



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Análisis de alternativas para minimizar la detección
térmica y visual del carro de combate Leopard 2E

Amr Taha Mohammad Alzaareer

Director académico: Dra. M. Teresa Lamelas Gracia

Director militar: Capitán. Rubén Melendo Utrilla
Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2022



Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi patria por haberme permitido tener una gran experiencia en mi vida, aprender una cultura e idioma nuevos y tener recuerdos que siempre se quedarán en mi mente.

En segundo lugar, agradezco a mis padres: Taha Alzaareer y Manal Alali que son los mejores de mi vida ahora y para siempre, gracias por todo su apoyo y gran esfuerzo, por aguantar la gran distancia que nos separó durante estos años. Agradezco a mi tutora académica M. Teresa Lamelas Gracia por la ayuda que me proporcionó para terminar este Trabajo Fin de Grado. También quiero agradecer a mi tutor militar Cap. Rubén Melendo Utrilla por la gran ayuda que siempre me proporcionaba durante las prácticas externas en el grupo de caballería Villaviciosa. Quiero darle las gracias a Pilar Cinca y su familia, los que considero mi familia española, por el apoyo continuo y la ayuda constante que me proporcionaron durante los años en la academia. No me olvido de darle las gracias, a mis compañeros Ahmad Alqadi y Khaled Aladwan por ser siempre la referencia que he cogido para poder llegar a finalizar la carrera.

Por último y no menos importante, quiero agradecer a todos los profesores del CUD que me ayudaron para llegar a esta fase de mi vida, también a todos mis amigos y compañeros de la academia y de fuera que siempre me animaban y me ayudaban para seguir adelante con mi carrera.



Amr Taha Alzaareer



RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal aumentar la operatividad de las unidades de caballería mediante la reducción de la firma térmica y visual del carro de combate LEOPARDO 2E. Para ello se ha realizado un análisis de sistemas que pueden ser instalados al carro de combate español. La motivación de este trabajo viene determinada por las misiones principales que realiza el arma de caballería, de las cuales se puede mencionar el reconocimiento y la seguridad, donde la libertad de acción y el factor sorpresa son claves del éxito para cumplirlas. Para poder cubrir esos dos factores, las unidades de caballería no deben ser detectadas por el adversario.

Como todos los ejércitos buscan siempre la revolución de sus medios para lograr el aprovechamiento máximo de estos, las unidades de caballería consideran necesario realizar un proyecto de adquisición de material similar a los que se han analizado en este trabajo ya que es necesario para el Ejército español.

Se han analizado cuatro sistemas que están en dotación en otros ejércitos y en los que es posible realizar estudios sobre las pruebas de eficacia. Además, se ha elegido para el análisis un material de aislamiento térmico que puede cumplir el objetivo de este trabajo de minimizar la firma térmica y visual propia del carro de combate del Ejército de Tierra español.

El autor ha usado varios tipos de herramientas para realizar este trabajo. En primer lugar, herramientas de recopilación de información como, por ejemplo, encuestas y entrevistas de personal con experiencia. También, se han usado herramientas de calidad como, por ejemplo, estudios del riesgo, análisis DAFO y análisis AHP para la comparación de las alternativas.

Los sistemas que fueron analizados durante este trabajo cumplen todos el objetivo principal de este trabajo. El análisis DAFO, análisis de riesgos y AHP determinan como mejor alternativa el sistema MCS. Aun así, la determinación futura de adquisición de un sistema para lograr la minimización de la firma térmica y visual de los vehículos del ET dependerá de varios factores, entre los cuales el más importante es el coste.

Palabras clave

Operatividad, misión, caballería, detención térmica, detección visual.



ABSTRACT

The main objective of the present work is to increase the operability of the cavalry units, for this an analysis has been carried out of systems that can be installed on the Spanish leopard 2E battle tank to minimize its thermal signature and, in turn, the visual signature. The motivation for this project is determined by the main missions carried out by the cavalry, of which recognition and security can be mentioned, where freedom of action and the surprise factor are key to the success of these missions. To maintain these two factors, cavalry units must not be detected by the adversary.

As all armies always seek the revolution of their means to achieve the maximum use of these, the cavalry units consider carrying out a material acquisition project like the ones that have been analyzed in this work that are necessary for the Spanish army.

Four systems have been chosen to be analyzed, the selection of the alternatives was based on looking for systems that are endowed in other armies and being able to carry out studies on the effectiveness tests, a thermal insulation material has also been chosen that can meet the objectives of this project to design a system that minimize the thermal and visual signature of the Spanish army.

The author has used various types of tools to carry out this work. First, information gathering tools such as surveys and interviews of experienced personnel. Also, quality tools have been used, such as risk studies, SWOT analysis and AHP analysis.

All the systems that were analyzed during this work fulfill the main objective of this work. The SWOT analysis, risk analysis and AHP determine the MCS system as the best alternative. Even so, the future acquisition of a system to achieve the minimization of the thermal and visual signature of the vehicles of the ET will depend on several factors, the most important the cost.

KEYWORDS

Operability, mission, cavalry, thermal detection, visual detection.



INDICE DE CONTENIDO

Agradecimientos	I
RESUMEN	III
<i>Palabras clave</i>	III
ABSTRACT	IV
KEYWORDS	IV
INDICE DE FIGURAS	VI
INDICE DE TABLAS	VI
ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS	VII
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	4
2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE.....	4
2.2 METODOLOGÍA.....	4
3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	7
3.1 Empleo del vehículo LEOPARDO 2E en acciones tácticas de caballería.....	7
3.2 Espectro electromagnético	7
3.3 Cámaras térmicas	8
4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS	9
4.1 Encuestas.....	11
4.2 Entrevistas Tácticas	11
4.3 Selección de alternativas, análisis DAFO y de riesgo.	11
4.3.1 MCS o el sistema de camuflaje barracuda.	11
4.3.2 ADAPTIV.	18
4.3.3 ULCAS.....	24
4.3.4 Material adicional usado en el ámbito civil.	28
4.4 Análisis AHP.....	31
5 CONCLUSIONES	36
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37



INDICE DE FIGURAS

Figura 1: firma en el infrarrojo visible y el térmico de carros blindados	1
Figura 2: protección del carro con sacos de arena	2
Figura 3: camuflaje mediante ramas de árboles	2
Figura 4: diagrama de Gantt del proyecto.....	3
Figura 5:Fases de análisis de riesgo	6
Figura 6:longitudes de ondas del espectro electromagnético.....	8
Figura 7: Etapas de funcionamiento de la cámara térmica.....	9
Figura 8: diagrama de flujo para plantear el proyecto.	10
Figura 9: Foto del MCS instalado en el carro de combate LEOPARDO.....	12
Figura 10: Vista con cámara térmica de un carro de combate con MCS (Parte 2) y sin él (parte1).....	13
Figura 11: Vista con cámara térmica de un carro de combate con MCS (izquierda) y sin él (derecha).....	13
Figura12: Sistema MINISAMSON	16
Figura 13: Vista del sistema ADAPTIV con sus componentes en la zona de tren rodaje de un caro.....	18
Figura 14: vista con cámara térmico de un blindado con el sistema ADAPTIV (izquierda) y sin él (derecho).....	18
Figura 15: Vehículo blindado con sistema encendido ADAPTIV (derecha) y apagado (izquierda).....	19
Figura 16: Vista de un blindado con el sistema ADAPTIV en funcionamiento del tercer modo.19	
Figura 17: Vista de la parte arriba de un carro de comabte con el sistema ADEPTIVE instalado.....	20
Figura 18: Vista lateral del carro LEOPARDO 2E con listado de sus componentes.....	22
Figura 19: Fotografía del sistema ULCAS desplegado en zona boscosa.....	24
Figura 20: Parte izquierda estación PC-PON instalado en un TOA, parte derecha puesto de mando principal instalado en dos TOA.....	25
Figura 21: Dos vista lateral del LEOPARDO 2E con triangulo, negro caliente (abajo) y blanco caliente(arriba).....	28
Figura 22: Vista lateral del LEOPARDO con Lana de roca (sin la capa de aluminio) en el tren rodaje.....	29
Figura 23: diagrama para el análisis AHP.....	32
Figura 24: Figura representa la evaluación de subcriterios.....	33
Figura 25: Figura que representa la pantalla de la aplicación en la que se presenta la matriz de importancia de criterios.....	33
Figura 26: Figura representa matriz de evaluar las alternativas según los criterios.....	34
Figura 27: figura representa la tabla final del análisis AHP.....	35

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Las longitudes de unas del espectro infrarrojo.....	9
Tabla 2: Análisis DAFO MCS.....	15
Tabla 3: Análisis del riesgo para el sistema MCS.....	17
Tabla 4:Análisis DAFO ADAPTIV.....	21
Tabla 5: Tabla de análisis de riesgo del ADAPTIV.....	23
Tabla 6:Análisis DAFO ULCAS.....	26
Tabla 7: tabla de análisis de riesgo para ULCAS.....	27
Tabla 8:Análisis DAFO lana de roca.....	30
Tabla 9: Tabla de importancia de criterios.....	32



Amr Taha Alzaareer

ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ERA: Explosive Reactive Armour.

ET: Ejército de Tierra.

C/C: Contra Carros.

ULCAS: Ultra-Lightweight Camouflage Screen.

TOA: Transporte Oruga Acorazado.

FAS: Fuerzas Armadas.

CUD: Centro Universitario de la Defensa



1 INTRODUCCIÓN

El invento de los carros de combate o vehículos blindados no es un acontecimiento nuevo, ya que varias naciones e imperios han utilizado vehículos similares desde hace muchos años, se pueden mencionar los griegos y el imperio romano. La idea general de este tipo de carros es poder tener libertad de acción y seguir el avance bajo fuego enemigo. A la hora de analizar la historia de los carros de combate se puede ver claramente que el periodo entreguerras es un punto de inflexión. Los vehículos blindados pasaron de ser un proyecto para analizar su utilidad en el futuro a una necesidad en el campo de batalla, no solo para lograr el éxito sino también para minimizar las pérdidas posibles (Fuentes, 2020).

La forma actual de los blindados es resultado de un avance tecnológico exponencial, que implica mejoras continuas y frecuentes. Una parte muy destacable de estas mejoras son los tipos y tecnologías de blindaje. La primera tecnología de blindaje diseñada estaba basada en el acero laminado, que en aquellas épocas iniciales mostró una eficiencia alta (Advanced armour steel, 2009).

Sin embargo, a medida que se avanzaba en la tecnología de proyectiles y misiles contra carros (C/C), como por ejemplo en la aparición de misiles tipo HEAT¹, se demostraba que este tipo de blindaje perdía efectividad. De esta manera, hubo que estudiar y buscar nuevas alternativas hasta llegar a los blindajes compuestos y reactivos, como por ejemplo el conocido como CHOBHAM² de procedencia británica. Además de por el desarrollo de nuevos misiles y proyectiles, las amenazas de los vehículos blindados han ido evolucionado, de manera que hoy en día este tipo de carros de combate está amenazado no solo por el hecho de recibir una carga explosiva, sino también por ser detectado por el adversario.

La detección de los medios de caballería está condicionada por su firma característica, que se clasifica según el tipo de radiación que emite dentro del espectro electromagnético. Lo más habitual de los carros de combate es ser identificados por su firma térmica, producida por la radiación del carro en el infrarrojo térmico (ver figura 1).

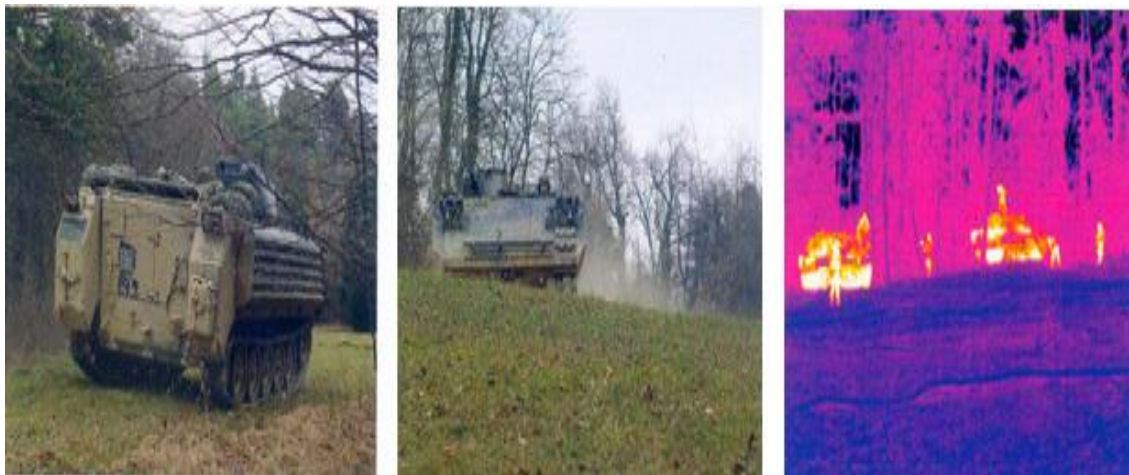


Figura 1: firma en el infrarrojo visible y el térmico de carros blindados

Fuente: <http://www.omicron-iniciativasempresariales.es/2.html>

¹ Una munición de alto poder explosivo anticarro, y también llamada de carga hueca, es un tipo de proyectil antiblindaje explosivo que utiliza el efecto Munroe para atravesar el grueso blindaje de un carro de combate

² Se compone de bloques de cerámica espaciados, contenidos por una matriz de la tela de resina entre las capas del blindaje convencional.



Para evitar ser detectado se han desarrollado diferentes medidas. La tripulación siempre ha de buscar maneras para proteger su propio carro, para poder realizar las acciones con el efecto sorpresa. Por ese motivo, se han desarrollado algunos tipos de blindajes improvisados, como por ejemplo llenar sacos de arena a fin de instalarlos en las zonas más débiles y detectables del carro (ver figura 2) o simular redes de camuflaje mediante troncos de árboles (ver figura 3). De estas ideas simples se ha derivado el concepto de blindaje modular o el blindaje adicional.



Figura 2: protección del carro con sacos de arena

Fuente:

<http://worldofarmorv2.blogspot.com/2016/12/la-carrera-de-la-proteccion-contra-la.html>.

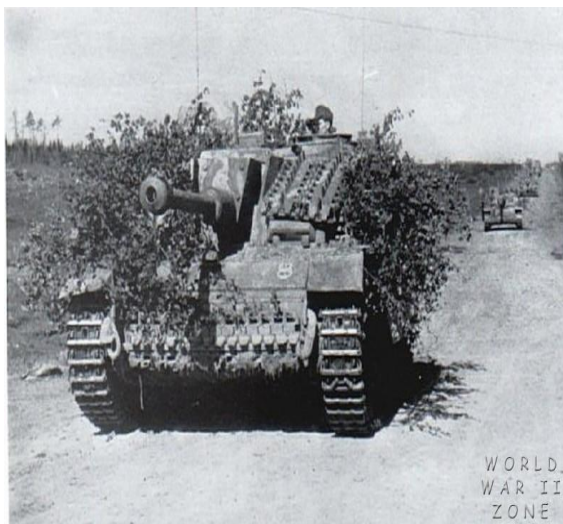


Figura 3: camuflaje mediante ramas de árboles

Fuente:

<https://www.heresybrush.com/2020/como-hacer-camuflaje-de-follaje-para-tanques-en-15mm/>.

Según el manual del combate de caballería(MADOC,2021), la detección ha cobrado tal importancia que es de destacar que la primera medida del ciclo de supervivencia del carro es “evitar ser detectado por parte del enemigo”. Esta medida es lo primero que se enseña al personal que ingresa a las unidades de caballería, ya que se considera un concepto básico para que, en el futuro, la tripulación esté concienciada en la búsqueda de medidas y posiciones en las que no sea detectable el carro.

La visualización del carro de combate en las cámaras térmicas que puede llevar el enemigo disminuye la posibilidad de maniobrar bajo posibles fuegos. La detección térmica, por tanto, se ha convertido en una vulnerabilidad porque hoy en día la mayoría de los carros de combate y vehículos blindados, incluso fuerzas ligeras, cuentan con medios de visión térmica. Como conclusión de lo anterior se puede deducir que, encontrar una medida que disminuya la probabilidad de la detección térmica, y a su vez visual, tendrá un alto impacto en la operatividad de las unidades de caballería.

