinado que el uso de los sistemas por los ejércitos de referencia (como el alemán, el estadounidense o el francés) no es un factor determinante a la hora de decidir qué APS se instala en la plataforma española.

A partir de los resultados obtenidos en la encuesta anterior con respecto a las capacidades más valoradas de los APS Soft-kill, se ha creado una matriz ponderada de decisión en la cual se puntuán todos los APS Soft-kill seleccionados en el estudio de mercado para decidir cuál de ellos es el más adecuado para ser instalado en el Centauro.



FACTOR MULTIPLICATIVO	Eliminatoria	4	3	3	5	3	2	
	PAÍS	AMENAZA OBJETIVO	MODOS DE FUNCIONAMIENTO	COBERTURA ANGULAR	TIEMPO DE REACCIÓN	INTEGRACIÓN BMS	USO EJÉRCITOS DE REFERENCIA	TOTAL
Rango	(0-1)	(1-5)	(1-3)	(1-5)	(1-5)	(1-2)	(1-5)	
GALIX	1	5	3	4	4	2	5	77
SHTORA-1	0	5	2	3	4	2	3	0
ROSY	1	5	3	3	4	2	3	70
MUSS	1	3	1	3	5	1	2	56

Figura 13: Matriz de decisión ponderada. Elección APS Soft-kill. Fuente: Elaboración propia

La matriz de decisión ponderada (Figura 13) cuenta con una columna donde se exponen los distintos APS y una fila donde se muestran todas las características de dichos APS. Se asigna una puntuación a cada sistema para cada una de las características. Cuando la tabla está completa, se multiplica cada puntuación por su factor multiplicativo, el cual se corresponde con el valor que los expertos le han asignado en la encuesta anterior. Al sumar las puntuaciones ponderadas de todas las características resulta el valor del APS. Estos valores se comparan para averiguar cuál es el sistema con mayor puntuación y, por tanto, el más adecuado para su implementación.

En la Tabla 13 se puede observar que una de las características es eliminatoria. Esto implica que, si se cumple, el APS queda automáticamente eliminado de la matriz ponderada de selección. La columna “PAÍS” muestra si el país en el que se fabrica el sistema es aliado o, por el contrario, puede comprometer la seguridad de la información. En este caso, la empresa que fabrica y distribuye los APS SHTORA-1 es rusa, por lo que comprar los sistemas de protección vehicular a este país implica que la información crítica como tiempo de reacción, debilidades o posibles puntos ciegos esté en manos de un país que amenaza las fronteras de la OTAN.

En la Figura 14 se muestra de manera gráfica la comparación de los tres sistemas que no han sido eliminados por el país de procedencia para cada una de las características. Esto permite observar de manera simple el análisis realizado en la tabla anterior y ver la comparativa para cada característica.

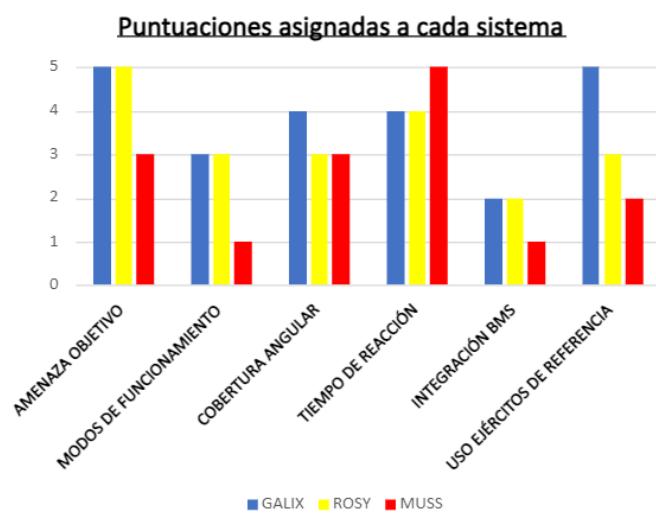


Figura 14: Puntuaciones de los sistemas APS Soft-kill. Fuente: Elaboración propia



Tras el análisis exhaustivo de los APS Soft-kill que han resultado del estudio de mercado, se ha determinado que el más adecuado para ser instalado en el VRCC Centauro es el sistema GALIX. Seguidamente, el sistema ROSY es la competencia más directa y, por último, el sistema MUSS queda alejado de la puntuación ganadora (ver Figura 13).

El resultado de la matriz ponderada (Figura 13) nos muestra que el sistema GALIX y el sistema ROSY están cercanos en puntuación, por lo que se pueden valorar ambas opciones. Tras el análisis de este caso, se ha determinado que el sistema GALIX es el ganador definitivo por dos puntos determinantes: el calibre de las contramedidas y el respeto al medio ambiente. El sistema ROSY utiliza contramedidas de 40mm, mientras que el sistema GALIX las utiliza de 80mm, esto tiene una gran importancia táctica puesto que, a mayor calibre, mayor efecto tienen las contramedidas, tanto en amplitud espacial como temporal.

El otro factor determinante es que el sistema ROSY utiliza el fósforo rojo para sus contramedidas, lo cual implica que la nube de humo que se genera tiene una alta temperatura. Esto, asimismo, conlleva dos consecuencias negativas. La primera de ellas es táctica, ya que la nube de humo caliente es visible mediante cámaras térmicas a mucha distancia. El sistema GALIX, en cambio, utiliza unos materiales de fabricación que generan una nube de humo "helada", la cual no puede ser detectada tan fácilmente por el enemigo en cuanto a temperatura se refiere. La segunda consecuencia es que el fósforo rojo provoca que las contramedidas ROSY sean altamente incendiarias, lo cual va en detrimento de la conservación del medio ambiente [20].

Por todo lo citado anteriormente, la resolución de este apartado concluye que el APS Soft-kill más adecuado para ser instalado en el VRCC Centauro es el GALIX.

5.3.2 Comparativa de los APS de tipo Hard-kill

A la hora de analizar qué APS Hard-kill es el más indicado para ser instalado en el VRCC Centauro se ha seguido el mismo procedimiento que para decidir el de tipo Soft-kill. Este procedimiento establece como primer punto el estudio de mercado, en el que se realiza una revisión exhausta de la industria actual y del que se han obtenido 5 APS Hard-kill para su comparación. El segundo paso comprende el análisis de las características que más valoran los expertos a la hora de considerar la implantación de este sistema en la plataforma. Por último, se realiza la tabla de decisión ponderada en la cual se decide el sistema más idóneo para ser implantado en el VRCC Centauro.

Los Sistemas de Protección Activa de tipo Hard-kill ofrecen unas capacidades distintas a las de los Soft-kill, por lo que las características que se deben tener en cuenta para su instalación son diferentes. Dichas características son evaluadas por los expertos del Arma de Caballería a través de la encuesta en la cual se les pide evaluar numéricamente la importancia que tiene cada una de ellas, siguiendo la siguiente leyenda:

- 5: muy importante
- 4: importante
- 3: importancia media
- 2: poco importante
- 1: muy poco importante



Tras realizar la encuesta y analizar los resultados, se obtiene un radar chart en el cual se gráficamente qué prioridades se tienen actualmente a la hora de contemplar la instalación de un sistema de este tipo en el Centauro.

En la Figura 15 se observa que las propiedades más valoradas por los expertos son el tiempo de reacción y los tipos de amenaza a los que se hace frente. Esto se debe a que, en los sistemas Hard-kill, el tiempo de reacción debe ser más corto que en los Soft-kill, ya que la contramedida ha de ser lanzada con suficiente anterioridad para evitar daños colaterales por la explosión.

En segundo lugar, las características que consideran los expertos de gran importancia son la cobertura angular del sistema, esencial para cubrir totalmente el vehículo, y la capacidad del sistema para permitir su recarga. Este último factor es imprescindible considerarlo si se afronta una misión larga con previsión de contacto con el enemigo, ya que el sistema sin contramedidas cargadas solo sirve como aviso inminente de un misil que, seguramente, impactará en el vehículo.

VALORACIÓN EXPERTOS CAPACIDADES APS HARD - KILL

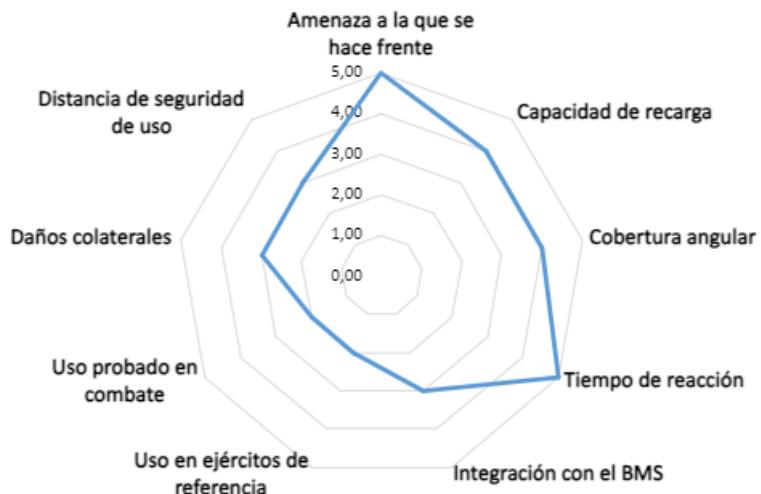


Figura 15: Radar chart de la valoración de las capacidades de los APS Hard-kill. Fuente: Elaboración propia

En tercer lugar, los daños colaterales son considerados importantes a la hora de elegir qué APS se implementa en el VRCC Centauro. Además, la interoperabilidad con los sistemas del vehículo requiere considerar la capacidad de conexión con el BMS.

Por último, y al igual que en la encuesta referida a los APS de tipo Soft-kill, las propiedades que menos se valoran son el uso de estos sistemas por los ejércitos de referencia y su experiencia en combate. Esto se debe a que las pruebas de calidad que superan los APS antes de ser instalados en los vehículos son exhaustivas y suficientes para asegurar su efectividad.

Con la información de este análisis de las propiedades mejor valoradas por los expertos, y siguiendo el modelo de estudio de los APS Soft-kill, se procede a realizar la comparación de los APS Hard-kill mediante una matriz de decisión con datos ponderados. En dicha matriz se pondrán las valoraciones de los profesionales en la fila de “factor multiplicativo” y se obtendrán las valoraciones finales para cada uno de los APS que se han seleccionado anteriormente del estudio de mercado.



FACTOR MULTIPLICATIVO	Eliminatoria	5	4	4	5	3	2	2	3	3	
	PAÍS	AMENAZA OBJETIVO	CAPACIDAD RECARGA	COBERTURA ANGULAR	TIEMPO DE REACCIÓN	INTEGRACIÓN BMS	USO EJÉRCITOS DE REFERENCIA	USO EN COMBATE	DAÑOS COLATERALES	DISTANCIA DE SEGURIDAD	TOTAL
Rango Puntuación	(0-1)	(1-5)	(1-5)	(1-5)	(1-5)	(1-2)	(1-5)	(1-2)	(1-3)	(1-5)	
TROPHY	1	5	4	4	4	2	5	2	3	5	121
ARENA	0	5	2	2	4	1	3	1	3	4	0
IRON FIST	1	5	3	3	4	2	3	1	3	4	104
STRIKE SHIELD	1	3	1	3	5	1	2	1	3	5	89
ZASLON	0	4	1	3	4	1	1	1	2	3	0

Figura 16: Matriz de decisión ponderada. Elección APS Hard-kill. Fuente: Elaboración propia

La tabla Figura 16 de manera numérica los valores que se le asignan a cada APS Hard-kill para cada una de las propiedades analizadas en la encuesta. Se mantiene la columna eliminatoria que hace referencia al país de procedencia del APS, siendo eliminados el sistema ARENA y el ZASLON por pertenecer a países que amenazan la seguridad de la información clasificada. Dichos países son Rusia y Ucrania, respectivamente, y debido al conflicto actual en el que están inmersos se descarta la posibilidad de obtener un sistema de ninguna de estas naciones.

El fruto de la comparativa entre todos los sistemas de protección activa de tipo Hard-kill muestra que el más adecuado para ser instalado en el VRCC Centauro es el sistema TROPHY israelí. Este sistema va seguido del IRON FIST, aunque la diferencia es considerable. El menos idóneo para la plataforma española es el STRIKE SHIELD, destacando que el rango de amenazas al que hace frente es menor y no puede recargarse en combate.

El resultado se observa de forma más gráfica en la Figura 17, que muestra la comparación de los sistemas individuales para cada propiedad. Se observa a simple vista el que TROPHY es superior al IRON FIST en varios campos, siendo el más relevante la capacidad de ser recargado sin exponerse al enemigo y la amplia cobertura angular con la que cuenta. El sistema israelí también tiene la ventaja de usarse en varios ejércitos de referencia y poseer experiencia en combate.

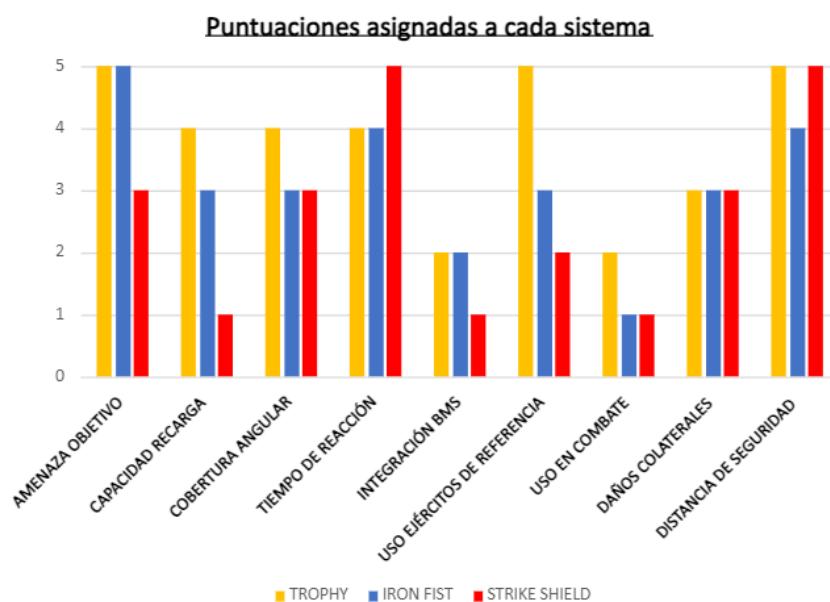


Figura 17: Puntuaciones de los sistemas APS Hard-kill. Fuente: Elaboración propia



Por todo lo citado anteriormente, el sistema Hard-kill más adecuado para ser instalado en VRCC Centauro es el TROPHY, el cual es capaz de detectar simultáneamente distintas amenazas y atacar al misil entrante con un preciso disparo de MEFP: "Minimum Expected Fragmentation Point". El MEFP es el punto en el que se espera que un proyectil o un misil enemigo en vuelo alcance su punto de máxima fragmentación y, por tanto, cause el menor daño posible. De esta manera se pretende minimizar los daños a la tripulación y al vehículo. La penetración residual tras la explosión de la amenaza es insignificante y solo existe un 1% de probabilidad de herir al personal desmontado por daños colaterales.

Se concluye este apartado mencionando que los dos sistemas que han resultado mejor puntuadas de las matrices ponderadas de decisión y, por ende, son las óptimas para el vehículo Centauro, son: sistema GALIX y sistema TROPHY.

5.3.3 Evaluación de alternativas y propuesta de APS

Este apartado revela y justifica la decisión final tomada para elegir un único sistema APS. Tras el estudio de mercado y la comparativa de los APS Soft-kill y Hard-kill, se ha determinado que los más adecuados para ser implementados en el VRCC Centauro son el sistema GALIX y el sistema TROPHY, respectivamente.

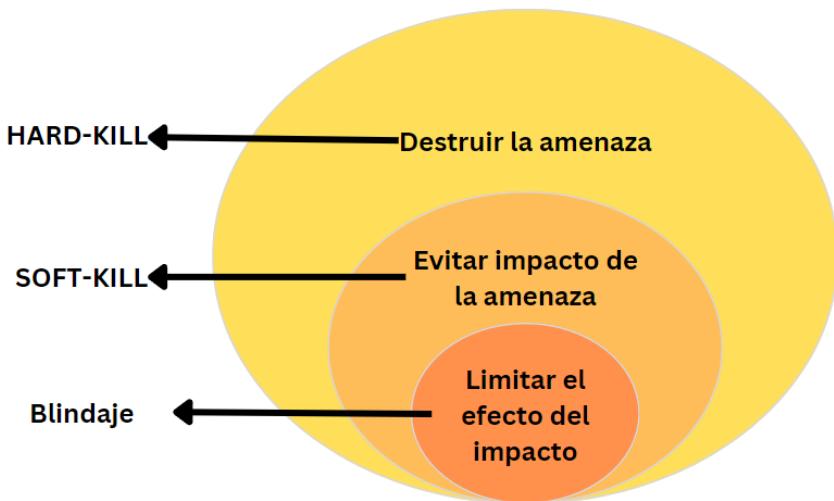


Figura 18: APS en la protección multicapa. Fuente: Elaboración propia

Cuando se trata de discernir qué sistema es el que más se adapta a las necesidades del Ejército hay que valorar varias cuestiones. La primera de ellas es el objetivo de protección que se busca. En el caso de los APS, el objetivo es que las amenazas contra los vehículos Centauro no impacten, de tal forma que se asegure la supervivencia tanto de la plataforma como de su tripulación. Estos dos tipos sistemas, como se muestra en la Figura 18, tienen como función la de proteger el vehículo, con la diferencia de que los APS Hard-kill pueden hacer frente a amenazas algo más sofisticadas y de manera destructiva, mientras que los Soft-kill interfieren en la amenaza sin destruirla. Actualmente, y analizando las capacidades operativas del Centauro como su alta movilidad o su empleo táctico, ambos sistemas se adaptan a las necesidades del vehículo de reconocimiento.