El carro de combate LEOPARDO 2E utilizado por el Ejército español dispone de dos medidas para reducir su firma térmica y visual. La primera es una pintura especial que ha sido producida por la empresa española Barpimo. El producto tiene que cumplir la norma NME 2576, que describe las características que debe tener. Además, las características ópticas (cromaticidad, brillo y reflectancia) en el espectro visible e infrarrojo cercano que debe reunir el color caqui mate reflectante a la radiación infrarroja empleado por el Ejército de Tierra (ET) y los métodos de ensayo para su determinación están indicados en la norma NME 2499.

La segunda medida es la utilización de redes tácticas multispectrales 2D. En septiembre del 2021, el Ministerio de Defensa aprobó la compra de este material cuya función es aumentar la capacidad operativa de todas las unidades del ET en general. Como su propio nombre indica se trata de redes que cuentan con técnicas de camuflaje en los rangos del espectro visible,



ultravioleta e infrarrojo. Según el contrato de suministro, el ET dispondrá de este material entre los años 2022 y 2025. Este producto proporcionará seguridad táctica de pequeños elementos de la fuerza, como por ejemplo el pozo de tirador, asentamiento de morteros, piezas de artillería y, por último, vehículos blindados en estático. Sin embargo, este tipo de técnicas no está asociado directamente a unidades de caballería por el tipo de tareas que estas realizan, ya que la técnica de camuflaje apropiada para el arma de caballería ha de ser eficaz no sólo en estático, sino también en movimiento.

La estructura del trabajo se va a dividir en dos partes principales. La primera, consiste en una aproximación a los tipos de blindajes modulares y materiales adicionales que se encuentran en dotación en otros ejércitos diferentes al español. Además, se realizará una búsqueda de información sobre tipos de materiales que, aunque no hayan sido utilizados como una técnica de camuflaje térmico o visual en otros ejércitos, puedan servir para este propósito. La segunda parte se centrará en analizar la posibilidad de instalar los materiales encontrados en la primera parte del trabajo al carro de combate español LEOPARDO 2E.

Para la realizar de forma óptima estas dos partes del proyecto se han de incluir los siguientes cinco hitos (ver figura 4):

1. Hito 0: Lanzar el proyecto.
2. Hito 1: Justificar la motivación del proyecto mediante la realización de entrevistas y encuestas.
3. Hito 2: Búsqueda y recopilación de información sobre alternativas posibles para lograr el éxito del proyecto.
4. Hito 3: Realizar análisis de riesgo y análisis DAFO para las alternativas elegidas.
5. Hito 4: Tomar decisiones sobre cuál es la alternativa más compatible con el carro de combate LEOPARDO 2E. Se realiza análisis AHP para obtener una comprobación cuantitativa de las alternativas elegidas.

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA MINIMIZAR LA DETECCIÓN TÉRMICA Y VISUAL DEL CARRO DE COMBATE LEOPARDO 2E



Figura 4: diagrama de Gantt del proyecto.

Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar también que las tareas que se han elegido para completar el proyecto son de tipo (*Finsh to Start*)³ y (*Start to Start*)⁴ (Oficina de proyectos, 2021).

³ Una tarea no puede comenzar hasta que no finalice la tarea predecesora.

⁴ La tarea B no puede comenzar hasta que no haya comenzado la tarea A



2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo general de este trabajo es encontrar alternativas óptimas que minimicen la detección térmica y, a su vez, minimicen la detección visual del carro de combate LEOPARDO 2EL. La consecución de este objetivo permitirá aumentar la capacidad operativa de las Unidades de Caballería del ET.

Los objetivos específicos que permitirán alcanzar el objetivo principal son los siguientes:

- Estudiar la firma térmica y visual del carro y las características asociados a las mismas.
- Analizar el funcionamiento de las cámaras térmicas.
- Comprender el funcionamiento de los medios de detección térmica que permita la búsqueda y análisis de posibles alternativas.
- que cumplan el objetivo y la finalidad del trabajo
- Analizar la posibilidad de implementación de la alternativa seleccionada para ver cómo afecta a la capacidad técnica y táctica del carro de combate LEOPARDO 2E.

La finalidad última del trabajo es que sirva de referencia en el momento en el que se requiera un proyecto de adquisición de material para minimizar la detección térmica y visual del carro de combate.

2.2 METODOLOGÍA

En primer lugar, se ha realizado una encuesta para recopilar información sobre la motivación del proyecto, de manera que se han realizado una serie de preguntas para analizar si la detección térmica del carro de combate se considera una amenaza real y un inconveniente para cumplir las misiones de las unidades de caballería. Además, se han realizado una serie de preguntas para facilitar la búsqueda de las alternativas que se han analizado con posterioridad en el trabajo⁵. La muestra elegida para estas encuestas está compuesta, principalmente, por oficiales y suboficiales de carros de combate. El grupo donde el autor ha realizado las practicas externas cuenta con secciones heterogéneas, cada sección se compone por dos carros de combate y dos vehículos de exploración de caballería (VEC). Además de la cuadra de mando, se ha encuestado a la tripulación que ha pasado por el puesto de tirador, ya que este personal ha sido usuario de la cámara térmica que dispone el LEOPARDO 2E.

Con posterioridad se ha realizado una revisión bibliográfica de Trabajos Final de Grado de temática similar al trabajo actual, tanto en el ámbito del Centro Universitario de la Defensa(CUD) de Zaragoza como de otras Universidades. Por una parte, se han revisado trabajos que tratan la operatividad del carro de combate, en otras palabras, orientados al ámbito táctico. Por otra parta, se han revisado trabajos que analizan el funcionamiento de los medios de detección térmica. Finalmente, se han revisado trabajos que analizan materiales usados el ámbito civil y no están empleados como técnicas de camuflaje, que podrían cumplir los objetivos del proyecto.

Con el objetivo de evaluar el proyecto desde el punto de vista del usuario que emplea el carro de combate en acciones y ejercicios tácticos, se han realizado unas entrevistas tácticas que se detallan a continuación:

1. Entrevista al sargento primero José Manuel Martín Moreno, jefe del simulador de tiro (STO). Como el sargento primero es cualificado del curso de instructor avanzado de tiro (IAT), dispone de un rango de información relativamente amplio respecto a la detección y la firma térmicas del carro LEOPARDO 2E.

2. Entrevista al brigada Luis Miguel Álvarez De Lomo, que se encuentra destinado en el S-

⁵ En el Anexo 1 se pueden consultar las preguntas de la encuesta.



3 del grupo, dispone del curso de instructor avanzado de tiro (IAT), así como una experiencia de 16 años destinado en unidades de carros de combate. El brigada De Lomo se considera una referencia en el estudio de carros en la base militar Empecinado. El motivo de esta entrevista fue analizar la situación actual del carro LEOPARDO 2E respecto al tema de radiación infrarroja. La entrevista sirvió también para recopilar información sobre una de las alternativas analizada en el trabajo.

Las preguntas realizadas en las dos entrevistas fueron:

- a. ¿Cómo define usted la firma térmica en el ámbito militar?
- b. ¿Cree usted que la firma térmica del LEOPARDO 2E es muy detectable por las cámaras térmicas de otros carros? en caso afirmativo ¿Por qué?
- c. ¿Cómo afecta la detección térmica de un carro de combate a la hora de ser objetivo para el tiro, siendo usted instructor de tiro avanzado?
- d. ¿Cree usted que desarrollar un proyecto para minimizar la firma térmica del carro es esencial hoy en día?
- e. ¿Conoce usted un sistema existe en servicio que cumpla el objetivo de este proyecto?

Con el objetivo de evaluar las alternativas analizadas en este trabajo desde el punto de vista del personal encargado de tareas técnicas del carro, se han realizado las siguientes entrevistas técnicas:

1. entrevista con el cabo primero Enrique Casado Legido. El cabo primero entrevistado se encuentra destinado en el taller del segundo escalón de mantenimiento del grupo Villaviciosa, perteneciendo a la sección de mantenimiento del escuadrón de plana mayor y servicio. En esta entrevista el autor hizo una presentación de las alternativas elegidas para analizar es este trabajo.

2. Entrevista al teniente ingeniero politécnico Alejandro García Bleda, que se encuentra destinado en la agrupación de apoyo logístico número 61. El teniente pertenece al tercer escalón de mantenimiento de la base Empecinado.

Cabe destacar también que el autor hizo una presentación de las alternativas elegidas para el análisis antes de cada entrevista,

En este tipo de entrevistas se han realizado las siguientes preguntas:

- a. Después de que usted ha visto las alternativas ¿qué riesgos se pueden producir a la hora de implementar cada alternativa?
- b. Como usted está destinado en el núcleo de mantenimiento ¿cómo afecta cada alternativa a las tareas de mantenimiento realizados por el usuario (primer escalón)?
- c. Esta pregunta fue relacionada con el material adicional usado en el ámbito civil como medidas de aislamiento térmico. ¿Cuál son las posibles metodologías para instalar este tipo de material al carro de combate LEOPARDO 2E?

Con objeto de evaluar las alternativas para posteriormente tomar la mejor decisión se ha llevado a cabo un análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (DAFO) (Infoautónomos, 2021).Un propósito adicional de este análisis es el analizar los riesgos que pueden surgir al implementar cada alternativa.

El análisis DAFO se divide en dos bloques; interno y externo. La parte interna cuenta con las fortalezas y debilidades de las alternativas. A la hora de recopilar información relacionados con la parte interna se debe hacer la pregunta, ¿qué ventajas tiene la alternativa para poder adquirirla en el futuro? Al contrario, también se debe hacer la pregunta, ¿qué desventajas tiene la alternativa para no adquirirla? Por otro lado, en la parte externa se analizan las amenazas y oportunidades. Los factores externos pueden tener efecto directo o indirecto en el proyecto. Se trata de acontecimientos actuales o futuros que pueden afectar de forma negativa y positivamente después de haber lanzado el proyecto de adquisición de la alternativa más adecuada (González, 2021)



Además de las herramientas mencionadas anteriormente, se va a realizar un estudio de riesgo para cada alternativa. El proceso de analizar los riesgos tiene varias fases consecutivas a realizar. No obstante, al realizar todas las etapas se llega a un plan de los riesgos negativos, que pueden tener gran impacto en el funcionamiento táctico y técnico, y como resultado del anterior se puede planear planes de contingencia para actuar en caso de suceder algún riesgo de los identificados anteriormente. Como el presente trabajo lleva a cabo un análisis de alternativas, el autor focalizó el estudio de riesgo en las fases de identificación y evaluación del riesgo (ver figura 5).



Figura 5:Fases de análisis de riesgo

Fuente: <https://biddown.com/risk-management-en-compras/>.

Para la realización de este trabajo se ha decido llevar a cabo este estudio usando la plantilla vista en la asignatura oficina de proyectos, la cual se da durante cuarto curso de su formación en el CUD, sito en la Academia General Militar⁶. (oficina de proyectos, 2021)

Para evaluar las alternativas, también se ha utilizado la metodología de evaluación multicriterio de jerarquías analíticas, *Analytical Hierarchy Process* (AHP), que facilita la toma de decisión sobre la solución más eficiente basándose en criterios que han sido priorizados y jerarquizados por expertos. Esta metodología se utiliza cuando la organización se enfrenta a varias alternativas a elegir. Además de la necesidad de tener priorización entre las opciones disponibles, AHP da la capacidad de evaluar aspectos cualitativos y cuantitativos. (Yepes, 2008).

Este método sigue cuatro etapas. Primero, se representa gráficamente el problema a través

⁶ En el Anexo 2 se puede consultarla plantilla para evaluar el riesgo.



de un diagrama de árbol donde se interrelacionan los distintos niveles: objetivo, criterios, subcriterios y alternativas. En segundo lugar, los expertos evalúan los criterios y subcriterios por pares asignando un valor a la importancia con respecto a la escala de Saaty (SAATY, 1977). Esta utiliza solo los números naturales impares hasta el 9, siendo el 1 la mínima valoración y 9 la máxima. Así, se obtienen los pesos e índices de valoración a través de operaciones matriciales y vectoriales con las distintas evaluaciones de los expertos. Con este paso, se calcula la Razón de Inconsistencia (RI), indicador del grado de incoherencia de las valoraciones de los expertos, que debe ser menor de 0,1 para que estas sean coherentes y rigurosas. En tercer lugar, se evalúan las alternativas por el mismo procedimiento. Finalmente, se trasladan todos los datos calculados a una matriz de decisión, se ponderan las evaluaciones con los pesos obtenidos y se consigue la jerarquización de las alternativas en base a un índice absoluto. El resultado es una matriz que ofrece visualmente un desglose de las alternativas por criterios y subcriterios, lo que permite un análisis más rápido y eficaz de estas (Yepes, 2008).

3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

3.1 Empleo del vehículo LEOPARDO 2E en acciones tácticas de caballería

Existen principalmente dos formas de emplear el carro de combate en las acciones tácticas de caballería. Estas acciones tienen un comportamiento diferente en las firmas térmicas del carro que es importante analizar para una mejor selección de la alternativa más adecuada. En el arma de caballería los vehículos blindados se emplean principalmente en los siguientes tipos de acciones:

1. Acciones de caballería en movimiento:

Las unidades de caballería realizan varios tipos de acciones en movimiento, de estos se pueden mencionar: misiones de reconocimiento (reconocimiento de itinerario, punto, zona, zonas urbanas) (ACAB-TA-009, 2019). También las acciones ofensivas, como por ejemplo una maniobra envolvente.

El carro de combate en este tipo de misiones despide más calor, de manera que para cumplir dichas tareas el carro produce una potencia enorme. Las partes que más despiden calor son: el motor, el tubo de escape, el tren de rodaje y la zona donde se encuentra la tripulación del carro⁷. Y en caso de realizar tiro se añade el tubo del cañón. Por lo tanto, la probabilidad de ser detectado por las cámaras térmicas enemigas es alta.

2. Acciones de caballería en estático:

Son acciones tácticas que se realizan cuando las unidades de caballería se encuentran en parado. Las acciones defensivas son ejemplos de este tipo (ACAB-TA-009, 2019). En este tipo de misión, la radiación infrarroja térmica del carro depende de la energía absorbida por el carro durante el día, de tal manera que cuando empieza a bajar la temperatura el carro empieza perder dicha energía despidiendo rayos infrarrojos.

3.2 Espectro electromagnético

Antes de empezar el análisis de las alternativas elegidas para el trabajo, se va a introducir brevemente el espectro electromagnético, profundizando en la radiación en el infrarrojo térmico y en el espectro visible. El espectro electromagnético se define como la gama completa de las longitudes de ondas electromagnéticas (López, 2016). Este tipo de ondas se caracteriza principalmente por su capacidad de propagar en el vacío, sin necesidad de un medio.

El actual trabajo se centra en las ondas de la región visible y la infrarroja térmica (IR), debido a que la detección del carro se producirá cuando el adversario capta las ondas que pertenecen a estas regiones (ver figura 6).

⁷ Anexo 3, figura 1 a 7.

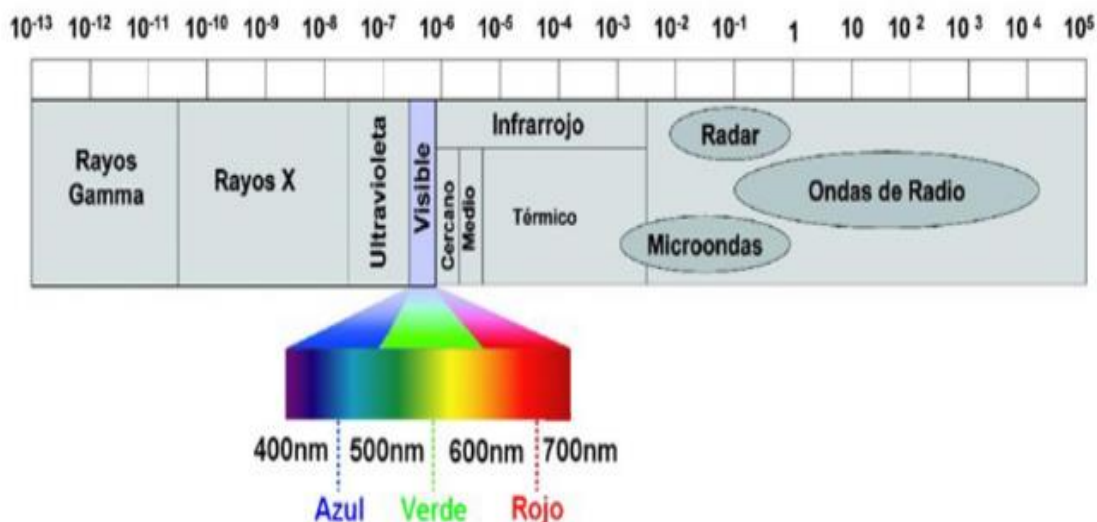


Figura 6: longitudes de ondas del espectro electromagnético.