Habitualmente, en la industria de Defensa solo se instalan los APS en los Main Battle Tanks (Carros de Combate), y el vehículo que se trata en el presente trabajo es un Vehículo de Reconocimiento. Esto se debe a las distintas misiones a las que se destina cada plataforma. Por esto, el sistema GALIX no solo cuenta con municiones contra misiles o proyectiles (como es el



caso del TROPHY) sino que también posee municiones antipersonal no letales, con la posibilidad de cumplir funciones policiales o de control de masas.

5.3.4 Estimación de costes

En segundo lugar, se ha de considerar el coste que supone la instalación de estos sistemas. Aunque no se dispone de la precisión idónea, esta estimación de costes se ha considerado de gran interés y valía para dar apoyo a la toma de la decisión. Debido a la confidencialidad en los contratos de adquisición de estos sistemas, es necesario estimar los costes mediante el Project Evaluation and Review Techniques (PERT). Para ello se plantean 3 casos: los costes más optimistas (C_O); los más pesimistas (C_P) y los más probables (C_M).

Los datos sobre el coste unitario del producto se han obtenido de fuentes distintas. En el caso del GALIX, se extraen de la entrevista a Eric Galvani (Manager de Producto GALIX) y a Arthur Justice-Espenan (Comercial de la compañía Etienne-Lacroix). Para el caso del sistema TROPHY, se obtienen del estudio de varios contratos de adquisición con países europeos. Cabe destacar que el amplio rango de precios se debe a la instalación de los sensores, ya que son las partes que encarecen el sistema.

La fórmula PERT para calcular el coste esperado (C_E) es: $C_E = \frac{C_P + C_O + 4 \times C_M}{6}$

- En el caso del sistema GALIX:
 - Coste pesimista: $C_P = 300.000\text{€}$
 - Coste optimista: $C_O = 150.000\text{€}$
 - Coste probable: $C_M = 250.000\text{€}$

Por lo tanto, el coste unitario esperado del sistema GALIX es de: $C_E = 241.666\text{€}$

- En el caso del sistema TROPHY:
 - Coste pesimista: $C_P = 1.000.000\text{€}$
 - Coste optimista: $C_O = 700.000\text{€}$
 - Coste probable: $C_M = 800.000\text{€}$

Por lo tanto, el coste unitario esperado del sistema GALIX es de: $C_E = 816.666\text{€}$

Como se puede observar, la diferencia por cada sistema instalado es de 575.000€ aproximadamente. Esto se debe a que la instalación de los sistemas Hard-kill requieren de una gran cantidad de pruebas, son sistemas mucho más sofisticados en cuanto a procesado de datos y necesitan gran exactitud para cumplir su misión. Además de esto, los lanzadores para las contramedidas deben permitir el disparo de misiles que intercepten la amenaza entrante en vuelo. Los sistemas Soft-kill, en cambio, poseen un sistema central con menor capacidad y los lanzadores son más baratos, puesto que son lanza fumígenos.

Por último, se tienen en cuenta los procesos de formación del personal, mantenimiento y garantías del sistema. Es de gran importancia mencionar que los VRCC Centauro del ejército italiano ya poseen el sistema GALIX. Esto facilita en gran medida su implementación en el ejército español puesto que los manuales de uso y de mantenimiento ya están adaptados a la plataforma Centauro.



Adicionalmente, el panel de control del jefe de Vehículo cuenta con dos pulsadores, que actualmente no se usan, destinados a este sistema (Figura 19). Estos pulsadores están originalmente creados para el sistema GALIX en una de sus versiones: la de uso manual.

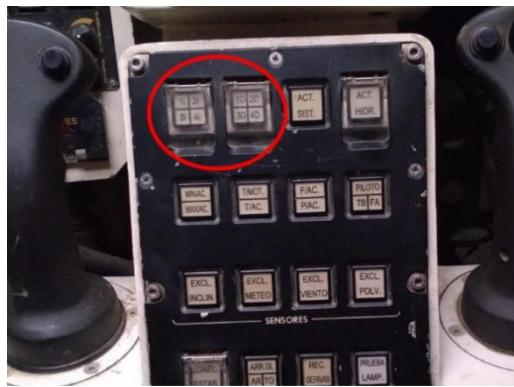


Figura 19: Unidad de control del jefe de Centauro. Fuente: Elaboración propia

Por todo lo citado anteriormente, y considerando el estado y las necesidades actuales del Ejército de Tierra, el sistema que más se adecúa a los requisitos para ser instalado en el VRCC Centauro es el Sistema GALIX.



6 Conclusiones

En el transcurso de este Trabajo de Fin de Grado, se ha llevado a cabo el análisis de la implementación de un APS en el VRCC Centauro, siendo el objetivo principal determinar la elección del sistema más adecuado. Para alcanzar este propósito, se han establecido varios objetivos secundarios que se han cumplido según lo previsto.

En primer lugar, se logró precisar el abanico de amenazas a las que se enfrentan los diferentes APS. Este análisis reveló la peligrosidad de las amenazas en el campo de batalla frente al Centauro. Esto permitió determinar las vulnerabilidades de los vehículos y determinar los requisitos que debían cumplirse para aumentar protección de estos.

Posteriormente, se llevó a cabo un estudio y análisis exhaustivo de los Sistemas de Protección Activa que están disponibles en el mercado de Defensa. Este proceso implicó una detallada revisión de las características y limitaciones de diversos sistemas y permitió la evaluación minuciosa de todos ellos. Tras el estudio comparativo, se concluyó que el sistema GALIX era la opción más adecuada y efectiva para satisfacer el objetivo principal.

Gracias a la adquisición del sistema GALIX, el VRCC Centauro mejorará su capacidad de supervivencia y protección, acabando con las vulnerabilidades analizadas y alcanzando el nivel tecnológico necesario para equiparse con los mejores vehículos de reconocimiento.

Los objetivos secundarios que se proponen en el inicio de la memoria se alcanzan de manera satisfactoria, resultando en la obtención de un detallado estudio de las amenazas a las que hacen frente los APS, la detección y propuesta de solución a las mayores vulnerabilidades del Centauro y la realización del estudio detallado del mercado actual de los APS.



7 Líneas futuras

En este apartado se exponen de manera resumida las posibles vías de investigación y actuación que dan continuación al trabajo realizado. De esta manera, se facilita la consecución de cambios y modernizaciones en el material de las Fuerzas Armadas y prepara el camino para futuras investigaciones.

El sistema que ha resultado más adecuado para ser instalado en el VRCC Centauro es el APS Soft-kill GALIX. Para su instalación en los VRCC Centauros se ha de contactar con la empresa fabricante, Etienne Lacroix, y establecer un contrato de compra e instalación. Este debe especificar los términos y condiciones relacionadas con la adquisición y montaje del sistema en las plataformas.

En primer lugar, se debe tener en cuenta el cambio de lanza fumígenos, puesto que los que utiliza el sistema GALIX tienen una inclinación igual o menor a 45º. Esto se debe a que el sistema central lleva implementados datos como las Rules of Engagement (Reglas de Enfrentamiento) o el tiempo que tarda la contramedida en ser efectiva. Este último dato está calculado para los lanzadores a dicha inclinación: una mayor inclinación implica que el tiempo de activación de la contramedida aumenta y puede no ser efectiva.

En segundo lugar, a la hora de establecer el contrato, se debe considerar el tipo de contrato, recomendando que sea de precio fijo y con el establecimiento de la retirada de la partida presupuestaria pactada para así evitar la inviabilidad del proyecto por falta de fondos en el futuro. Adicionalmente, quedarán fijados los plazos máximos para la instalación en los vehículos, así como toda la información relativa al mismo.

La empresa Etienne-Lacroix cuenta con experiencia en la colaboración con distintos ejércitos, haciendo alusión al caso del Centauro italiano o al contrato que tiene con el ejército francés: PRONOIA, el cual les encarga la creación, mantenimiento, instalación y actualización de la arquitectura de los sistemas de protección vehicular.

Por último, se ha de seguir analizando el impacto que supone esta implementación en el uso estratégico y táctico del vehículo. Se debe analizar su integración con otros activos y fuerzas en el campo de batalla, de manera que se maximice su rendimiento.



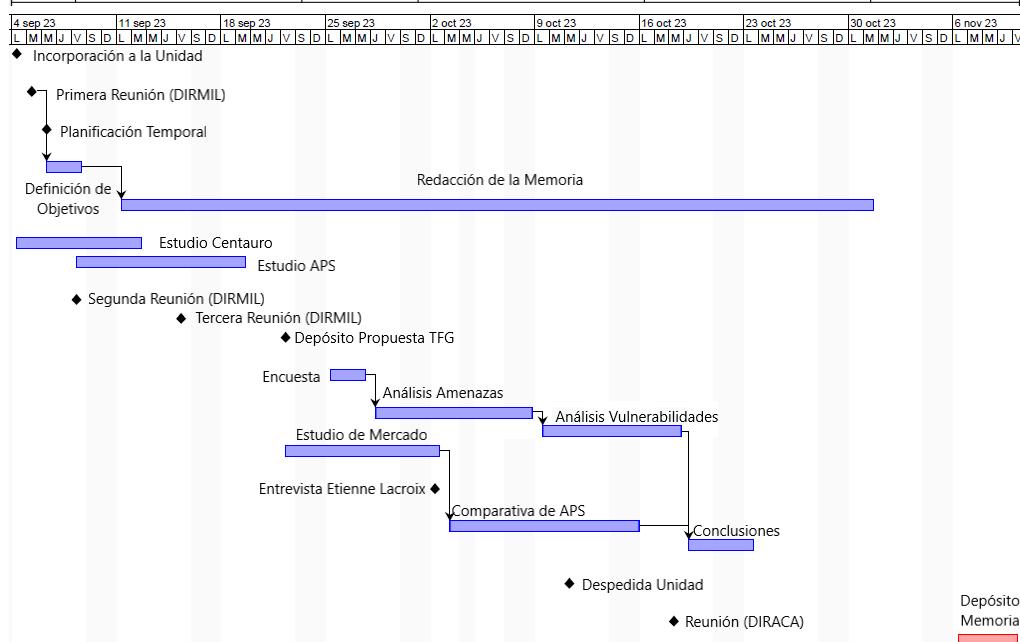
ANEXOS

ANEXO I: Diagrama de Gantt. Planificación temporal

En el presente Anexo se expone tanto el Diagrama de Gantt que se puede observar en la memoria como la tabla de contenidos que muestra las diferentes hitos y fechas de manera más específica.

Figura 20: Diagrama de Gantt completo. Fuente: Elaboración propia

	Nombre	Duracion	Inicio	Terminado	Predecesores
1	Incorporación a la Unidad	1 day	4/09/23 8:00	4/09/23 17:00	
2	Primera Reunión (DIRMIL)	1 day	5/09/23 8:00	5/09/23 17:00	
3	Planificación temporal	1 day	6/09/23 8:00	6/09/23 17:00	
4	Definición de objetivos	3 days	6/09/23 8:00	8/09/23 17:00	2
5	Redacción de la Memoria	36 days	11/09/23 8:00	31/10/23 17:00	4
6	Ánalisis y estudio del VRC...	7 days	4/09/23 8:00	12/09/23 17:00	
7	Ánalisis y estudio de los APS	8 days	8/09/23 8:00	19/09/23 17:00	
8	Segunda Reunión (DIRMIL)	1 day	8/09/23 8:00	8/09/23 17:00	
9	Tercera Reunión (DIRMIL)	1 day	15/09/23 8:00	15/09/23 17:00	
10	Depósito Propuesta TFG	1 day	22/09/23 8:00	22/09/23 17:00	
11	Encuesta	3 days	25/09/23 8:00	27/09/23 17:00	
12	Ánalisis Amenazas	6 days	28/09/23 8:00	6/10/23 17:00	11
13	Ánalisis Vulnerabilidades	8 days	9/10/23 8:00	18/10/23 17:00	12
14	Estudio de mercado	7 days	22/09/23 8:00	2/10/23 17:00	
15	Entrevista ETIENNE LACR...	1 day	2/10/23 8:00	2/10/23 17:00	
16	Comparativa APS	8 days	3/10/23 8:00	13/10/23 17:00	14
17	Conclusiones	3 days	19/10/23 8:00	23/10/23 17:00	13, 16
18	Despedida de la Unidad	1 day	11/10/23 8:00	11/10/23 17:00	
19	Reunión DIRACA	1 day	18/10/23 8:00	18/10/23 17:00	
20	Depósito de la Memoria	4 days	6/11/23 9:00	10/11/23 9:00	





Anexo II: Listado de APS en el mercado actual

Los APS que se han analizado durante la realización del Estudio de mercado, y que pueden ser de interés para conocer más en profundidad este sector de la Industria armamentística, son:

SOFT-KILL

- MUSS (Alemania)
- GALIX (Francia)
- VARTA (Pakistán)
- AN/VLQ-6 MCD (Estados Unidos)
- SARAB (Corea del Sur)
- ROSY (Alemania)
- SHTORA-1 (Polonia)
- MSSG (Rusia)

HARD-KILL

- AMAP-ADS (Alemania)
- STRIKE SHIELD (Alemania)
- IRON FIST (Israel)
- TROPHY (Israel)
- AKKOR (Turquía)
- PULAT (Turquía)
- AFGANIT (Rusia)
- ARENA (Rusia)
- DROZD (Rusia)
- GL5 (China)
- ZASLON (Ucrania)
- LEDS-150 (Suecia)
- KAPS (Corea del Sur)
- IRON CURTAIN (Estados Unidos)
- QUICK KILL (Estados Unidos)



ANEXO III: Sistema GALIX

-Tipo: Soft-kill

-País: FRANCIA

-Empresa fabricante: ETIENNE LACROIX GROUP

-Amenazas objetivo: Misiles guiados contra carro (ATGM), telémetros láser, munición guiada por láser

-Contramedidas: lanzadores de 80 mm, dependiendo del modo de empleo elegido se emplean:

- 6 u 8 tubos lanzadores (sistema manual/autónomo)
- 12 tubos lanzadores (sistema automático)
- 24 tubos lanzadores (sistema automático/conectado)

Posee 7 tipos de munición, permiten el enmascaramiento multibanda eficaz en el dominio visible e infrarrojo (guiado de misiles, láseres, cámaras térmicas, etc.). También existe munición de neutralización de personal que incapacita instantáneamente al personal situado cerca del vehículo. Por último, oferta capacidades policiales como munición con efecto letal reducido para establecer un perímetro de protección o limpieza de multitudes.

-Sensores: posee 4 detectores de iluminación láser situados alrededor del vehículo. Se puede montar un quinto sensor para amenazas aéreas. Estos permiten la interoperabilidad con otro tipo de sensores como, por ejemplo, los acústicos.

-Modos de funcionamiento:

- Manual
- Automática
- Protección de grupo de vehículos: los lanzadores pueden utilizarse para la protección de otros vehículos del área circundante.

-Integrado con BMS: Sí, utilizando la versión Full Automatic System Control Unit (FASCU)

- Cobertura angular:

- Azimut: 360°
- Elevación: solo dimensión terrestre

-Funcionamiento del sistema: cuenta con tres versiones, Basis System Control unit (BSCU), Basic Automatic System Control Unit (BASCU) y Fully Automatic System Control Unit (FASCU).

Como indican los nombres, se trata del modo manual, el automático y una ampliación del automático. En el caso del funcionamiento BASCU y FASCU, cuando los sensores detectan que el vehículo está siendo apuntado por un láser, se activan automáticamente los lanzadores (en menos de un segundo) y se genera una pantalla de humo a una distancia de 30 a 50 metros. La duración de la contramedida va de los 40 a los 120 segundos según los efectos de la munición seleccionada. También puede lanzar seíuelos IR que desvían la trayectoria de los ATGM influyendo en sus buscadores IR.