Fuente: (Costilla Sanz, 2017, p. 18)

Los objetos que tienen temperaturas superiores de cero grados kelvin (-273,15 grados Celsius) despiden calor, que define la radiación térmica (Manuel Talleo, 2021). Los carros de combate, la mayor parte del tiempo de funcionamiento, se encuentran por encima de dicha temperatura, debido al calor cedido por el grupo motor que tienen, así como por el calor absorbido durante el día.

3.3 Cámaras térmicas

Las cámaras térmicas se desarrollaron principalmente para usos militares (Rojas, 2020), pero con posterioridad esta tecnología se ha expandido y su uso ha formado parte importante en varios ámbitos industriales. Los medios de detección térmica se pueden definir como dispositivos eléctricos que capturan la energía térmica que pierden los objetos (en forma de ondas IR) y la convierten en imágenes normales (Alarmas y protección electrónica, 2015). Estos dispositivos muestran alta eficiencia debido a que:

- La mayoría de los objetos en el universo se encuentran a temperaturas superiores al cero kelvin (-273.15 grados Celsius), por lo tanto, emiten radiación IR de forma constante y son detectables por las cámaras térmicas.
- No dependen de las condiciones de iluminación en el entorno del objeto, por lo tanto, funcionan en la oscuridad.⁸
- Funcionan en ambiente de humo. El sistema que lanza humo que dispone el carro de combate no puede evitar la detección térmica.⁹
- Funcionan sin necesidad de tener contacto físico con los objetivos.

Cabe destacar también que, encontrar el objeto que se desea detectar a una temperatura diferente a la que presenta el entorno (MADOC, 2000, p. 11) es un requisito necesario para que una cámara térmica funcione, independientemente de las condiciones de iluminación. Por lo tanto, estos medios presentan alta eficacia en el modo nocturno, ya que, durante el día, por el efecto de la luz solar, todos los objetos se encuentran a una temperatura parecida.

⁸ Anexo 3, figura 8.

⁹ Anexo 3, figura 9, 10.



Las cámaras térmicas cuentan con lentes, sensores y procesadores tecnológicos. La lente recibe la radiación IR y la canaliza a una matriz de sensores, cada sensor reacciona a la radiación IR enfocada sobre el mismo, dichas reacciones se convierten en una señal eléctrica. Luego el procesador tecnológico aplica procedimientos matemáticos para crear un mapa de temperaturas visible (una imagen digital)(TELEDYNE FLIR, 2020).

El rango de longitudes de ondas donde la mayoría de las cámaras térmicas funciona es aproximadamente entre 0,8 y 2 micrómetros. Es decir, la radiación infrarroja emitida por el objeto se sitúa en la mitad de la región del infrarrojo medio, a principios del lejano (ver tabla 1).

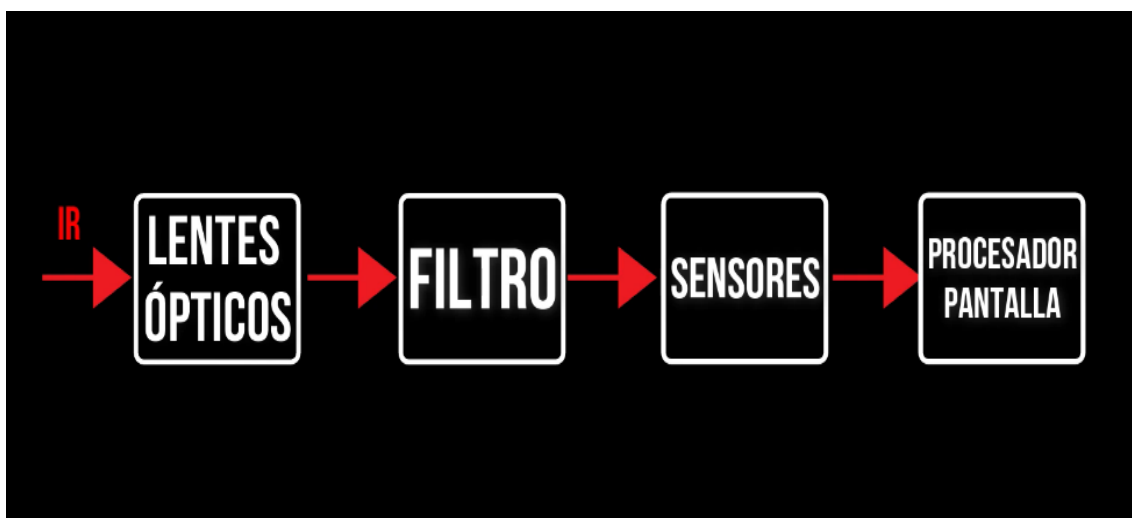


Figura 7: Etapas de funcionamiento de la cámara térmica.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1: Las longitudes de ondas del espectro infrarrojo.

Fuente: elaboración propia.

Regiones del infrarrojo	Longitud de onda
Cercano	0,76 μm hasta 1,4 μm
Medio	1,4 μm hasta 3 μm
Lejano	3 μm hasta 100 μm

4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS



En la figura número 8 se puede observar un diagrama de flujo que presenta el desarrollo del proyecto, mediante la cual se demuestran las herramientas usadas y en qué momento se han usado.

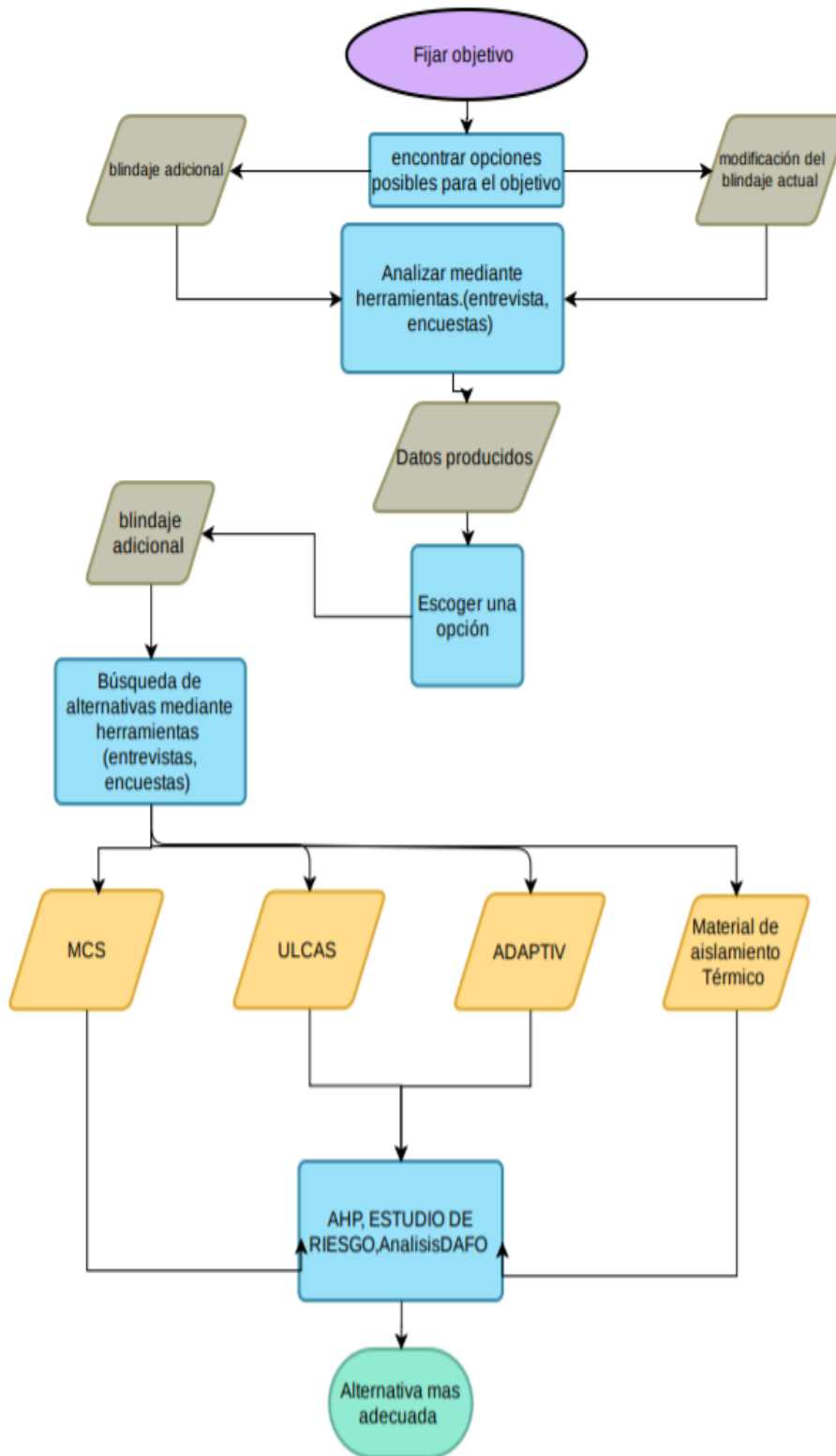


Figura 8: diagrama de flujo para plantear el proyecto.

Fuente: elaboración propia.



4.1 Encuestas.

La encuesta realizada tuvo dieciséis respuestas que corresponden al capitán jefe del escuadrón, tres tenientes, dos sargentos primeros, 10 sargentos (todos pertenecientes al grupo de caballería Villaviciosa), y por último un teniente que está de misión en el Líbano. Tras analizar las respuestas obtenidas se pueden extraer las siguientes conclusiones; la mayoría absoluta de los usuarios del carro de combate ven el proyecto como necesidad operativa para las unidades de caballería. Además, el 93.8 % de la muestra elegida confirma que las alternativas deben ser un tipo de blindaje adicional para el vehículo, y no una modificación de las propiedades del blindaje que lleva el LEOPARDO 2E en la actualidad. Por este motivo, el trabajo se ha focalizado en facilitar la búsqueda de materiales y técnicas de camuflaje multispectral (ver figura 8). Por otro lado, esta encuesta dio recomendaciones al autor sobre carros de combate de otros ejércitos llevan sistemas y alternativas que cumplan los objetivos de este trabajo. En concreto, seis personas de la muestra elegida respondieron a la pregunta relacionada con las alternativas en otros ejércitos, dos de ellos mencionaban el carro estadounidense M1 Abrams, el cual lleva el sistema MCS.¹⁰

4.2 Entrevistas Tácticas

Los resultados que se han obtenido tras realizar estas entrevistas fueron muy exitosos ya que se ha podido identificar la vulnerabilidad de la detección térmica y visual del carro, lo que determinó la motivación de este proyecto, dado que, el sargento primero Martín y el brigada De Lomo confirma que el proceso de adquisición de objetivos empieza, en la mayoría de los casos, por la detección del enemigo usando la cámara térmica. También, las personas entrevistadas han recomendado al autor las alternativas MCS y ADAPTIV. Además de lo anteriormente comentado, el autor ha sacado como conclusión que el blindaje actual de LEOPARDO 2E no se pudo ni analizar ni modificar, a causa de que la composición y la tipología del material de este carro es información clasificada. Por este motivo, se dirigió el proyecto a la búsqueda de blindajes adicionales para lograr el objetivo fijado.

4.3 Selección de alternativas, análisis DAFO y de riesgo.

El autor ha elegido cuatro alternativas para el análisis de este trabajo. Aunque hoy en día existen más opciones disponibles, las que se presentan son las más adecuadas para el carro de combate LEOPARDO 2E, que es el objeto de estudio del proyecto. Para ello se van a analizar las cuatro tecnologías de camuflaje multispectral que se describen a continuación y de las que se presenta el análisis DAFO y el estudio de riesgo. Por otra parte, se va a realizar una aplicación práctica de instalar material usado en el sector de construcción, especialmente para aislamiento térmico, y ver sus resultados en reducir la firma térmica y posteriormente analizar su capacidad de reducir la firma visual del carro de combate LEOPARDO 2E.

4.3.1 MCS o el sistema de camuflaje barracuda.

Descripción general del sistema

Se trata de un sistema fabricado por la empresa sueca SAAB y se encuentra en dotación en varios de ejércitos diferentes al español. El primer ejército que ha adquirido este sistema fue el estadounidense, el segundo regimiento de caballería, destinado en la ciudad alemana de Vilsbiburg. Dicho regimiento recibió las primeras muestras del sistema en mayo del año 2017 (Kalnins, 2017). Un año más tarde, el ejército británico adquirió el mismo sistema (Webinfomil, 2020). Recientemente, SAAB ha recibido un pedido de Alemania para instalar el MCS en el carro de combate LEOPARD 2A 7 entre los años 2018 y 2022. Finalmente, también se pueden mencionar a las fuerzas armadas de Dinamarca y Noruega entre los ejércitos que han adquirido este sistema.

¹⁰ En el Anexo 4 se pueden ver los resultados completos de las encuestas realizadas.



El MCS se ha tomado como alternativa para analizar y estudiar porque combina las dos finalidades de este trabajo. Así que esta alternativa dispone de la tecnología de camuflaje multiespectral, por lo cual disminuye la detección térmica, y a su vez se usa como medio de camuflaje normal, que disimula el carro de combate en el espectro visible, utilizando los colores de la naturaleza en las zonas en las que actúan las unidades de caballería.

El MCS es simplemente un chaleco de combate para el vehículo multipropósito, y además ajustable a cualquier tipo de plataforma, como por ejemplo carros, vehículos de combate o incluso vehículos ligeros. La finalidad del sistema es mejorar la supervivencia en el entorno de aplicación, lo que se considera actualmente un requisito operativo para el combate. Además, es remarcable que está diseñado para no perder el uso operativo o las características originales del vehículo, porque consta de paneles entrelazados y unidos al vehículo mediante una variedad de técnicas, ninguna de las cuales requiere modificación de los vehículos. El MCS fue desarrollado para convertirse en una solución óptima y flexible que ofreciera protección multiespectral contra la detección e identificación para vehículos y equipos (ver figura 9).



Figura 9: Foto del MCS instalado en el carro de combate LEOPARDO.

Fuente:(DEFENSA Y ARMAS, 2015)

Según la página web de empresa sueca SAAB (SAAB, 2021), el sistema MCS utiliza diferentes tipos de materiales que proporcionan capacidad de protección contra las onda del espectro radar, visual, infrarrojo cercano e infrarrojo térmico. También oscurece el objetivo y es capaz de engañar a las municiones inteligentes, por lo tanto, se considera como una ventaja táctica y operativa. El sistema MCS utiliza el sistema CoolCam, que reduce el calor acumulado por la luz solar, de manera que minimiza los efectos de la carga solar de forma pasiva, bajando la temperatura interior del vehículo. De este modo, también se crean mejores condiciones, tanto para el personal como para los equipos electrónicos.

En la figura 10 se presenta una foto en la que se muestra la diferencia en la firma térmica del carro de combate antes (parte 1) y después (parte 2) de instalar el sistema MCS de barracuda. Se puede observar como la foto se ha realizado en estado estático del carro lo que significa que el grupo motor no está puesto en funcionamiento. Aun así, la eficacia del sistema en este caso es relativamente alta, ya que elimina parcialmente la firma térmica del carro.



Figura 10: Vista con cámara térmica de un carro de combate con MCS (Parte 2) y sin él (parte1).

Fuente: <https://www.saab.com/products/mcs-mobile-camouflage-system>.

La figura 11 muestra otra vista de un carro de combate realizada con cámara térmicas de medios aéreos. En este caso, el carro de combate se encuentra en movimiento, ya que se puede observar cómo, en la imagen derecha de la figura, se identifica la parte trasera del carro, donde se encuentra instalado el grupo motor que desprende calor. De esta prueba se puede concluir que el sistema MCS barracuda muestra también cierta eficiencia cuando el vehículo funciona en movimiento. También se puede observar que su eficacia en movimiento es menor, en comparación con el estado estático.