Además de las contramedidas, tiene la capacidad de apuntar la torre del vehículo automáticamente hacia la amenaza, y se pueden interconectar sistemas de diferentes vehículos para pasar la información de unos a otros, permitiendo una respuesta grupal a una amenaza concreta.

-Vehículos en los que está instalado:

- Main Battle Tank Leclerc; Francia
- VRCC 8x8 Centauro Italia
- Main Battle Tank Ariete Italia
- Main Battle Tank Leopard 2 (Stridsvagn 122) Suecia
- AFV CV 190 Suecia



Figura 21: Vehículo utilizando contramedidas GALIX. Fuente: Etienne Lacroix



Figura 22: Protección en grupo utilizando el APS GALIX. Fuente: Etienne Lacroix



ANEXO IV: Sistema SHTORA-1

-Tipo: Soft-kill

-País: RUSSIA

-Empresa fabricante: ELECTRONINTORG OF RUSSIA

-Amenazas objetivo: Misiles guiados contra carro (ATGM) tipo SACLOS (Semi-Automatic Command to Line of Sight), munición guiada por láser (designadores láser), telémetros láser.

-Contramedidas: 12 lanzadores de 81mm y 2 estaciones de interfaz electroópticas/infrarrojas (IR) que emiten interferencias IR.

-Sensores: 4 detectores de iluminación láser (2 de precisión y 2 gruesos).

-Modos de funcionamiento:

- Manual
- Semiautomático
- Automático

-Integrado con BMS: No

- Cobertura angular:

- Azimut: 360°
- Elevación: de -5° a 25°

-Peso: de 65 a 150 kg.

-Usos en combate: Sí, Primera Guerra Chechena (1994-1996), Segunda Guerra Chechena (1999-2009), Guerra Russo-georgiana (2008), Guerra Civil Siria (2011-presente), Guerra de Ucrania (2022-presente).

-Funcionamiento del sistema: El SHTORA-1 cuenta con dos funciones de combate.

En la primera función de combate actúa contra los ATGM guiados por infrarrojos. Detecta la amenaza, alinea la torre del vehículo con el ATGM entrante y utiliza los dos emisores IR para perturbar el sistema de guiado de la amenaza [11]. Su funcionamiento consiste en la exposición de un punto caliente que confunde a la guía del misil y hace que siga dicho punto en lugar de seguir al vehículo. Esto resulta en correcciones erróneas en la trayectoria del ATGM.

La segunda función de combate del sistema hace frente a las armas guiadas por láser. Cuando se detecta un láser, el SHTORA informa a la tripulación a través de luces y sonidos. A continuación, se activan los lanzadores de granadas de humo necesarios para la ocultación del vehículo. La nube de humo persiste, como mínimo, 20 segundos. El jefe del carro cuenta con un pulsador que hace girar el frontal de la torre hacia el ATGM entrante para enfrentarle con la parte con mayor protección de blindaje y para apuntar a la amenaza en caso de ser otro carro usando el telémetro láser.

-Vehículos en los que está instalado:

- Main Battle Tank T-90 y T-90S usados en Rusia, Argelia y Siria
- Main Battle Tank T-72B y T-72M1 de Rusia.



ANEXO V: Sistema Rosy

-Tipo: Soft-kill

-País: ALEMANIA

-Empresa fabricante: RHEINMETALL DEFENSE

-Amenazas objetivo: Misiles guiados contra carro (ATGM) tipo SACLOS (Semi-Automatic Command to Line of Sight), munición guiada por designadores y telémetros láser.

-Contramedidas: 5 lanzadores de 40mm dispuestos en unos paneles planos, llamados placas, capaces de unirse en grupos de 3.

-Sensores: Puede incorporar diversos sensores interoperables: receptores láser, radar, cámaras diurnas, cámaras térmicas o sensores acústicos, entre otros.

-Modos de funcionamiento: Posee dos modos de funcionamiento:

- ROSY_L (Land): formado por un módulo de control y hasta 4 lanzadores con 3 posibles configuraciones (uno, dos o tres cargadores cada uno). Está pensado para configuraciones básicas que pueden poner a disposición hasta 60 granadas de 40mm.
- ROSY_Mod (Modular): conformada por lanzadores independientes con la finalidad de reducir el peso del sistema. Puede montarse también sin lanzadores. Está fabricado para vehículos con torre de control remoto.

-Integrado con BMS: No

- Cobertura angular:

- Azimut: 360º
- Elevación: solo dimensión terrestre

-Uso en combate: No

-Funcionamiento del sistema: Desarrollado para permitir a la tripulación actuar en escenarios dinámicos creando una cortina de humo en la línea de visión. El sistema reacciona automáticamente frente a una amenaza en 0.4 segundos. Lo hace desplegando una pantalla de humo que oculta completamente al carro en menos de 1 segundo [11]. La duración mínima de la contramedida es de 15 segundos.

-Vehículos en los que está instalado:

- VAMTAC de Portugal y España (VMOE)
- VLOE (Vehículo Ligero de Operaciones Especiales) NETON España
- LTV Bélgica

-El ROSY en España: este sistema comenzó a ser desplegado por las Fuerzas Armadas españolas en 2018, cuando el Mando de Operaciones Especiales lo integró en el VAMTAC configurado como Vehículo Medio de Operaciones Especiales (VMOE). Se está estudiando su integración en el Vehículo Ligero de Operaciones Especiales (VLOE) y en el nuevo vehículo de combate sobre ruedas 8x8 “Dragón”.



Anexo VI: Sistema MUSS (Multifunction Self-Protection System)

Tipo: Soft-kill

-País: ALEMANIA

-Empresa fabricante: HENSOLDT

-Amenazas objetivo: Misiles guiados contra carro (ATGM) tipo SACLOS (Semi-Automatic Command to Line of Sight), munición guiada por láser (designadores láser), telémetros láser.

-Contramedidas: 8 lanza fumígenos multiespectrales de calibre 76mm. Perturbador IR MUSS Jammer Head (MJH) situado sobre una cabeza giratoria.

-Sensores: MUSS Sensors Head (MSH), varias cajas con sensores láser y de luz UV diseñados para la detección de misiles.

-Modos de funcionamiento:

- Manual
- Semiautomático
- Automático

-Integrado con BMS: Sí

-Cobertura angular:

- Azimut: 360º (95º por cada sensor instalado)
- Elevación: 70º

-Peso: de 65 a 150 kg

-Funcionamiento del sistema: El MUSS rastrea constantemente el entorno y, si los sensores MSH encuentran alguna amenaza, se transmite la información al grupo electrónico central para que se realicen los cálculos pertinentes. Se comunican a la tripulación la dirección de la amenaza y otros parámetros.

Si el sistema está en el modo automático, primero el MJH (perturbador IR) se orienta hacia el origen de la amenaza (a diferencia de otros sistemas, este consta únicamente de una cabeza rotatoria, por lo que no se necesita orientar la torre entera). Mediante su irradiación IR confunde la guía del misil evitando que alcance el vehículo. Si no es efectivo, se activan de manera automática los lanzadores fumígenos y se crea una pantalla protectora de humo para ocultar al vehículo.

El tiempo de respuesta del sistema oscila entre los 1 y 1.5 segundos, y las granadas fumígenas se dispersa a una distancia de 20 metros, pudiendo ser activadas de manera manual por la tripulación.

-Vehículos en los que está instalado:

- AFV PUMA usado en Alemania
- Probado en un Leopard 2 A5



Anexo VII: Sistema TROPHY RAFAEL

-Tipo: Hard-kill

-País: ISRAEL

-Empresa fabricante: RAFAEL ADVANCED DEFENSE SYSTEMS

-Amenazas objetivo: Misiles guiados contra carro (ATGM), ATR, misiles de ataque vertical (como el JAVELIN), proyectiles de Energía Química (HEAT).

-Contramedidas: posee 2 lanzadores de MEFP (Minimum Expected Fragmentation Point), con posibilidad de dotar de medidas soft-kill.

-Sensores: 4 radares Winguard (de Aerospace Industries) en la banda F/G. Además, se puede dotar de un sensor electroóptico de IR.

-Capacidad de recarga: Sí, 3 veces por lanzador

-Integrado con BMS: Sí

- Cobertura angular:

- Azimut: 360°
- Elevación: aproximadamente 60°

-Peso: 820 kg (TROPHY HV), 480 kg (TROPHY MV/VPS)

-Uso en combate: Sí, probado en combate de manera satisfactoria mostrando una tasa de éxito muy elevada [11]. No se ha reportado, hasta la fecha, que ningún vehículo dotado con este sistema haya recibido un impacto en el campo de batalla.

Se ha notificado su uso en los conflictos en la Franja de Gaza (en vehículos israelíes como el Merkava IV), en conflictos al norte de Israel (demostrando su efectividad contra amenazas antitanque), en la Guerra de Ucrania (instalado en algunos vehículos ucranianos para proteger sus medios blindados en la zona del Donbás contra ataques cohetes y misiles) y en incursiones de vehículos israelíes en Siria.

-Funcionamiento del sistema: Los sensores radar del TROPHY detectan y clasifican las distintas amenazas entrantes. Si se identifica positivamente la amenaza, el sistema ataca al misil entrante con un preciso disparo de MEFP: "Minimum Expected Fragmentation Point". Este término se relaciona con la detección y neutralización de las amenazas antes de que impacten contra el vehículo. El MEFP es el punto en el que se espera que un proyectil o un misil enemigo en vuelo alcance su punto de máxima fragmentación y, por tanto, cause el menor daño posible. De esta manera se pretende minimizar los daños a la tripulación y al vehículo.

Debido a su reducida dispersión tras la explosión, el MEFP tiene una zona de peligro reducida, lo que se traduce en pocos daños colaterales. La penetración residual tras la explosión de la amenaza es insignificante y solo existe un 1% de probabilidad de herir al personal desmontado por daños colaterales.

La precisión de estas contramedidas permite su uso en plataformas que operan junto a la Infantería. El tiempo de reacción está en el intervalo de 0.3 a 0.35 segundos.

-Vehículos en los que está instalado:

- Main Battle Tank Merkava III y IV
- APC Namer, de Israel



- Main Battle Tank M1 A2 de los Estados Unidos.
- Main Battle Tank LEOPARD 2 A6, Alemán.
- Main Battle Tank CHALLENGER 3, UK (en proceso fabricación FOC prevista en 2027).



Figura 23: Funcionamiento APS Trophy. Cobertura 360º en 3 dimensiones. Fuente: Empresa Rafael



ANEXO VIII: Sistema ARENA

-Tipo: Hard-kill

-País: RUSIA

-Empresa fabricante: KOLOMNA MACHINERY DESIGN BUREAU KMB

-Amenazas objetivo: Misiles guiados contra carro (ATGM), ATR, Proyectiles de energía Química (HEAT). La velocidad de la amenaza debe estar entre los 70 m/s y los 700 m/s.

-Contramedidas: 22 lanzadores con munición explosiva

-Sensores: radar multifuncional de efecto Doppler

-Capacidad de recarga: NIL

-Integrado con BMS: No

-Cobertura angular:

- Azimut: 220º-270º, No tiene cobertura parte trasera torre
- Elevación: -5º a +15º

-Peso: 1100 kg

-Uso en combate: NIL

-Funcionamiento del sistema: El radar envía información constantemente al ordenador digital, realiza barridos en forma de arco alrededor del vehículo en busca de amenazas. Cuando el radar encuentra alguna, el ordenador analiza a través de la velocidad y la dirección de la amenaza cuál de los 22 proyectiles de acción rápida del carro lanzará para interceptar la amenaza entrante. El ordenador central del sistema tiene un tiempo de reacción de 0.05 segundos, siendo capaz de detectar la amenaza, analizarla y hacerle frente con la contramedida en un tiempo total de 0.07 segundos [11].

El radar es capaz de detectar objetivos falsos como pueden ser proyectiles salientes, aves o munición de bajo calibre. El consumo del APS es inferior a 1KW y el volumen de los sistemas que se encuentran en su interior es inferior a 30 dm³.

Las contramedidas, de carácter explosivo, resultan peligrosas en el rango de 20-30 metros, y en el momento en el que hacen su efecto contra la amenaza asciende unos 1.5 metros en elevación. Las contramedidas de este APS generan muchos daños colaterales

-Vehículos en los que está instalado:

- MBT T-80 U Rusia
- AFV BMP-3 M Rusia



Figura 24: Sistema ARENA instalado en torre del T-72. Fuente: Análisis Militares



ANEXO IX: Sistema IRON FIST

-Tipo: Hard-kill

-País: ISRAEL

-Empresa fabricante: ELBIT SYSTEMS

-Amenazas objetivo: Misiles guiados contra carro (ATGM), proyectiles de energía Química (HEAT), ATR. Reduce la capacidad de penetración de los proyectiles Cinéticos (KE)

-Contramedidas: lanzadores de submunitiones explosivas

-Sensores: 4 sensores. Se combina la tecnología de cámaras IR y Radar.

-Capacidad de recarga: Sí, 2 veces por lanzador

-Integrado con BMS: Sí

- Cobertura angular:

- Azimut: 360°
- Elevación: aproximadamente 60°

-Peso: 250 kg

-Funcionamiento del sistema: Las amenazas entrantes son detectadas a través de un radar fijo en la torre (desarrollado por ELBIT SYSTEMS) y un detector pasivo que permite reducir las falsas amenazas.

Al usar cámaras IR para la detección, el sistema funciona de un modo “silencioso”, lo que implica que el radar pasivo está a la espera y no irradia, por lo que su detección por parte del enemigo no es posible puesto que reduce la huella electromagnética del vehículo. Cuando se detecta un lanzamiento, el radar se activa en milisegundos y transmite la información al sistema central para el seguimiento, clasificación y eliminación de la amenaza [11].

La neutralización del lanzamiento entrante se logra mediante el disparo y detonación de un interceptor explosivo que actúa a una distancia segura para el vehículo protegido (15 metros aproximadamente) y muy cerca de la amenaza. El IP (Impact Point) lo determina el sistema de control del APS en base a una amplia librería de datos experimentales que tiene cargada y que le permite ajustar los efectos de la explosión del interceptor al tipo de amenaza.

Los misiles ATGM se neutralizan sin activar su ojiva en las intercepciones y con los mínimos efectos residuales de la explosión. Con respecto a los proyectiles KE, se desvía su trayectoria a un ángulo que reduce considerablemente su letalidad, minimizando los daños en el blindaje del vehículo y, por tanto, su capacidad de penetración. Esto también reduce considerablemente los daños colaterales causados a los elementos a pie por los posibles fragmentos impulsados por la explosión.

-Vehículos en los que está instalado:

- AFV M2 Bradley de Estados Unidos
- AFV C-90 de Holanda.
- VCR 8X8 Eitan usado en Israel



ANEXO X: Sistema STRIKE SHIELD

-**Tipo:** Hard-kill

-**País:** ALEMANIA

-**Empresa fabricante:** RHEINMETALL

-**Amenazas objetivo:** Misiles guiados contra carro (ATGM), ATR y algún tipo de IED's

-**Contramedidas:** módulos de energía explosiva dirigida

-**Sensores:** cada módulo de los que se compone contiene un sensor electroóptico y un radar

-**Capacidad de recarga:** No. Los diferentes módulos se sitúan en el exterior del vehículo

-**Integrado con BMS:** No

- **Cobertura angular:**

- Los módulos se colocan alrededor del vehículo, y cubren las zonas en las que se instalan. Tanto en elevación como en azimut.

-**Peso:** de 100 kg a 1000 kg

-**Uso en combate:** NIL

-**Funcionamiento del sistema:** El diseño híbrido de STRIKE SHIELD está compuesto por diferentes módulos blindados que albergan el radar, el sensor electroóptico y las contramedidas del sistema. Los módulos se montan con diferentes orientaciones alrededor de la plataforma anfitriona para poder garantizar la mayor cobertura posible. También realiza los solapamientos de sector necesarios para derrotar eficazmente ataques múltiples y simultáneos. Además, el blindaje de los módulos aumenta por sí mismo la capacidad de supervivencia del sistema APS y de la plataforma sobre la que están instalados [11].

El procesador central determina tanto el tipo como la trayectoria de la amenaza entrante. Posteriormente, el módulo de contramedidas más cercano al IP calculado se activa para expulsar energía dirigida mediante una carga explosiva. Esta contramedida destruye o neutraliza la amenaza que se aproxima para que no penetre en la plataforma.

El diseño de STRIKE SHIELD posee un tiempo de reacción de, aproximadamente, 560 microsegundos. Esto permite derrotar fuego enemigo incluso cuando viene de distancias tan cercanas como 10 metros, como puede ocurrir en zonas urbanas con una densidad de edificios elevada.