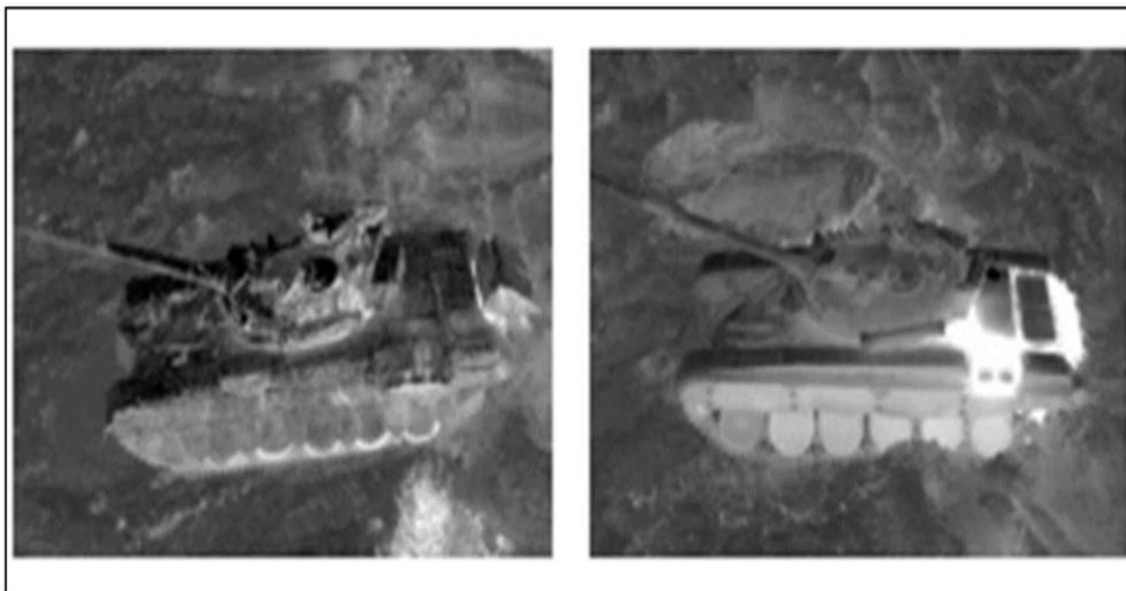


Figura 11: Vista con cámara térmica de un carro de combate con MCS (izquierda) y sin él (derecha).

Fuente: (Saab Barracuda Mobile Camouflage System (MCS), 2015)



Análisis DAFO del sistema.

A priori, para realizar este tipo de análisis es necesaria información que tenga carácter técnico. Por ello, se intentó contactar con las empresas involucradas en la fabricación de cada uno de los sistemas analizados en el trabajo. Todas las empresas han respondido que la información pedida es confidencial, y para poder tenerla el pedido de esta debe ser realizado por un cargo oficial, en este caso el Ministerio de Defensa. Por lo tanto, en ausencia de esta petición se ha realizado un análisis de carácter más táctico. Es decir, evaluar la alternativa considerando su empleo en las unidades de caballería. Este análisis se apoya en los resultados de las encuestas, entrevistas y revisiones bibliográficas.

Como se observa en la Tabla 2, las principales debilidades del sistema son los daños que se pueden producir como cortes o la posibilidad de descoser sus partes al mover el vehículo por zonas boscosas, dado que el MCS se fabrica de tejido y no muestra alto nivel de rigidez, para poder alcanzar la característica de ser ajustable. Otra debilidad del sistema es la reducción de la efectividad de los sistemas de blindaje reactivo. El blindaje reactivo (ERA) es un tipo de blindaje especial moderno. ERA se forma mediante el uso de una o varias capas de alto explosivo entre las placas de metales, este tipo de blindaje se puede fabricar como blindaje adicional o formar parte del blindaje del carro. En el caso adicional, consiste en baldosas o cajas más pequeñas, que se unen al vehículo mediante pernos. El uso de baldosas más pequeñas reduce los puntos débiles una vez que se han detonado capas explosivas. Cuando un proyectil con carga hueca se destina a un carro de combate que tiene instalado el blindaje reactivo, proyecta un chorro de plasma incandescente que viaja a miles de metros por segundo (más de 5.000), que, tras penetrar la chapa metálica externa, entra en contacto con el material explosivo, activándolo. La explosión, junto con la chapa externa, que se desplaza en dirección opuesta a la amenaza, la disipa de tal manera, que cuando llega al blindaje del vehículo a proteger ha perdido gran parte de la potencia que tiene. A la hora de instalar el sistema MCS al carro, se retrasa el tiempo de distribución de la onda del choque producida por el proyectil de carga hueca, por lo tanto, explota la carga del proyectil antes de la respuesta esperada del blindaje reactivo. Además del anterior, una debilidad destacable es aumentar el grado de dificultad para realizar tareas de mantenimiento de primer escalón ¹¹, como por ejemplo comprobar los niveles de líquidos del carro de combate, que es una tarea que se realiza de forma muy frecuente. Por último, no se ha podido saber los precios posibles del sistema, aunque el precio se considera un factor importante a la hora de adquirir sistemas de este tipo.

De las diversas fortalezas del sistema MCS se puede destacar la reducción del consumo de combustible. El carro de combate LEOPARDO 2E tiene un sistema de refrigeración como todos los vehículos, que funciona utilizando la energía producida por el motor. A la hora de enfriar el grupo motor, con motivo de minimizar la firma térmica del carro, se gasta una cantidad de combustible considerable y afecta a la autonomía del carro. Por lo que la instalación del sistema MCS reduciría este gasto de combustible. Otra fortaleza, muy importante también, es encontrar este sistema en dotación en varios ejércitos, especialmente los que tienen el carro de combate LEOPARDO, ya que el ET español podría realizar consultas a dichos Ejércitos para determinar el rendimiento del sistema. Es importante decir que, según la página web de la empresa SAAB, el tiempo necesario para desplegar el sistema es muy reducido. En este aspecto no solo el tiempo se considera como fortaleza, sino que también la instalación del sistema se realiza por la tripulación propia sin necesidad de tareas técnicas en segundo escalón¹².

¹¹ El primer escalón se define como mantenimiento orgánico de la Unidad que tiene asignado el material; operador- usuario, sobre el material a su cargo. Ejemplos de estas tareas; cambiar rueda del vehículo, comprobación del funcionamiento y tensar y cambiar las cadenas

¹² Las tareas del segundo escalón se consideran también mantenimiento orgánico porque se realizan en la propia unidad, pero al contrario que las del primero se hacen por personal especializado y técnicamente capacitado, el segundo escalón de mantenimiento en unidades de caballería se define la sección de mantenimiento del escuadrón de plana mayor y servicio.



Tabla 2: Análisis DAFO MCS.

Fuente: Elaboración propia.

Debilidad	Amenazas
<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema puede sufrir daños producidos por el movimiento del vehículo en zonas boscosas. 2. No se ha podido tener información sobre los costes posibles del sistema. 3. Minimiza la eficacia del blindaje radiactivo. 4. Dificultades en caso de tener que reparar los niveles de líquidos¹³del carro. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. En caso de cambio de plataforma, el sistema queda en desuso. 2. El mantenimiento del sistema puede crear monopolio para la empresa fabricante. Lo que resulta en un alto coste de mantenimiento. 3. La parte que cubre el tren de rodaje puede producir averías en caso de enganchar con el mismo.
Fortalezas	Oportunidades
<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducir el tiempo necesario de enfriamiento, esto viene como consecuencia de integrar el sistema CoolCam. (<i>Saab Barracuda Mobile Camouflage System (MCS)</i>, 2015) 2. Reducir el consumo de combustible, usado para el enfriamiento del carro.(<i>Saab Barracuda Mobile Camouflage System (MCS)</i>, 2015) 3. Tiempo de instalación del sistema es muy reducido. 4. Cubrimiento de todas las partes del vehículo. 5. Está en dotación en el ejército de tierra alemán, que dispone del carro de combate LEPARDO. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistemas puede ser instalado a todas las plataformas del ET (SAAB, 2021). 2. Se pueden personalizar el color del sistema ajustándolo a la naturaleza de aplicaciones. Este punto va orientado a las misiones internacionales (SAAB, 2021)

El posible cambio de la plataforma o incluso realizar una modificación que provoca cambio del perfil del carro se considera una amenaza del sistema, ya que el sistema puede quedar en desuso dado que es ajustable. De este aspecto se puede mencionar, como ejemplo, la

¹³ Una tarea de mantenimiento de primer escalón consiste en reparar los niveles de líquidos del carro.



instalación de un sistema de armamento secundario MINI SAMSON, el que se caracteriza principalmente por su manejo eléctrico desde el interior del vehículo. Instalar este sistema al carro de combate implica una integración de una torre no tripulado de tamaño reducido, en comparación con la torre de carro de combate LEOPARDO 2E del perfil (Ver figura 12).



Figura12: Sistema MINISAMSON

Fuente: <https://www.armedconflicts.com/topic/view/41201/ISR-Samson-Mini-Samson-RCWS>

Otra amenaza del sistema es su mantenimiento. La empresa SAAB puede hacer un monopolio respecto al mantenimiento de este sistema, lo que implica un gasto elevado para realizar tareas posibles en el futuro, como por ejemplo realizar una tarea de reparación de cortes posibles del sistema. Por último, como se ha mencionado anteriormente, el sistema no es rígido, dado que su característica principal es el ser ajustable. El tren de rodaje, durante el movimiento del carro puede engancharse con las partes bajas del sistema, lo que puede producir daños al mismo y daños al tren de rodaje.

En el caso de que el ET español adquiriera el sistema MCS, y después de haber detectado su rendimiento positivo en la operatividad de las unidades de caballería, se pueden realizar pedidos para todas las plataformas, como por ejemplo el vehículo de exploración de caballerilla (VEC), lo que se considera una oportunidad de este sistema. Según la empresa sueca SAAB, se puede personalizar el color del sistema, la oportunidad de esto se puede determinar en el poder de implementar el sistema en naturalezas distintas a la de España, por ejemplo, la misión internacional de Mali, donde se necesita un color de camuflaje árido en lugar del boscoso usado en España actualmente.


Análisis del riesgo.

Para ello se han utilizado los resultados del análisis DAFO junto con las conclusiones obtenidas de la entrevista técnica. El primer riesgo que se ha identificado es la necesidad de realizar una tarea de mantenimiento de primer escalón como por ejemplo repasar niveles de líquidos. Sin embargo, este mismo riesgo puede producirse en tareas de segundo escalón, por ejemplo, una tarea que necesita levantamiento de la tapa del motor. El impacto de este riesgo es táctico, es decir, la pérdida del tiempo de quitar el sistema MCS y volver a instalarlo tiene su efecto negativo en el empleo táctico del carro en el campo de batalla, especialmente en tareas donde el tiempo es el factor principal en la misión, como es el caso específico de una acción de retardo. En la maniobra retardadora, la fuerza propia, bajo presión enemiga, gana tiempo a costa de ceder espacio, a la vez que conserva su flexibilidad y libertad de acción y procura infligir al enemigo el máximo daño posible (MADOC, 2021). El efecto de este riesgo es medio lo que implica una desventaja a tener en cuenta a la hora de adquirir este sistema (ver tabla 3).



Tabla 3: Análisis del riesgo para el sistema MCS

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de riesgos														 Centro Universitario de la Defensa Zaragoza	
Título Proyecto:		Análisis de alternativas para minimizar la detección térmica y visual del carro de combate Leopard 2E				Jefe de Proyecto:			AMR TAHA ALZAAREER			Fecha cambio:			
Equipo de proyecto:		Ingenieros, especialistas, usuario del carro									Fecha inicio:				
Evaluación de riesgos															
ID	Descripción riesgo	Categoría riesgo	Causa del riesgo	Impacto (H,M,L)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo	Efectos riesgo	Medida / Alternativas	Clase riesgo tras medida	Tendencia	Responsable	Fecha planificada	Fecha realización	Status	
1	Necesidad de realizar tareas de mantenimiento durante el empleo táctico	matenimiento	tiempo para montar y desmontar el sistema	H	2	2H	no cumplir las misiones asignadas	planiar ejercicios practicos de montar y desmontar el sistema MCS	2M	(-)	Usuario			Open	
2	cambio o modificaciones de plataforma	adquisición	evolución del equipo militar	H	1.0	1.0H	posibilidad de que el sistema queda en desuso	no hay	1H	(=)				Open	



Otro riesgo se ha podido identificar es un posible cambio de la plataforma o bien modificaciones de esta. El sistema MCS es ajustable al vehículo, por lo que, en caso de integrar nuevos elementos a la torre o la barcaza, se podría dejar el sistema MCS inutilizable. Durante la entrevista con el teniente ingeniero politécnico Bleda se ha hablado de un posible cambio de periscopio del LEOPARDO 2E. En el caso de que el ejército de tierra tuviese el sistema instalado, al integrar el nuevo periscopio habría que rediseñar el sistema para que se ajuste de nuevo al carro. Es verdad que la frecuencia de este riesgo es baja, pero tiene un gran impacto (ver tabla 3).

4.3.2 ADAPTIV.

Se trata de otra alternativa también originada en Suecia, diseñada por la empresa BAE systems, que presenta una tecnología muy avanzada de camuflaje térmico. El modo general de su funcionamiento consiste en cambiar la temperatura de la plataforma para disimularla con el entorno donde se encuentra. Esta tecnología utiliza celdas para cubrir los flancos del vehículo blindado, que cuentan con circuitos eléctricos alimentados por el propio vehículo (ver figura 13)(Darren Quick, 2011a).



Figura 13: Vista del sistema ADAPTIV con sus componentes en la zona de tren rodaje de un carro.

Fuente: <https://newatlas.com/adaptiv-ir-invisibility-cloak/19748/> .

Según el artículo publicado en la página web del periódico BBC con el título ("Tanks Test Infrared Invisibility Cloak," 2011), se ha podido observar que este sistema tiene tres modos de funcionamiento. El primer modo es integrar la plataforma con la naturaleza donde se ubica. Para ello, las células del sistema llevan cámaras térmicas para observar y medir la radiación infrarroja en el entorno cercano del vehículo, estas cámaras funcionan de forma constante y continua. Después de obtener la información del entorno, el sistema iguala la temperatura de las celdas con la del entorno. Por lo tanto, el carro parece como una parte más de la naturaleza. En la figura 14, en la imagen derecha se puede observar el resultado de utilizar este modo.



Figura 14: vista con cámara térmico de un blindado con el sistema ADAPTIV (izquierda) y sin él (derecho).

Fuente: <https://www.bbc.com/news/technology-14788009> .



El segundo modo presenta independencia de funcionamiento de cada píxel o panel, de manera que, al instalar el sistema en el vehículo, permite copiar la firma térmica de otros objetos, como por ejemplo camiones y automóviles, y que se pueden proyectar en los paneles desde un banco de imágenes detallado que presenta el sistema. En la figura 15 se puede observar perfectamente este funcionamiento del sistema en el que se simula la firma de un vehículo tipo turismo.



Figura 15: Vehículo blindado con sistema encendido ADAPTIV (derecha) y apagado (izquierda).

Fuente: <http://www.thetruthdenied.com/news/2014/03/18/missing-malaysia-plane-cloaked-by-electronic-weapon/>.

El tercer modo de funcionamiento del sistema no se considera tecnología de camuflaje, porque consiste en señalar mensajes textuales parpadeantes a lo largo las celdas. El motivo de ese modo es que las fuerzas amigas pueden reconocer fácilmente el blindado como fuerza amiga, tal que se hace complicado identificar las fuerzas amigas visualmente y más difícil aun a la hora de instalar el sistema, usando la cámara térmica, debido a que el sistema mostró alta eficacia en el sector de camuflaje térmico. (ADAPTIV - Cloak of Invisibility, 2011)(ver figura 16).

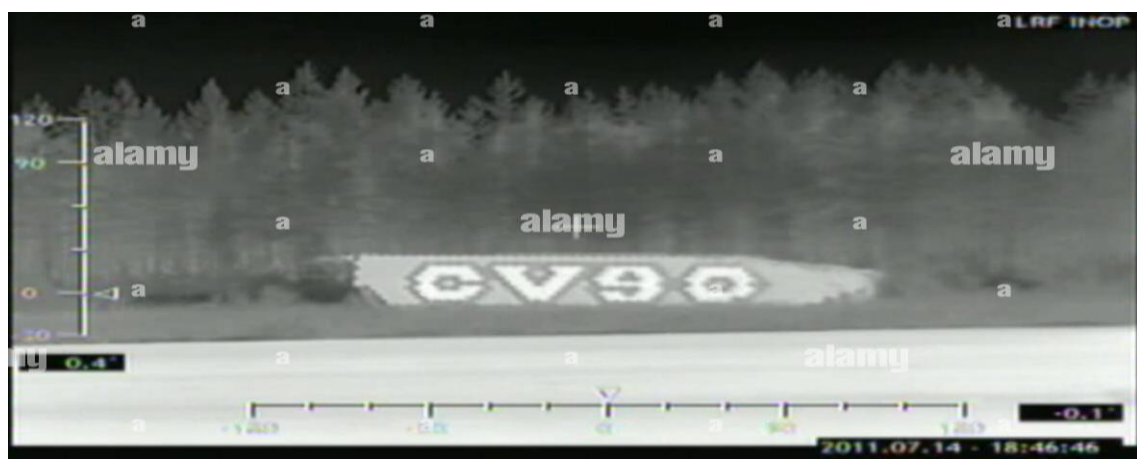


Figura 16: Vista de un blindado con el sistema ADAPTIV en funcionamiento del tercer modo.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=wLqDFsMnCE&t=10s>.

Aunque a priori este sistema no minimiza la firma visual, por lo tanto, no cumple las dos finalidades de este trabajo, se ha tomado como alternativa a analizar tras realizar la entrevista con el cabo primero Casado, ya que como los píxeles del sistema son una combinación de láminas (Eshil, 2011), el cabo primero ha confirmado la posibilidad de pintarlos y camuflarlos de una manera satisfactoria, minimizando también la detección visual.



Análisis DAFO

Una de las debilidades del sistema Adaptativ es que su funcionamiento depende totalmente de circuitos eléctricos, que se consideran relativamente complejos. Dicha debilidad se debe a que los usuarios no pueden interactuar con el sistema a la hora de tener averías posibles, para ello es necesario la existencia de personal especializado en el sistema. La falta de información, como por ejemplo el precio estimado y la estructura técnica del sistema, se consideran debilidades a la hora de realizar un proyecto de análisis como el presente trabajo fin de grado. Otra debilidad táctica del sistema es el hecho de quitar todos los sistemas de protección secundarios para poder integrarlo a la plataforma LEOPARDO 2E, como por ejemplo el sistema de blindaje reactivo que tiene este vehículo. Según la fotografía publicada de las pruebas del sistema, la parte superior de la barcaza no se cubre (Ver figura 17), por lo tanto, se considera una debilidad contra las cámaras térmicas de los medios aéreos como por ejemplo los drones y helicópteros (ver tabla 4) Por otro lado, como los pixeles son de metal laminado, cuenta con movilidad en zonas boscosas sin dañar el propio sistema, lo que se considera una fortaleza en comparación con el sistema MCS. También, según los ingenieros de la empresa BAY y las publicaciones disponibles en la página web de esta, los pixeles funcionan de forma independiente, lo que fortalece el sistema en las tareas de mantenimiento, es decir a la hora de haber un fallo de alguna celda se puede quitar y sustituir por otra nueva. Además del anterior, el sistema se considera el mejor en el aspecto de camuflaje térmico, ya que uno de sus modos de funcionamiento permite eliminar la plataforma en el entorno donde se encuentra, en otras palabras, elimina su firma térmica.



Figura 17: Vista de la parte arriba de un carro de combate con el sistema ADEPTIVE instalado.

Fuente: <https://www.pinterest.com/pin/765541636637209389/>.

Respecto a los factores exteriores, una posible amenaza es que el sistema Adaptiv tendrá un coste elevado de mantenimiento, dado que es un sistema complejo. También, el sistema no demuestra alta protección contra las balas y fragmentos, unas amenazas frecuentes y que tienen alta probabilidad de ocurrencia en el campo de batalla, especialmente en combate de zonas urbanas (Zheleznyak, 2012). Como se ha dicho anteriormente, las tareas de mantenimiento de este sistema son complejas, y en caso de avería de un sistema propio del carro, se deben desmontar las celdas de alrededor para poder acceder al sistema dañado. Lo que demanda la existencia de personal especializado.

Por último, el hecho de que el sistema puede ser instalado en todas las plataformas de las unidades de caballería, se considera una oportunidad futura en caso de adquisición del sistema



ADAPTIV para el carro de combate LEOPARDO 2E. Otra oportunidad muy importante, es que, en caso de cambios de las plataformas, el sistema puede ser instalado a las nuevas adquiridas, dado que las celdas funcionan de forma independiente.

Tabla 4: Análisis DAFO ADAPTIV.

Fuente: Elaboración propia.

Debilidades	Amenazas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistema complejo, dado que su funcionamiento depende de circuitos eléctricos. 2. No se ha podido tener datos de la estructura técnica del sistema. 3. No se han podido estimar con precisión los costes posibles del sistema, pero el presumible alto coste de esta tecnología se considera como una desventaja del sistema (Matvey Zheleznyak, 2012). 4. Para instalar el sistema se debe quitar el blindaje adicional que lleva el LEOPARDO. Incluyendo el sistema de blindaje radiactivo. 5. No cubre todas las partes del carro. especialmente la parte de arriba(Matvey Zheleznyak, 2012) . 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se prevé que el mantenimiento del sistema presente un coste elevado. 2. En caso de que el carro sufra averías como por ejemplo una salida de la cadena, el carro se queda inoperativo, hasta desmontar el sistema del flanco, para poder luego realizar la tarea de mantenimiento correspondiente a dicha avería. 3. El Sistema es fácilmente dañable por las balas y fragmentos de explosivos(Matvey Zheleznyak, 2012). 4. Es débil frente a condiciones medioambientales adversas (Matvey Zheleznyak, 2012).
Fortalezas	Oportunidades
<ol style="list-style-type: none"> 1. No sufre daños en movimiento en zonas boscosas, dado que las celdas están hechas para que puedan soportar el impacto físico.(Darren Quick, 2011b). 2. Las celdas del sistema funcionan de forma independiente. (Robert Johnson, 2012) 3. Eliminar el objeto protegido del mundo exterior, proporciona protección contra la detección visual, térmica y radar.(Matvey Zheleznyak, 2012) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema puede ser instalado a todas las plataformas del ET, incluso también de los otros ejércitos (Darren Quick, 2011). 2. En caso de un cambio de plataforma o bien alguna modificación, se puede trasladar el sistema a la nueva plataforma o rediseñar la zona de la barcaza que ha sufrido la modificación.



Análisis del riesgo.

En la entrevista realizada con el teniente Bleda, se ha podido identificar el alto coste de mantenimiento como primer riesgo. El teniente hizo una comparación de las posibles tareas de mantenimiento del sistema con las del sistema contraincendios del LEOPARDO 2E. El carro de combate lleva más de diez años en dotación en el ET, aun así, las tareas de mantenimiento y control del sistema contraincendios no se pueden realizar sin presencia de un miembro de la empresa civil. Según el teniente el sistema ADAPTIV tiene más complejidad eléctrica que el sistema contraincendios, lo que implica un riesgo de alto coste para mantener el sistema. Como se puede observar en la tabla 5, el impacto de este riesgo es alto, una avería del sistema Adaptiv deja el carro de combate en estado inoperativo hasta realizar la tarea de arreglo correspondiente. Como vemos también la probabilidad de ocurrencia de este riesgo es media. Como conclusión, en caso de adquisición futura de este sistema se deben gestionar las tareas de mantenimiento de forma óptima para las unidades de caballería (ver tabla 5).

Otro riesgo también es el funcionamiento del sistema en condiciones extremas del medio ambiente. No obstante, este riesgo no ha podido ser evaluado, ya que al intentar contactar con la empresa desarrolladora no ha habido respuesta al indicar que este tipo de información es clasificada.

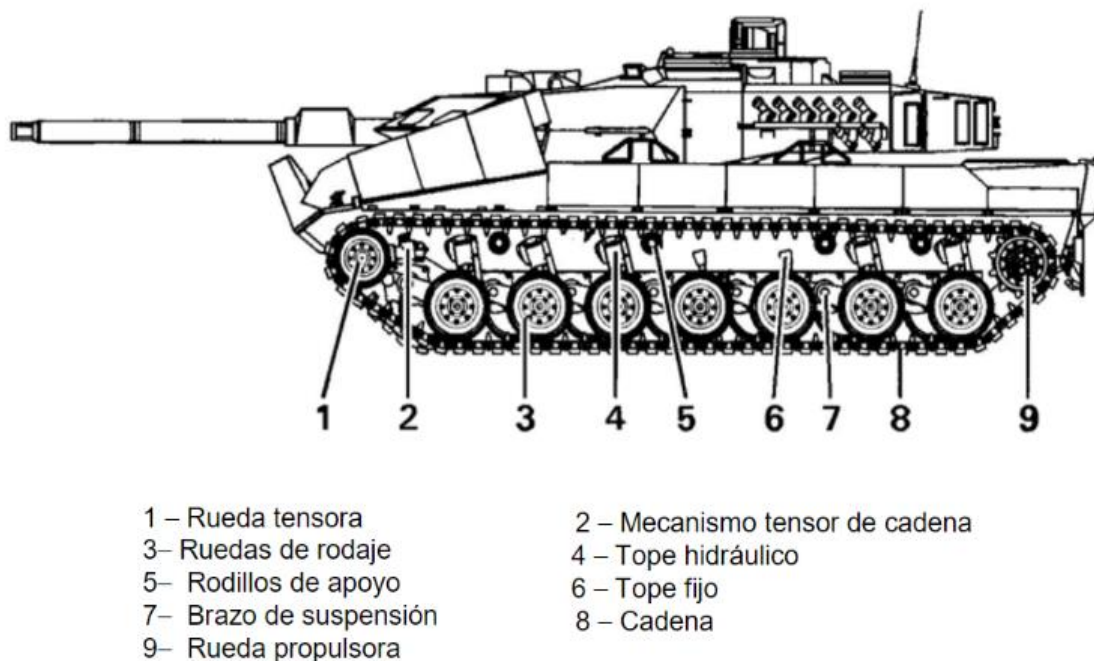


Figura 18: Vista lateral del carro LEOPARDO 2E con listado de sus componentes.

Fuente: manual del carro de combate LEOPARDO 2E de la academia de infantería.

Además, como en el caso del sistema MCS, se ha identificado otro riesgo con impacto negativo en el empleo táctico del carro. Concretamente, durante las prácticas externas se han podido observar dos tareas de remolque en dos ejercicios de maniobra, por lo tanto, dicho riesgo tiene frecuencia de ocurrencia alta. Para realizar esta tarea se debe fijar a la rueda propulsora (Academia de infantería, 2014, p. 19) (ver figura 18, apartado 9) y en caso de que el carro tuviese el sistema ADAPTIV instalado, se debe desmontar el sistema, o al menos desmontar las celdas cercanas a esta rueda, lo que implica un tiempo de espera considerable (ver tabla 5)



Tabla 5: Tabla de análisis de riesgo del ADAPTIV

Fuente: Elaboración propia.



Análisis de riesgos

Título Proyecto:		Análisis de alternativas para minimizar la detección térmica y visual del carro de combate Leopard 2E				Jefe de Proyecto:		AMR TAHA ALZAAREER		Fecha cambio:				
Equipo de proyecto:		Ingenieros,, especialistas, usuario del carro								Fecha inicio:				
Evaluación de riesgos														
ID	Descripción riesgo	Categoría riesgo	Causa del riesgo	Impacto (H,M,L)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo	Efectos riesgo	Medida / Alternativas	Clase riesgo tras medida	Tendencia	Responsable	Fecha planificada	Fecha realización	Status
1	Aumento de los costes de mantenimiento	Coste	complejidad del sistema	H	2	2H	el carro puede quedar larga duración en estado inoperativo	cursos de mantenimiento	1L	(-)	ingeniero			Open
2	necisidad de realizar tareas de mantenimiento durante el empleo	Tiempo	tirmpo de montar y desmontar el sistema.	H	3.0	3H	No cumplir misiones asignados.	cursos que capacitan el usuario a montar y desmontar el sistema	2L	(=)	ingenieiero			Open

4.3.3 ULCAS

La red táctica ultraligera o Ultra-Lightweight Camouflage Screen (ULCAS) parece la tecnología de camuflaje más avanzada actualmente. Como su propio nombre indica es un sistema muy ligero ya que no pesa más de 250 g / m². Además de su peso ligero, el sistema es capaz de operar entre -20 ° y 80 ° C, tanto para almacenamiento como para uso. La red de camuflaje tiene una alta resistencia química y soporta la exposición al petróleo, aceite y lubricantes (SAAB, 2019).



Figura 19: Fotografía del sistema ULCAS desplegado en zona boscosa.

Fuente: <https://www.saab.com/products/ulcas> .

ULCAS proporciona protección contra la detección tanto visual como térmica. La protección frente a la detección visual viene determinada por el patrón de colores elegido para su construcción, de manera que los ingenieros de la empresa de camuflaje barracuda desarrollaron patrones para imitar el fondo del terreno previsto, haciéndolo mezclarse con su entorno. También, se utiliza un patrón aleatorio para evitar formas simétricas de los objetos y proporcionar rendimiento de camuflaje en el espectro visual. Además, ULCAS está diseñado para bajar el nivel de brillo posible (ver figura 19).

Respecto a la protección térmica, según la página web de la empresa SAAB, el sistema ULCAS proporciona protección de las unidades en todo el espectro infrarrojo, tanto el cercano como el medio y el lejano.

Aunque el sistema solo se emplea para tareas en estático, se ha elegido esta alternativa para analizarla, al considerarla una herramienta complementaria, dado que se debe buscar alternativas que proporcionen la protección contra la detección visual y térmica para todos los elementos de las unidades de caballería. Uno de estos elementos es el puesto de mando de las unidades de entidad regimiento y grupo. El puesto de mando se define como el centro de dirección, conducción y comunicaciones en el que se articula el escuadrón de plana mayor y servicio, concretamente la sección de mando y transmisiones, para permitir que el jefe ejerza su acción de mando durante las operaciones (MADOC, 2018). Este puesto de mando cuenta con dos estaciones PC-BON, que están dotadas de modernos sistemas de comunicaciones, que permiten ejercer el mando y control en movimiento. Estas estaciones se instalan en vehículos de combate de cadenas o de ruedas. El grupo Villaviciosa cuenta con dos estaciones PC-PON instaladas en el vehículo tipo TOA (Transporte Oruga Acorazado).(ver figura 19).

En la figura 20 se puede observar cómo se emplean las actuales redes miméticas del Ejército a la hora de desplegar un puesto de mando fijo. El análisis que se lleva a cabo en este



trabajo propone el cambio de estas redes por el sistema ULCAS. En las pruebas publicadas por la empresa fabricante se puede observar la eficacia del sistema, especialmente contra la detección térmica (SweVHSrip, 2011).



Figura 20: Parte izquierda estación PC-PON instalado en un TOA, parte derecha puesto de mando principal instalado en dos TOA.

Fuente: <https://www.foro3d.com/f37/toa-de-mando-m-577-a1-61027.html> .

Análisis DAFO.

La primera debilidad destacada de esta sistema es el uso en situación estática, aun así, el sistema como se mencionado anteriormente es complementario. La falta de información también se considera una debilidad, ya que el coste es un factor muy importante para adquirir este tipo de sistemas. Por último, he de decir que los vehículos de puesto de mando llevan armamento de auto protección, como por ejemplo una ametralladora de calibre 7,62. Además de este, los vehículos PC- BON llevan medios de observación como cámaras térmicas y periscopios. Instalar el sistema ULCAS a un puesto de mando impide el empleo de los sistemas mencionadas anteriormente (ver tabla 6).

Por otro lado, el sistema presenta dos fortalezas importantes. La primera, la tripulación que va a manejar esta red de camuflaje multispectral dispone de una experiencia a la hora de desplegar el sistema, ya que el manejo de las redes de camuflaje normales actuales en el ET es muy parecido (ver tabla 6).

Una amenaza que se debe tener en cuenta es el posible cambio de plataforma para los puestos de mando actuales, ya que el ET dará de baja a más de la mitad de los vehículos tipo TOA existen actualmente en las unidades (Benjamín Carrasco, 2021). Otra amenaza posible en el futuro, es un posible monopolio en el mantenimiento de este sistema para la empresa desarrolladora, lo que implica un alto coste para mantenerlo (ver tabla 6).

Una fortaleza del sistema ULCAS, es el ser fabricado por la misma empresa del sistema MCS. Se podrían realizar pedidos con unos posibles descuentos por gran número de artículos. También, el sistema ULCAS es válido para otras armas como por ejemplo piezas de unidades de artillería, centros de transmisiones y posiciones de infantería, lo que implica aumentar la operatividad a nivel Ejército (ver tabla 6).



Tabla 6: Análisis DAFO ULCAS.

Fuente: Elaboración propia

Debilidades	Amenazas
<ol style="list-style-type: none"> 1. No se ha podido realizar el análisis de coste del sistema. 2. Solo es usable para tareas en estado estático. 3. En vehículo que lleva el PC-BON instalado, el sistema impide el empleo de los medios de detención, como por ejemplo el periscopio. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. El ejército de tierra acaba de adquirir sistemas parecidos, aunque no cumplen las mismas funciones que el ULCAS (Infodefensa.com, 2021). 2. El mantenimiento puede ser tipo monopolio para la empresa fabricante. 3. Cambio de plataforma de la estación PC-BON en las unidades de caballería.
Fuerzas	Oportunidades
<ol style="list-style-type: none"> 1. La tripulación dispone de experiencia a la hora del emplear el sistema. (el montaje del sistema es prácticamente igual al montaje de las redes miméticas actuales). 2. Los productos de la empresa están adquiridos por más de 50 Ejecitos de otros países (Webinfomil., 2020, para. 6). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Puede ser empleado en unidades de otras armas, por ejemplo, centros de transmisiones, baterías de artillería y posiciones de infantería. 2. La empresa fabricante es la misma del sistema MCS barracuda, lo que facilita las fases de adquisición en el caso de adquirir el MCS.

Estudio del riesgo.

Para este estudio de riesgo se ha utilizado el análisis DAFO y la entrevista técnica al teniente Bleda. Se ha podido identificar un único riesgo para este sistema. El riesgo identificado era un posible cambio de plataforma para la estación PC-BON. Inicialmente la estación se instaló en vehículos VAMTAC, con un completo sistema de comunicaciones, mando y control, suministro eléctrico y otros componentes, que permiten su funcionamiento en estático y en movimiento. Actualmente se están entregando PCBON, sobre Pizarro y otras plataformas (TOA y BMR)(MADOC, 2018, p. 324)

La consecuencia de estos cambios es la alta frecuencia de este riesgo. También decir que el impacto de este riesgo es alto, ya que el sistema no es un producto de coste bajo. Se estima que el sistema tiene un coste entre medio y alto. Como se puede observar en la tabla número 7, el alto impacto negativo de este riesgo, junto con la alta frecuencia, da lugar a una clase de riesgo. Lo que obliga a realizar una gestión de riesgo detallada para poder minimizar su impacto a la hora de tener este sistema.



Tabla 7: tabla de análisis de riesgo para ULCAS.

Fuente: Elaboración propia.

Título Proyecto:	Análisis de alternativas para minimizar la detección térmica y visual del carro de combate Leopard 2E					Jefe de Proyecto:	Amr Taha Alzaareer				Fecha cambio:			
Equipo de proyecto:	Ingeniero, espeislista, usuario del carro										Fecha inicio:			
Evaluación de riesgos														
ID	Descripción riesgo	Categoría riesgo	Causa del riesgo	Impacto (H,M,L)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo	Efectos riesgo	Medida / Alternativas	Clase riesgo tras medida	Tendencia	Responsable	Fecha planificada	Fecha realización	Status
1	cambio de la plataforma de la estación PC-BON	Adquisición	Ajuatar el equipo de la estación al vehículo más adecuado.	H	3	3H	el sistema queda en deuso total	noy		(=)	ingeniero			Open



4.3.4 Material adicional usado en el ámbito civil.

Esta alternativa se ha escogido para analizar como continuación del trabajo fin de grado del alumno Ratiwanchai. Dicho trabajo llevo a cabo un estudio de materiales para reducir la firma térmica del vehículo de exploración y reconocimiento terrestre (VERT), empleado actualmente en las unidades de caballería en la sección de vigilancia. Este proyecto escogió materiales usados como técnicas de aislamiento térmico en el sector de construcción y que están disponibles en el mercado. Según las pruebas y los estudios comparativos realizados por el alumno tailandés, el material que mejor resultados daba fue la Lana de roca con aluminio ROCFLAM (Ratiwanchai, 2020).

Este material se presenta en panel de lana mineral cubierto con una capa exterior de aluminio pegado con resina inorgánica, de espesor 3 cm. Es un aislante térmico y acústico, que se utiliza para aislar las chimeneas, protección contra el fuego y resistencia de humos.

Se ha realizado una prueba de comprobación de la eficiencia de este material, instalándolo en distintas partes del carro de combate LEOPARDO 2E. Para completar esta prueba hizo falta; plancha de lana de roca, dos carros de combate que disponen de cámaras térmicas operativas, una cámara para poder guardar los resultados y finalmente un jefe de carro y conductor.

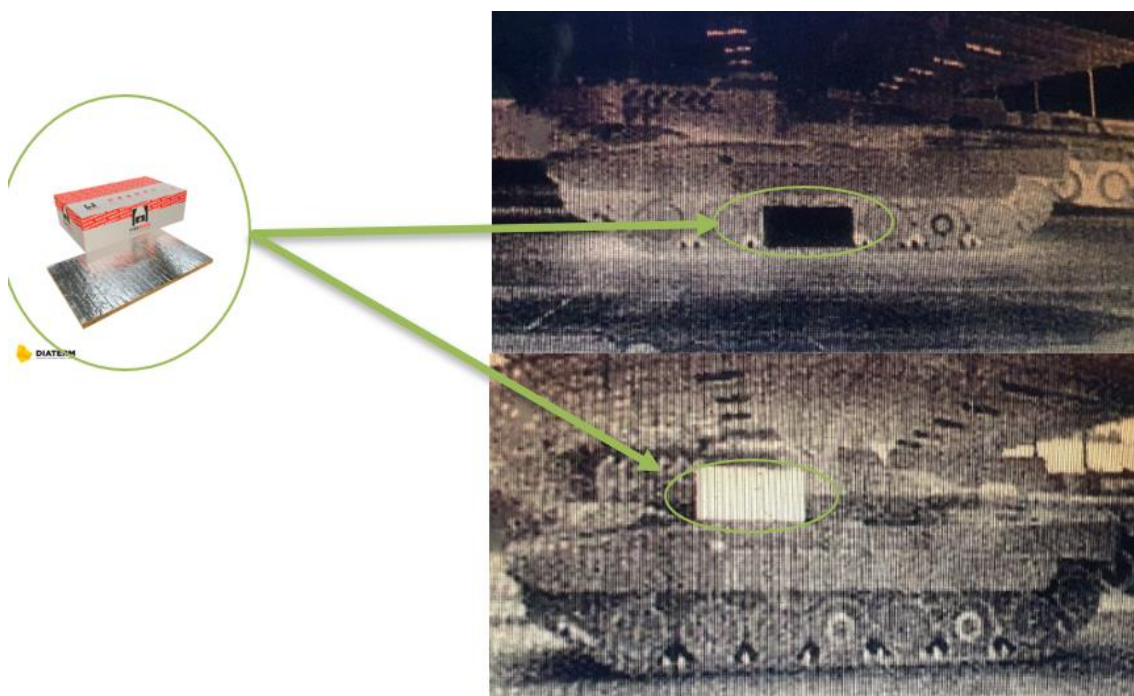


Figura 21: Dos vista lateral del LEOPARDO 2E con triangulo, negro caliente (abajo) y blanco caliente(arriba).

Funete : Elaboración propia.

Las cámaras térmicas tienen dos modos de funcionamiento; blanco y negro caliente. En el primer modo los objetos más calientes salen de color blanco en la plantilla (ver figura 19, imagen inferior), mientras en el segundo salen de color negro (Academia de infantería, 2014, p. 364). (, ver figura 21, imagen superior). Se ha de mencionar también que la cámara térmica del puesto de jefe tiene mucha más calidad, en comparación con la del conductor, ya que dispone de mejor resolución y la posibilidad de ampliar la vista. Los resultados de esta prueba fueron exitosos, ya que se ha podido observar el funcionamiento de este material para lograr la reducción de la firma térmica (Ver figura 21) ¹⁴.

¹⁴ En el Anexo 5 se pueden consultar todas las fotografía de la práctica realizada para la



La prueba se realizó aparcando un carro de combate en frente del otro y, tras instalar la lona de roca a las distintas partes del carro, se tomaron fotos de las dos pantallas de cámaras térmicas (jefe, conductor), y se analizaron las respuestas con el jefe del carro.

No cabe duda de que el alto brillo de la capa exterior de aluminio que compone la lona de roca elegida para realizar las pruebas, incumple la reducción de la firma visual del carro, el cual es uno de los objetivos principales de este proyecto. Para ello el autor volvió a hacer las mismas pruebas de nuevo, quitando la capa de aluminio, para, posteriormente, facilitar la pintura de este material con colores de camuflaje táctico para carro. Analizando los nuevos resultados con los usuarios del carro, no se ha observado gran cambio en los resultados sacados con presencia de esta capa de aluminio (ver figura 22).



Figura 22: Vista lateral del LEOPARDO con Lana de roca (sin la capa de aluminio) en el tren rodaje.

Fuente: elaboración propia

Analisis DAFO.

La primer debilidad que se ha identificado, analizando este material con el teniente ingeniero politecnico Bleda, es como se integra este tipo de material al carro de combate, para ello se han marcado dos tecnologías, la primera es mediante anclajes y la segunda es la adhesión. Tanto la primera como la segunda, no son tecnologías habituales para los blindajes adicionales actuales. Dicho eso el material muestra una debilidad alta. Según las características técnicas del material, este pierde su capacidad de aislamiento térmico con el tiempo. En el caso de desarrollar un sistema usando este material, implica un proyecto de producción sin punto final. Teniendo en cuenta esto, en cualquier proyecto marca un riesgo muy alto a tener en cuenta antes de empezar el proyecto. Otra debilidad de este material es la acumulación de una pequeña cantidad de humedad, debido a la admisión de vapor. No obstante, la acumulación se produce con mucha lentitud, por lo que el vapor de agua acumula el calor, lo que facilita la detección térmica del carro. Por último, la debilidad más destacable es que puede producir efectos negativos para la vida humana, ya que el polvo que desprende puede causar irritación de ojos y piel (Herranz, 2018)(ver tabla 8).

Las fortalezas del sistema son varias. La primera es que el precio estimado de desarrollar este material para minimizar la firma visual y térmica no es elevado. Y la segunda es el poder



realizar las practicas para analizar sus resultados en la fase de analisis de este proyecto. Tambien, respecto a las características técnicas, tiene temperatura de fusión elevada (997° C). Dicho esto, el material es estable ante los cambios de temperatura. El carro de combate LEOPARDO 2E se emplea en naturalezas de frio extremo (misión Lituania) y temperaturas altas como por ejemplo el sur de España (HyN, 2015)(ver tabla 8).

Tabla 8:Análisis DAFO lana de roca

Fuente: Elaboración propia.

Debilidades	Amenazas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Problemas de integrar el material al Carro. Las tecnologías usadas para los blindajes adicionales no son válidas. 2. El material pierde su capacidad térmica con el tiempo. 3. Acumulación de humedad, a pesar de que tenga buena resistencia contra el humo .(ECOISOLA, 2017). 4. El material puede causar molestias a la tripulación del carro. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. El material no se ha empleado como una tecnología de camuflaje, por lo tanto, se considera como propuesta a emplear en el futuro. 2. No se ha comprobado su efectividad en todas las condiciones del medio ambiente. 3. Posible deformaciones del material ante la lluvia (ECOISOLA, 2017).
Fortalezas	Oportunidades
<ol style="list-style-type: none"> 1. Coste no elevado. 2. Se ha podido comprobar los resultados del material mediante las pruebas realizadas. 3. La vida util del matrial es larga, llega hasta 50 años(ROCKWOOL Peninsular, 2020, p. 1). 4. Temperatura de fusión elevada (997° C). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cumplimiento de varios certificados: AENOR ISO 9001, AENOR ISO 14001, IQNET ISO 9001 y Certificado IQNET ISO 14001. Dado esto se garantiza la capacidad de su aislamiento térmico. 2. Poner en marcha este proyecto anima a los miembros de las FAS a crear y desarrollar otros proyectos para la defensa.

Respecto a las amenazas futuras, como este material se ha empleado como una propuesta para este trabajo, la falta de proyectos y sistema en dotación parecidos puede hacer incrementar el periodo de pruebas y análisis de desarrollar un sistema de minimización de la firma visual y térmica usando la lana de roca. Otra amenaza es su deformación en determinadas condiciones del medio ambiente, en este caso la lluvia, ya que el material no tiene alta rigidez (ver tabla 8).

Por último, poner en marcha este proyecto anima a todos los componentes de las FAS a pensar y diseñar otros sistemas que pueden ser útiles en el sector de la industria para la defensa, dado que el proyecto es relativamente sencillo y es producido por un miembro del ET (ver tabla 8).



Análisis del riesgo.

El primer riesgo que se ha podido identificar es el peligro de este material a la salud humana. Los trabajadores que interactúan de forma constante con este material presentan síntomas agudos como irritación y enrojecimiento de piel. Además del anterior, las partículas pequeñas de roca, en casos de presencia en las vías respiratorias, producen problemas significativos en los pulmones. La frecuencia de este riesgo es relativamente alta, ya que los usuarios del carro están en contacto con sus vehículos constantemente, tanto en los ejercicios tácticos como en la vida del cuartel. El efecto de este riesgo es alto también, ya que la mayoría de las filosofías de los ejércitos es que la seguridad del personal prima a cualquier otro factor (Ircservices.com, 2020).

Otro riesgo técnico identificado por los expertos de mantenimiento en la agrupación de apoyo logístico (AALOG 61) es derivado de los efectos que puede producir la tecnología que se va a llevar a cabo a la hora de instalar este material al carro, ya que las tecnologías de anclajes y adhesión no son válidas para colocar una capa de lana de roca que cubre el carro. Este riesgo tiene probabilidad de ocurrencia casi absoluta. Sin embargo, su impacto negativo es alto porque conlleva el fracaso del proyecto totalmente.

El tercer riesgo añadido a la lista fue la interacción de este producto en condiciones de lluvia. La luna de roca acumula la humedad lentamente (ECOISOLA, 2017). También en climas lluviosos almacena agua y la evaporación de esta se produce lentamente. Esto tiene relación directa con el objetivo de minimización de la firma térmica, ya que la humedad afecta al calor específico del material. Los objetos que tienen alta humedad absorben el calor de forma más lenta que los objetos secos, también lo despiden de la misma forma. El hecho de detener el calor aumenta la posibilidad de que nuestro vehículo aparezca en la pantalla de la cámara térmica del enemigo (Universidad de Extremadura, 2005). Las condiciones de lluvia también pueden producir una deformación del material. En la unidad donde estuvo destinado el autor durante las prácticas externas, en el invierno el clima es lluvioso, lo que da una alta probabilidad para este riesgo.

4.4 Análisis AHP.

El análisis AHP se ha realizado sobre tres alternativas; MCS, ADAPTIV y la lana de roca. La alternativa ULCAS no se ha integrado al análisis porque es una alternativa complementaria. El autor ha establecido tres criterios para realizar este análisis teniendo en consideración los análisis previos presentados. El primer criterio es el movimiento, que es una de las características más importantes del arma de caballería y, estudiando las debilidades de cada sistema, se ha podido observar que algunos limitan el movimiento del carro en zonas boscosas para no dañar el propio sistema. Por lo tanto, se ha establecido el movimiento en zonas boscosas como un subcriterio (ver figura 22).

El carro de combate español tiene blindajes adicionales tanto en la barcaza como en la torre (Academia de infantería, 2014). La función de este tipo de blindaje es proporcionar más protección al carro de combate contra todo tipo de amenazas posibles. El autor ha establecido dos subcriterios de la protección, el primero es la facilidad de instalar las alternativas con presencia del blindaje adicional que lleva el carro. Por otro lado, se quiere diferenciar las alternativas según la protección proporcionada por estas al carro (ver figura 22).

El tercer criterio, que se ha establecido para elegir la mejor alternativa, es la facilidad del mantenimiento, tanto en primer escalón como en segundo escalón. Hoy en día las tareas de mantenimiento son una clave para mantener la operatividad del carro y para sacar el máximo provecho en el empleo táctico. Se estableció el mantenimiento como criterio por su importancia. También decir que las tareas de mantenimiento de los tres sistemas no son igual de complejas, lo que permite evaluar cuantitativamente las alternativas. Durante las prácticas externas, se ha



podido observar que la operatividad de los vehículos que tienen tareas de mantenimiento menos complejas es siempre alta (ver figura 23).

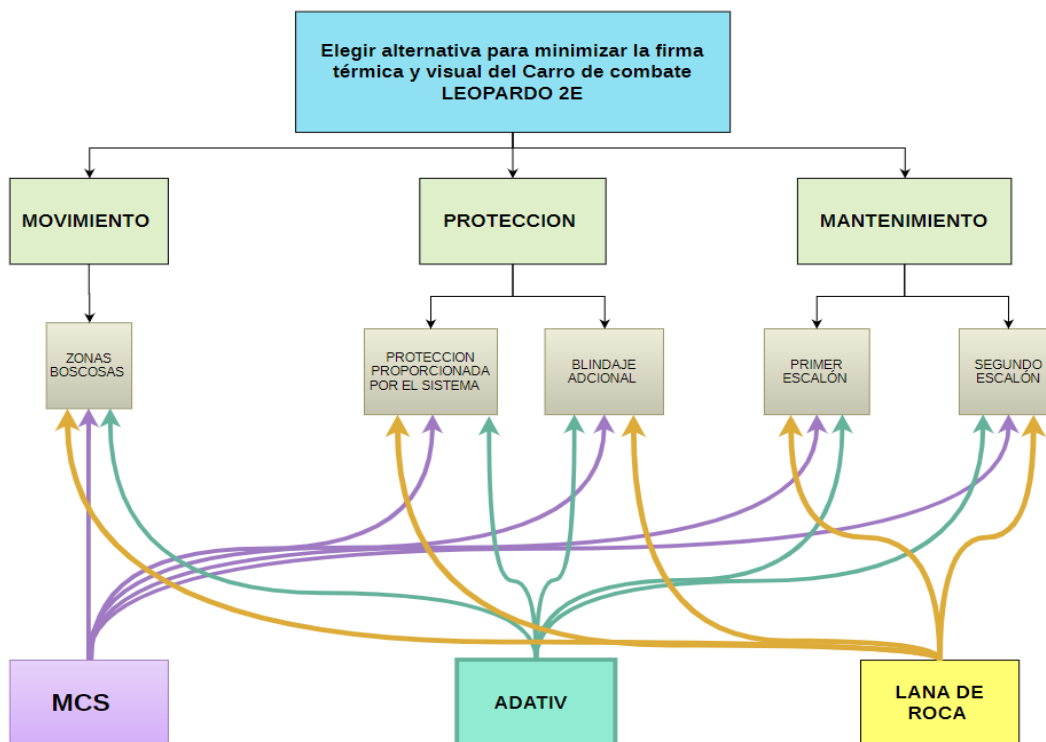


Figura 23: diagrama para el análisis AHP

Fuente: Elaboración propia.

Para poder completar este análisis se debe asignar una importancia a cada criterio y subcriterios, siguiendo la escala de Saaty, para ello el autor ha pedido esta asignación al capitán jefe del escuadrón y un teniente que dispone del curso ITA y pertenece a otro grupo de caballería (ver tabla 9).

Tabla 9: Tabla de importancia de criterios.

Fuente: Elaboración propia

	Subcriterios	CAP	TTE
1	Mantenimiento primer escalón.	5	3
2	Mantenimiento segundo escalón.	3	5
3	Movilidad en zona boscosa.	1	1
4	Presencia de blindaje adicional con el sistema.	9	9
5	Protección proporcionada por el sistema.	7	7

Según los resultados obtenidos, los expertos dan más importancia a la protección del carro, concretamente, prefieren la alternativa que deja emplear los blindajes adicionales. También confirman que la importancia de la movilidad en zona boscosa es baja, debido a las pocas tareas que tiene asignadas las unidades de caballería en este tipo de zonas. Respecto a la complejidad del mantenimiento, se puede observar que le asignan una importancia moderada, pero se cambian las opiniones entre las tareas del primer escalón o el segundo.



Para realizar el proceso del análisis AHP, se ha hecho uso una plataforma empleada en la academia de logística, desarrollada por Microsoft.

La figura 24 refleja la matriz de importancia de cada criterio respecto al resto, para incluir los valores se utilizan los valores recomendados por los usuarios y siguiendo la escala de Saaty. Después de realizar las operaciones matriciales se obtiene los datos indicados por las letras A y B. La letra A indica el porcentaje de importancia de cada criterio, donde se puede observar que la protección tiene el mayor porcentaje (65%). La letra B indica Razón de Inconsistencia, y se puede observar que es menor que 0.10, tal y como recomienda el creador de esta herramienta.

La figura 25 muestra el siguiente paso, la cual es la evaluación de los subcriterios, este paso del proceso también se ha realizado según las opiniones de los usuarios del carro. Los criterios

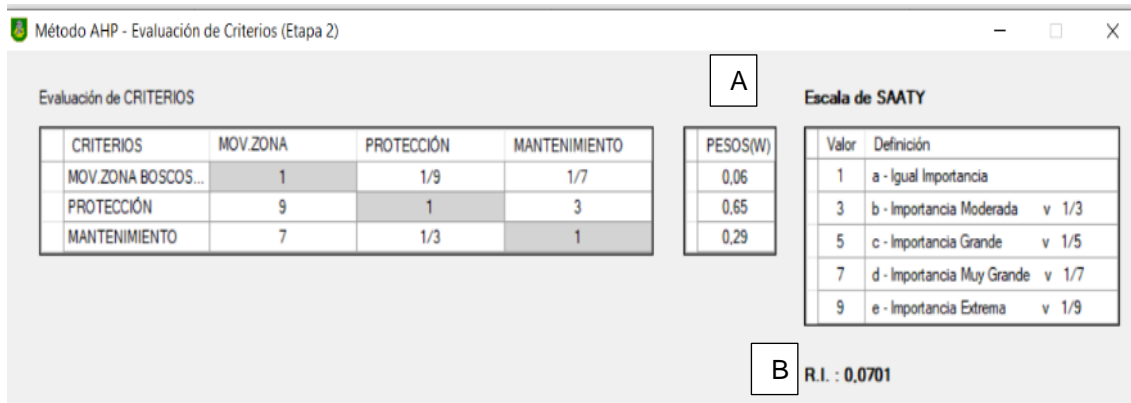


Figura 25: Figura que representa la pantalla de la aplicación en la que se presenta la matriz de importancia de criterios.

Fuente: Elaboración propia.

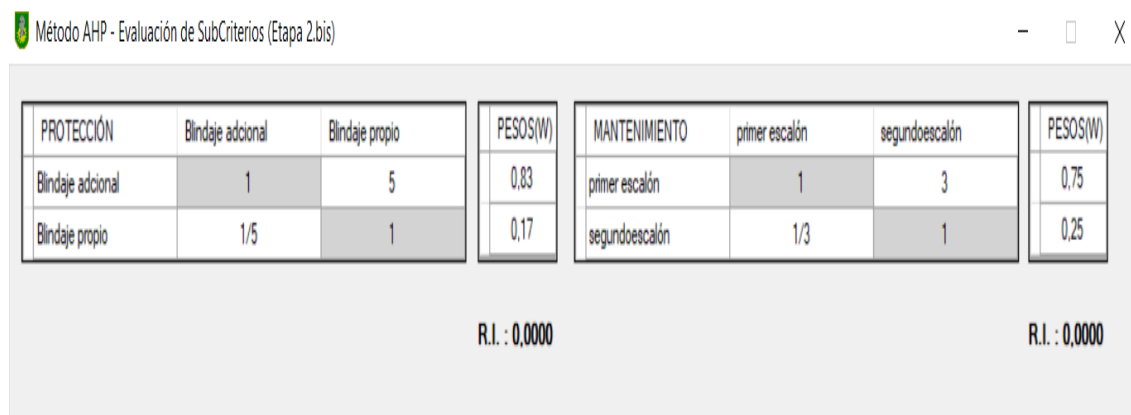


Figura 24: Figura representa la evaluación de subcriterios.

Fuente: Elaboración propia.

protección y mantenimiento han tenido dos subcriterios. La manera de evaluar estos es la misma de evaluar los criterios. Se puede observar también que dentro del criterio protección, el subcriterio facilidad de emplear blindajes adicionales con las alternativas ha tenido la mayor importancia. Y del criterio mantenimiento, el subcriterio facilidad de realizar tareas de primer escalón obtiene la importancia más alta.



Después de evaluar los criterios y subcriterios, cada uno en comparación con el otro, se evalúa cada alternativa según cada subcriterio. Para realizar este paso el autor se apoyaba en los resultados de la entrevista con el teniente Bleda, de manera que la evaluación de cada alternativa respecto a los criterios se realizó durante esta entrevista, el teniente asignaba los valores de importancia de cada alternativa respecto a los criterios de manera subjetiva en base a su experiencia en el tercer escalón de mantenimiento. La figura 26 se puede observar cinco matrices de evaluación. La matriz A presenta la evaluación de las tres alternativas según el criterio movilidad en zonas boscosas, según los resultados obtenidos en la matriz A (ver parte A1), la alternativa ADAPTIV es la mejor según este criterio. Fijándose en la matriz B, la cual presenta la evaluación de las tres alternativas según el subcriterio protección proporcionada por el propio sistema, la alternativa ADAPTIV también es la mejor según este subcriterio (ver parte

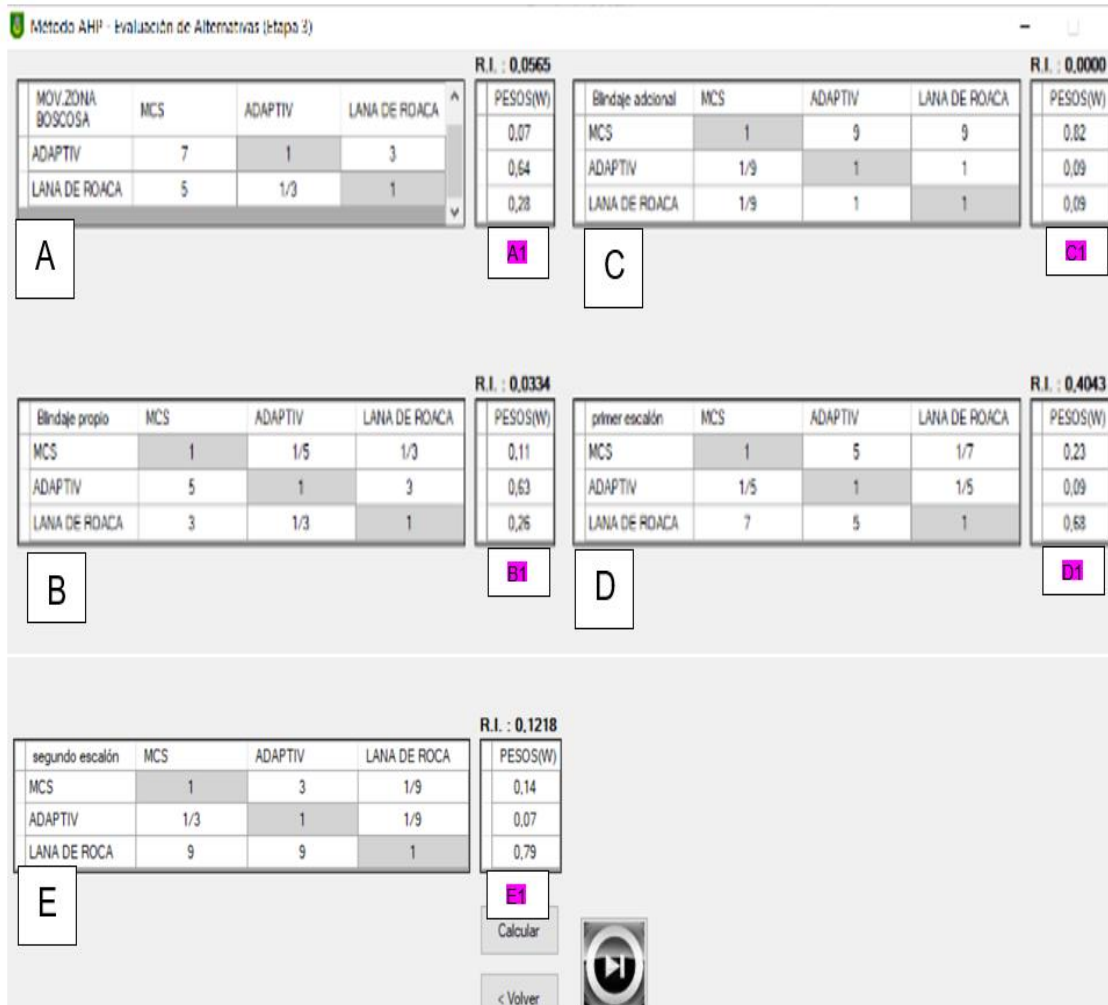


Figura 26: Figura representa matriz de evaluar las alternativas según los criterios.

Fuente: elaboración propia.

B1). La alternativa MCS es la mejor según el subcriterio de facilidad de emplear blindajes adicionales con el sistema (ver matriz C, parte C1). Por último, según el mantenimiento de primer y segundo escalón (ver matrices D, E, partes D1, E1) la alternativa lana de roca es la mejor según este criterio.

En la figura 27, se obtiene el producto final del proceso, el cual presenta un ranking de las alternativas según todos los criterios y subcriterios. El resultado obtenido es cuantitativo, por lo tanto, este tipo de análisis facilita considerablemente la comparación de las alternativas posibles. La mejor alternativa, según el análisis AHP y los criterios predeterminados es MCS.



Método AHP - Jerarquización de Alternativas (Etapa 4)

MATRIZ DE DECISIÓN

CRITERIOS / SUBCRITERIOS	PESOS	MCS	ADAPTIV	LANA DE ROCA
MOV.ZONAS BOSCOSAS	0.06	0.07	0.64	0.28
PROTECCIÓN	0.65	0.70	0.18	0.12
+ Blindaje adicional	0.83	0.82	0.09	0.09
+ Blindaje propio	0.17	0.11	0.63	0.26
MANTENIMIENTO	0.29	0.21	0.08	0.71
+ primer escalón	0.75	0.23	0.09	0.68
+ segundo escalón	0.25	0.14	0.07	0.79
		0.52	0.18	0.30

Figura 27: figura representa la tabla final del análisis AHP.

Fuente: Elaboración propia.



5 CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo ha sido alcanzado, ya que era encontrar alternativas para minimizar la firma visual y térmica de carro de combate LEOPARDO 2E. Se han encontrado varias alternativas, un total de cuatro que han sido analizadas.

Las prácticas externas, que se han realizado en el grupo de caballería Villaviciosa, han sido muy exitosas, ya que se han podido analizar las necesidades del proyecto que lleva a cabo este trabajo, tener personal experto en el tema, analizar las alternativas escogidas a nivel técnico y táctico y, por ultima, desarrollar el perfil de mando que tiene que ejercer los alumnos como oficiales en el futuro próximo.

Las conclusiones obtenidas se pueden resumir en lo siguiente:

- Todas las alternativas escogidas, cumplen el objetivo principal de este trabajo, excepto la alternativa lana de roca que es una propuesta para desarrollar un sistema en el futuro. La diferencia de las alternativas se marca respecto a los factores del ET español. Como por ejemplo el presupuesto anual del ET y la naturaleza donde se va a emplear el carro de combate.
- La mejor alternativa para adquirir es la MCS. Este resultado fue obtenido después de realizar varios análisis cualitativos y cuantitativos.
- La detección térmica es un problema que no tiene una solución absoluta. Es decir, no hay ningún sistema capaz de eliminar la firma térmica del vehículo totalmente, cuando el carro está en movimiento. Todas las alternativas minimizan la firma térmica, pero no la eliminan completamente. Por el contrario, la firma visual se puede reducir mucho más que la térmica. El motivo de esto es el grupo motor del carro, ya que al tenerlo encendido despiden una cantidad de calor enorme y a su vez debe tener acceso al aire, para poder realizar el proceso de refrigeración, lo que impide tapar unas partes del carro con las alternativas escogidas.

Las mejoras posibles:

- Este mismo proyecto se está llevando a cabo en el batallón de infantería acorazado León de regimiento Alcázar de Toledo, pero a la hora de consultar la información sobre el mismo, la respuesta era que la información es clasificada. Como mejora, se podría analizar el proyecto de batallón de carros como una alternativa más.
- Poner en contacto al Ministerio de Defensa con las empresas fabricantes de las alternativas escogidas para disponer de una información para analizar los aspectos técnicos. Además de este, disponer de información del coste para cada alternativa, el cual se considera un factor importante antes de la adquisición de cualquier sistema para la defensa.



6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academia de infantería. (2014). *CÓDIGO: A-213 TÍTULO: MANUAL DIDÁCTICO LEOPARDO 2E*. (uso interno de las fuerzas armadas) Academia de infantería, Toledo.
- ADAPTIV - *Cloak of Invisibility*. (2011). (Online) disponible en: <https://www.baesystems.com/en/feature/adativ-cloak-of-invisibility> (ultimo acceso: 15/11/2021 a las 20:00)
- Advanced armour steel. (2009). *Tipos de blindaje*. (Online) disponible en: https://wikitanks.com/index.php?title=Tipos_de_blindaje . (ultimo acceso: 15/11/2021 a las 20:00)
- Alarmas y protección electrónica. (2015). *FLIR CVS HRC cámara de seguridad térmicas*. (video online) disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=xmYujV0z9qk> .
- Benjamín Carrasco. (2021). *El Ejército español dará de baja 650 vehículos TOA, la mitad de su flota*. (Online) disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3231047/ejercito-espanol-dara-baja-650-vehiculos-toa-mitad-flota> . (ultimo acceso: 8/10/2021 a las 17:00)
- Carlos Costilla Sanz. (2017). Aplicación práctica para cámaras IR(trabajo fin de grado). (online) disponible en: https://oa.upm.es/48423/1/PFC_CARLOS_COSTILLA_SANZ.pdf .
- César Tomé López. (2016). El espectro electromagnético. (online) disponible en: <https://culturacientifica.com/2016/08/16/el-espectro-electromagnetico/> (Vol. 1, p. 1) . (ultimo acceso: 9/10/2021 a las 18:00)
- Centro universitario de la defensa (2021). Oficina de proyectos *TEMA 4 Gestión del tiempo*. Centro universitario de la defensa, Zaragoza.
- Centro universitario de la defensa (2021). oficina de proyectos. *TEMA 5 GESTIÓN DE RIESGOS*. Centro universitario de la defensa, Zaragoza
- Darren Quick. (2011a). *BAE's ADAPTIV technology renders vehicles invisible to infrared*. (Online) Disponible en: <https://Newatlas.Com/Adaptiv-Ir-Invisibility-Cloak/19748/> . (ultimo acceso: 8/10/2021 a las 17:30)
- Darren Quick. (2011b). *BAE's ADAPTIV technology renders vehicles invisible to infrared*. (Online) disponible en: <https://Newatlas.Com/Adaptiv-Ir-Invisibility-Cloak/19748/> .(ultimo acceso: 8/10/2021 a las 17:30)
- DEFENSA Y ARMAS. (2015). *SAAB devela nueva variante del sistema de camuflaje Barracuda para vehículos blindados*. (Online) disponible en: <https://Defensayarmas.Blogspot.Com/2015/09/Saab-Devela-Nueva-Variante-Del-Sistema.Html> . (ultimo acceso: 13/10/2021 a las 21:00)
- Eduardo Miquel Hernández. (2020). CÁMARAS TERMOGRÁFICAS (Trabajo fin de grado). (online). Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/21422> . (ultimo acceso: 9/10/2021 a las 18:00).
- Estado Mayor de Defensa (2019) ACAB-TA-009. (2019). *Manual de instrucción: combate de caballería*. (uso interno de las fuerzas armadas). Estado Mayor de Defensa, Madrid.
- Infoautónomos. (2020). *Guía fundamental del Análisis DAFO*. (Online) disponible en: <https://Www.Infoautonomos.Com/Plan-de-Negocio/Analisis-Dafo/> . (ultimo acceso: 20/11/2021 a las 22:00)
- Infodefensa.com. (2021). *El Ejército de Tierra invierte 14 millones en la adquisición de redes de camuflaje*. (Online) disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/2964581/ejercito-tierra-invierte-14-millones-adquisicion-redes-camuflaje> . (ultimo acceso: 15/10/2021 a las 19:00)
- Ints Kalnins. (2017). *EE. UU. "esconde" sus vehículos blindados de los Armata rusos*. (Online) disponible en: <https://actualidad.rt.com/actualidad/238579-eeuu-barracuda-esconder-vehiculos-blindados-armata> . (ultimo acceso: 23/9/2021 a las 12:30)
- Jairo Rojas Campo. (2020). Cámaras térmicas o termográficas: cómo funcionan, tipos y marcas de seguridad. (online) disponible en: <https://www.tecnoseguro.com/analisis/pro/camaras-termicas-como-funcionan-tipos-marcas-seguridad> . (ultimo acceso: 1/11/2021 a las 11:30)
- Juan Álvarez Báñez. (2015). Adaptación del carro de combate LEOPARDO 2E para el combate en el desierto (Trabajo Fin de Grado). (online) disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/94978/files/TAZ-TFG-2015-2603.pdf> .



- Mando de adiestramiento y doctrina (2000). *ESTUDIO MEDIOS DE VISIÓN NOCTURNA*. (uso interno de las fuerzas armadas) Mando de adiestramiento y doctrina, Granada.
- Mando de adiestramiento y doctrina (2018). *AGM-TM-402*. (uso interno de las fuerzas armadas). Mando de adiestramiento y doctrina, Granada.
- Mando de adiestramiento y doctrina (2021). *PD4-200 (vol. II)*. (uso interno de las fuerzas armadas). Mando de adiestramiento y doctrina, Granada.
- Manuel Talleo. (2021). Radiación infrarroja. (online) disponible en: <https://www.elcorreo.com/vivir/ciencia/radiacion-infrarroja-20210919114140-ntrc.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.es%2F>. (ultimo acceso: 20/11/2021 a las 22:00)
- Matvey Zheleznyak. (2012). *Sistemas de vehículos blindados de camuflaje visual de BAE Systems*. (Online) disponible en <https://es.topwar.ru/11773-sistemy-vizualnogo-kamuflyazha-bronetehniki-ot-bae-systems.html>. (ultimo acceso: 20/12/2021 a las 18:00)
- Milena González. (2021). *Análisis DAFO: Guía con Ejemplos + 3 Herramientas Gratuitas*. (Online) disponible en: <https://Aulacm.Com/Analisis-Dafo-Ejemplo-Plantilla/>.
- Ratiwanchai. (2020). (*Trabajo Fin de Grado*) *Estudio e investigación de materiales que favorezcan la ocultación y el enmascaramiento del Vehículo de Exploración y Reconocimiento Terrestre*.
- Robert Johnson. (2012). *Invisibility Cloak Allows Combat Vehicles To “Disappear” And Change Shape*. (Online) disponible en: <https://www.businessinsider.com/bae-systems-adaptiv-invisibility-cloak-combat-vehicles-disappear-2011-9>. (Ultimo acceso: 12/10/2021 a las 12:00)
- SAAB. (2019). *We’ve got you covered*. (Online) disponible en: <https://www.Saab.Com/Products/Ulcas>. (Ultimo acceso: 5/10/2021 a las 13:00)
- SAAB. (2021). *Mobile Camouflage System*. (Online) disponible en: <https://www.Saab.Com/Products/Mcs-Mobile-Camouflage-System>. (ultimo acceso: 5/10/2021 a las 13:00)
- Saab Barracuda Mobile Camouflage System (MCS)*. (2015). (Online) disponible en: <http://www.Army-Guide.Com/Eng/Product5210.Html>. (Ultimo acceso: 5/10/2021 a las 18:00)
- SAATY, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*, 15, 231–281.
- SweVHSrip. (2011). *Saab barracuda Signature Management Static Camouflage*. (video online) disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=lqLBieptt2c>.
- Tamir eshil. (2011). *BAE Systems to Unveil Adaptive Camouflage Cloak for Combat Vehicles at DSEi*. (Online) disponible en: https://defense-update.com/20110905_bae-adaptiv_camouflage.html. (ultimo acceso: 28/12/2021 a las 13:00)
- Tanks test infrared invisibility cloak. (2011). *BBC*. (online) disponible en: <https://www.bbc.com/news/technology-14788009>.
- TELEDYNE FLIR. (2020). *How Do Thermal Cameras Work?* (online) disponible en: <https://www.flir.com/discover/rd-science/how-do-thermal-cameras-work/>. (ultimo acceso: 5/10/2021 a las 17:00)
- Víctor Trapero Morales. (2018). *Sistema de protección pasiva para carros de combate (Trabajo Fin de Grado)*. (online) disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/324149331.pdf>. (ultimo acceso: 3/10/2021 a las 13:00)
- Víctor Yepes Piqueras. (2008). *Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)*. (Online) disponible en: <https://Victoryepes.Blogs.Upv.Es/2018/11/27/Proceso-Analitico-Jerarquico-Ahp/>. (ultimo acceso: 26/10/2021 a las 19:00)
- VICTORIA FUENTES. (2020). *La alucinante evolución de los carros de combate: desde Leonardo da Vinci hasta nuestros días*. (Online) disponible en: <https://www.Motorpasion.Com/Otros/Alucinante-Evolucion-Carros-Combate-Leonardo-Da-Vinci-Nuestros-Dias-Ri>. (ultimo acceso: 3/12/2021 a las 17:00)
- Webinfomil. (2020). *Saab anunció el 17 de septiembre que ha recibido un pedido por parte de General Dynamic*. (Online) disponible en: <https://www.webinfomil.com/2015/11/saab-recibe-pedido-de-general-dynamics.html>. (ultimo acceso: 3/10/2021 a las 13:00)



ANEXOS

ANEXO 1: Preguntas de la encuesta.

Test de autoevaluación en blanco

Detección Térmica e Infrarroja

1. considera usted que la detección térmica es una amenaza real al carro de combate.

Marca solo un óvalo.

- si
 no

2. cual es la probabilidad de que su carro de combate sea detectado por el adversario en el campo de batalla hoy en día.

Marca solo un óvalo.

- muy alta
 alta
 muy baja
 baja

3. Considera usted que la detección térmica o infrarroja es un aumento de la vulnerabilidad del carro de combate.

Marca solo un óvalo.

- si
 no



4. cree usted que una posible solución para minimizar la probabilidad de detección térmica es blindaje compuesto que disminuye la radiación infrarroja.

Marca solo un óvalo.

- puede ser una alternativa.
- es la única solución
- un proyecto de este tipo puede tener alto riesgo.

5. conoce usted un carro de combate, a nivel mundial, que ya tenga este tipo de blindaje compuesto. en caso afirmativo cual es?

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios



ANEXO 2: plantilla para evaluar el riesgo.

- **Clasificación y priorización de los riesgos identificados.**
- Usar **matriz de probabilidad e impacto**, así como el plazo y la tolerancia al riesgo de las restricciones del proyecto como coste, tiempos, alcance y calidad.

Probabilidad	Alta	0	1	1
	Media	1	3	6
	Baja	2	2	6
		Bajo	Medio	Alto
		Impacto		

1 Bajo
2 Medio
3 Alto

L Low
M Medium
H High

Número de riesgos

Clase riesgo	Nr
Crítico	1
Alto – medio	7
Medio	12
Bajo	2
Total:	22

Riesgos Bajos: no se prevé ninguna acción ya que se asumen las consecuencias en caso de materializarse.

Riesgos Moderados: se plantea un seguimiento y control de las áreas afectadas por el riesgo. En función de la evolución del mismo proponer una acción mitigadora o asumir el riesgo.

Riesgos Altos/Críticos: se plantean acciones mitigadoras para evitar que el riesgo se materialice y/o en caso de hacerlo reducir el impacto.



ANEXO 3: Fotos descriptivas



Figura 1: escotilla del jefe y cargador.



Figura 2: barcaza, parte del motor con el cañón apuntado a las 6.

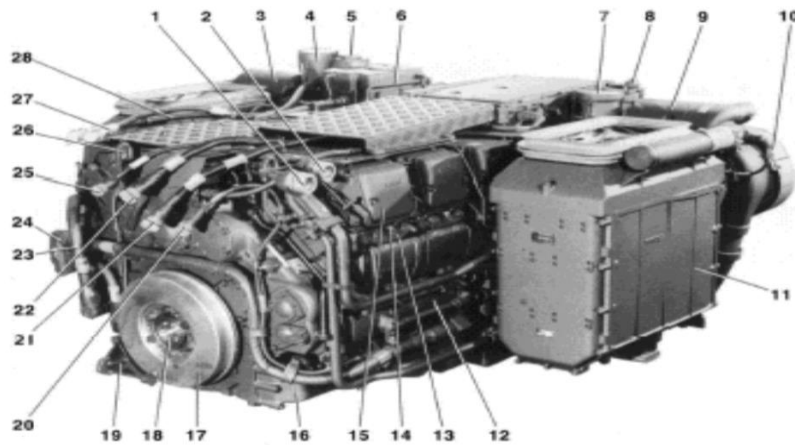


Figura 3: El motor



Figura 4: cámara del conductor.



Figura 5: Tren de rodaje derecho.



Figura 6: tubo de escape izquierdo



Figura 7: tubo de escape derecho.



Figura 8: funcionamiento de cámara térmica en oscuridad.



Figura 9: funcionamiento de cámara térmica en ámbito de humo.

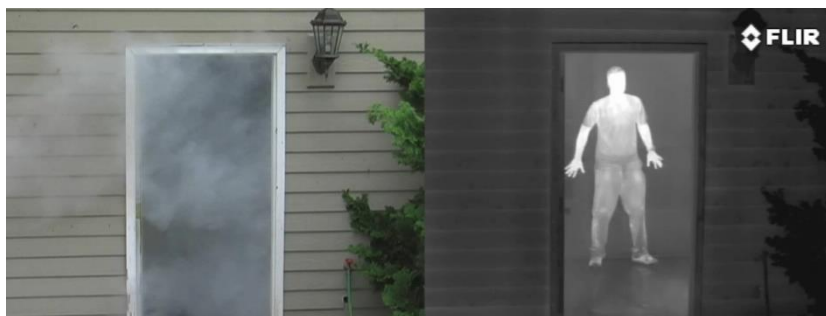


Figura 10: funcionamiento de cámara térmica en ámbito de humo



ANEXO 4: Resumen de respuestas de la encuesta.

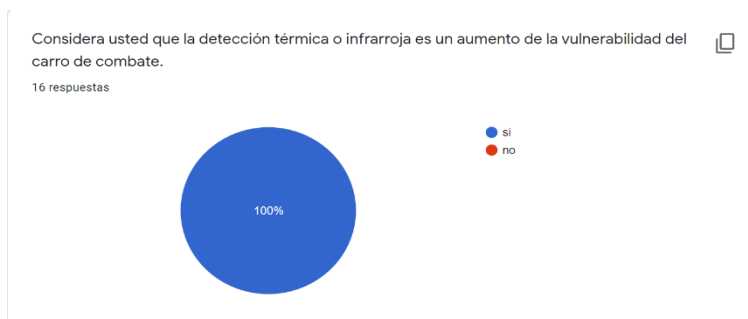