-**Vehículos en los que está instalado:**

- AFV Lynx de Hungría



ANEXO XI: Sistema ZASLON

-**Tipo:** Hard-kill

-**País:** UCRANIA

-**Empresa fabricante:** MIKROTEK

-**Amenazas objetivo:** Misiles guiados contra carro (ATGM), ATR, Proyectiles de energía Química (HEAT)

-**Contramedidas:** lanzador de proyectiles de fragmentación explosivos en varios módulos que integra el radar. Repartidos alrededor del vehículo, 6 para cubrir los 360º

-**Sensores:** radar Doppler (X-BAND) que detecta amenazas en un intervalo de velocidades de 70 m/s a 1200 m/s

-**Capacidad de recarga:** No

-**Integrado con BMS:** NIL

- **Cobertura angular:**

- o Azimut: 150º a 180º (por cada módulo)
- o Elevación: entre -6º y 20º

-**Peso:** de 50 kg a 130 kg por módulo

-**Uso en combate:** NIL

-**Funcionamiento del sistema:** El sistema ZASLON está compuesto por varios módulos blindados individuales cuyo contenido es: el radar y la contramedida. Los diferentes módulos se instalan rodeando la plataforma para conseguir la cobertura completa de los 360º. Cuando un objetivo enemigo cruza el perímetro del radar a una velocidad de entre 70 y 1200 m/s se activan las contramedidas específicas que activan ese módulo. La amenaza se destruye mediante proyectiles de fragmentación en torno a 1.2 a 2.5 metros antes de que llegue al blindaje [11].

El tiempo de respuesta del sistema es de 0.01 a 0.6 milisegundos. El ZASLON se aplica por encima del blindaje base de la plataforma y tiene la capacidad de integrarse con blindaje reactivo para maximizar la protección de los carros de combate. Al utilizar cargas explosivas de fragmentación elevadas, el sistema requiere un rango de seguridad de aproximadamente 400 metros. Esto supone que, para que los elementos a pie puedan trabajar de manera segura cerca de la plataforma, la tripulación tiene que desactivar alguno de los módulos que cubren sectores cercanos a dichas unidades.



ANEXO XII: Encuesta

Valoración de las cualidades de los APS

Este formulario forma parte del Trabajo de Fin de Grado del Caballero Alférez Cadete Jose Revert Tormo. Se pretende conocer las características que más valoran los jinetes españoles de los Sistemas de Protección Activa (APS, por sus siglas en inglés) y las amenazas más peligrosas que existen contra el VRCC Centauro.

El cuestionario es voluntario y se realizará de forma anónima. Los resultados aparecerán analizados en el TFG.

Los APS "Hard Kill" y "Soft Kill" son tecnologías diseñadas para defender vehículos militares contra amenazas como misiles, proyectiles y otros tipos de ataque. Estos sistemas están hechos para interceptar y neutralizar las amenazas antes de que impacten en el vehículo. Los dos tipos de APS existentes son:

1. **APS Hard Kill (Detección y Neutralización)**: se enfoca en destruir o desviar físicamente las amenazas entrantes.
1. **APS Soft Kill (Distracción y Engaño)**: busca confundir o desorientar a las amenazas entrantes en lugar de destruirlas físicamente.

1. Empleo *

2. Unidad a la que pertenece * GCAC-R Numancia I/11

- GCLAC Reyes Católicos II
- GCLAC Santiago I/12
- GCAC Húsares de la Princesa II/4
- GCAC Almansa II/10
- GCAC Calatrava II/16
- GCAC Villaviciosa II/61
- GCL Sagunto I/8
- GCAC Cazadores de África I/3
- GCAC Taxdirt I/10



3. Valore del 1 al 5 la importancia que le da usted a cada característica del APS **SOFT-KILL:**

- 5: muy importante
- 4: importante
- 3: importancia media
- 2: poco importante
- 1: muy poco importante

	1	2	3	4	5
Amenaza a la que se hace frente	<input type="radio"/>				
Modos de funcionamiento	<input type="radio"/>				
Cobertura angular	<input type="radio"/>				
Tiempo de reacción	<input type="radio"/>				
Integración con el BMS	<input type="radio"/>				
Uso en ejércitos de referencia	<input type="radio"/>				

4. Valore del 1 al 5 la importancia que le da usted a cada característica del APS **HARD-KILL:**

- 5: muy importante
- 4: importante
- 3: importancia media
- 2: poco importante
- 1: muy poco importante

	1	2	3	4	5
Amenaza a la que se hace frente	<input type="radio"/>				
Capacidad de recarga	<input type="radio"/>				
Cobertura angular	<input type="radio"/>				
Tiempo de reacción	<input type="radio"/>				
Integración con el BMS	<input type="radio"/>				
Uso en ejércitos de referencia	<input type="radio"/>				
Uso probado en combate	<input type="radio"/>				
Daños colaterales	<input type="radio"/>				
Distancia de seguridad de uso	<input type="radio"/>				



5. Evalúe el nivel de peligrosidad que cree que tienen las siguientes amenazas contra los vehículos usados en la Caballería española.

- 5: muy peligrosa
- 4: peligrosa
- 3: peligrosidad media
- 2: poco peligrosa.
- 1: muy poco peligrosa

	1	2	3	4	5
Lanzagranadas contra carro	<input type="radio"/>				
Misiles contra carro (ATGM)	<input type="radio"/>				
Proyectiles tiro tenso bajo/medio calibre	<input type="radio"/>				
Proyectiles tiro tenso gran calibre: KE	<input type="radio"/>				
Proyectiles tiro tenso gran calibre: HEAT	<input type="radio"/>				
Municiones: Artillería y mortero	<input type="radio"/>				
Drones suicidas	<input type="radio"/>				



ANEXO XIII: Partes interesadas en el resultado del presente TFG

En este ANEXO se procede a identificar a los stakeholders de los futuros proyectos que pueden surgir en base a este estudio, que son el conjunto de individuos u organizaciones involucradas en el proyecto y que pueden verse afectados por los objetivos de este [21]. Las posibles partes interesadas en la continuación de este proyecto y sus diferentes vías de estudio son:

- Unidades de Caballería del Ejército de Tierra, especialmente aquellas que tienen en plantilla el VRCC Centauro.
- Dirección General de Armamento y Material (DGAM) del Ministerio de Defensa (MINISDEF), concretamente una de sus vertientes orgánicas: la Subdirección General de Adquisiciones de Armamento y Material, encargada de realizar la administración y gestión económica de los programas de investigación, obtención y desarrollo, entre otras [5].
- Empresas de la Industria Española de Defensa, interesadas en las últimas actualizaciones de defensa para darse a conocer en los mercados exteriores [22].
- Empresas de la Industria Armamentística en su totalidad, puesto que la competencia en el sector Defensa requiere conocer y modernizar los sistemas que emplean los distintos países.
- Usuarios del VRCC Centauro, implicados de manera directa en el proyecto. En caso de implantar el APS, requieren formación en cuanto a uso táctico, mantenimiento y explotación de medios.
- Aliados de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) con los que España debe equipararse tanto a nivel tecnológico como en la capacidad de interoperabilidad que ofrecen sus sistemas.
- Potencias rivales: conjunto de FAS que pueden suponer una amenaza para la seguridad nacional.
- Grupos insurgentes o terroristas: organizaciones armadas cuyas intenciones maliciosas contra la nación pueden verse reflejadas en acciones violentas.

Tras la búsqueda y análisis de las diferentes partes interesadas en este trabajo, se ha realizado una matriz de poder-interés (Figura 25). Esta matriz es una herramienta de análisis utilizada para evaluar y clasificar dichas partes en función de dos factores clave: su poder o influencia y su interés por el proyecto en cuestión.

Dicha matriz, como se observa en la Figura 25, se divide en dos ejes. En el eje horizontal se representa el poder o la influencia que tiene una parte interesada sobre el proyecto. Esto es la capacidad de afectar positiva o negativamente al resultado del trabajo en cuestión. En el eje vertical aparece reflejado el interés que muestra esa parte interesada por conocer los resultados del trabajo.

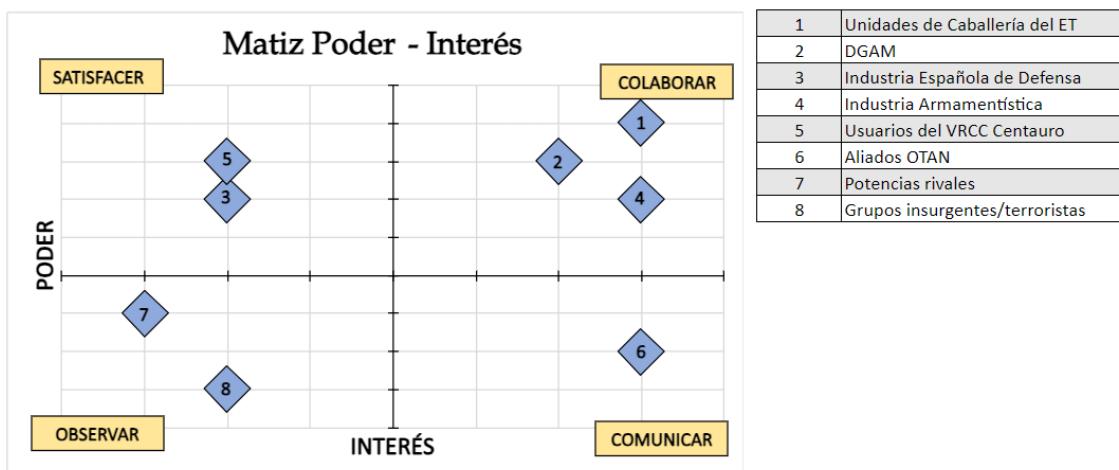


Figura 25: Matriz de Poder-Interés. Partes interesadas en las líneas futuras del TFG. Fuente: Elaboración propia

Con base en estas dos dimensiones, las partes interesadas se pueden clasificar en cuatro categorías:

- **Alto poder e interés:** son las partes interesadas más importantes y deben gestionarse de manera correcta ya que sus opiniones o acciones pueden tener un impacto significativo en el proyecto. En este caso se contemplan las unidades de Caballería españolas, la DGAM y la industria armamentística internacional.
- **Alto poder y bajo interés:** aunque estas partes pueden influir en el proyecto, lo hacen en menor medida. Es importante el mantenimiento de su interés mediante la comunicación de los resultados. En el caso de los APS se tienen los aliados OTAN, con la principal característica de requerir interoperabilidad con sus unidades.
- **Bajo poder y alto interés:** a pesar de tener una influencia limitada, estas partes muestran gran interés en el proyecto ya que los resultados pueden afectarles de manera directa. En el caso de la instalación de un APS en el VRCC Centauro, los propios usuarios son los mayores interesados, seguidos de la Industria Española de Defensa, que debe estar actualizada con la nueva información de mercado.
- **Bajo poder y bajo interés:** estos stakeholders requieren una mínima atención, limitada a la observación de sus acciones con respecto al trabajo en cuestión. En este gráfico se contemplan las potencias rivales y los grupos terroristas o insurgentes, los cuales no influyen de gran manera en la decisión y el interés que muestran por los resultados se limitan al conocimiento general.



ANEXO XIV: Origen y evolución de la tecnología láser en uso militar

En este apartado se explica brevemente la evolución de la tecnología militar respecto al uso del láser. El motivo por el que se habla de esta modernización es porque la mayoría de los APS usan como sensor principal el detector láser. Estos detectores alertan al sistema cuando son apuntados por cualquier tipo de láser, desde los usados en telemetría hasta los implementados en designadores láser o misiles anticarro.

Desde el primer láser con aplicación militar en telemetría construido por Theodore H. Maiman en Hughes Research Laboratories este tipo de tecnología ha sido objeto de estudio por sus aplicaciones bélicas [23]. El primer avance significativo surgió con la Iniciativa de Defensa Estratégica (SDI) sugerida por el presidente Ronald Reagan. La meta del SDI era interceptar misiles en vuelo mediante el uso de láseres. No se consiguió lograr el objetivo, pero fue la base para futuros estudios sobre armas de energía dirigida (DEW): artefacto o sistema de armas diseñado para neutralizar o eliminar un objetivo mediante la emisión de energía radiante altamente enfocada [24].

Actualmente, el empleo de medios láser es habitual en las Fuerzas Armadas, siendo la telemetría y la designación de objetivos los campos principales. Este tipo de dispositivos, sin embargo, no se consideran armas si su finalidad no es destruir material o dañar personal [24]. Por el contrario, un ejemplo de desarrollo de arma láser es el programa Excalibur de DARPA, en el que se trata de crear un láser de alto voltaje que permita causar daños funcionales y letales a una gran variedad de objetivos enemigos con una precisión quirúrgica [25].

Las principales ventajas que hacen atractivo el uso del láser como arma son: costo por disparo (frente al coste de un misil convencional), ahorran espacio, no tienen problemas de abastecimiento de munición (solo energético) y el efecto selectivo sobre el blanco (pocos daños colaterales). En cuanto a su uso como elemento de apoyo, la virtud por la que se caracterizan es la gran precisión que aportan. Dicha precisión permite que los usuarios del armamento cuenten con los datos exactos y necesarios para realizar los disparos aumentando la probabilidad de impacto sobre el enemigo y reduciendo los daños colaterales.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Defensa, Dirección General de Armamento y Material (DGAM), y T. e I. Subdirección General de Planificación, «Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa ETID-2020», 2020. [En línea]. Disponible en: <https://publicaciones.defensa.gob.es/>
- [2] Ejército de Tierra, «FUERZA 35», 2019.
- [3] M. Rajoy Brey y Presidencia del Gobierno, «Estrategia de Seguridad Nacional | Un proyecto compartido», 2013.
- [4] Ministerio de Defensa, «Revisión Estratégica de la Defensa», 2003.
- [5] Gobierno de España. Ministerio de Defensa y Coronel Efigenio Caminero Acero, «Subdirección General de Adquisiciones de Armamento y Material». Accedido: 23 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.defensa.gob.es/ministerio/organigrama/sedef/dgam/sdgdadquisiciones/>
- [6] J. Sancho Val, «Apuntes Oficina de Proyectos, Tema 4: Gestión del tiempo», Zaragoza, 2022.
- [7] M. Adrián Calderón, «Supervivencia de los vehículos de combate», INFANTERÍA.
- [8] J. F. MY ETCHEVERRY, «Las nuevas tecnologías en la guerra y la sorpresa. Principios de la Guerra», 2019.
- [9] Ministerio de Ciencia e Innovación, «Blindaje Pasivo».
- [10] V. Traperlo Morales, «Sistema de protección pasiva para carros de combate. Trabajo de Fin de Grado.», 2018. [En línea]. Disponible en: <http://zaguan.unizar.es>
- [11] Ministerio de Defensa y Mando de Adiestramiento y Doctrina, «ETTM 23/01 - SISTEMAS DE PROTECCIÓN ACTIVA EN VEHÍCULOS ACORAZADOS», 2023.
- [12] L. Yang y J. Xu, «Analysis on the development of active protection system for tanks and armored vehicles», en *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, abr. 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1855/1/012034.
- [13] M. Hanifudin Al Fadli, D. Gunawan, R. Oktovianus Bura, L. Nugroho, A. Fadli, y J. Pertahanan, «Design and Implementation of Anti-Tank Guided-Missile (ATGM) Control System using Semi-Automatic Command Line Of Sight (SACLOS) Method based on digital image processing.», vol. 7, n.º 2, pp. 217-231, 2021, doi: 10.33172/j.
- [14] Real Academia Española, «Lanzagranadas», Diccionario Histórico de la Lengua Española.
- [15] A. Poncela Martín, «Análisis del uso de sistemas de defensa activa en vehículos blindados. Trabajo de Fin de Grado», 2020. [En línea]. Disponible en: <http://zaguan.unizar.es>
- [16] Real Academia Española, «Vulnerabilidad», Diccionario de la Lengua Española.
- [17] L. Wong y J. T. Klamo, «Systems Engineering aproach to Ground Combat Vehicle Survability in Urban Oparations», 2016.
- [18] RHEINMETALL, «StrikeShield APS: Game Changing Modular Protection with Lower Risk of Detection», *Breaking DEFENSE*, sep. 2021.
- [19] Captain Tom J. Meyer, «Active Protective Systems: Impregnable Armor or Simply Enhanced Survivability? », 1998.
- [20] Bases de datos de derecho internacional humanitario, «Norma 44. Respeto del medio ambiente natural en la conducción de las operaciones militares».
- [21] Andriew L. Friedman y Samantha Miles, «Stakeholders: Theory and Practice», Oxford University Press, 2006.



- [22] Ministerio de Defensa, «Catálogo: Industria Española de Defensa», *Catálogo de Publicaciones de Defensa*, vol. 5, abr. 2023.
- [23] «Historia de la tecnología láser», Universal Laser Systems Company.
- [24] J. C. Perez Arrieu, «Armas de energía dirigida (DEWs)».
- [25] «EXCALIBUR», Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA).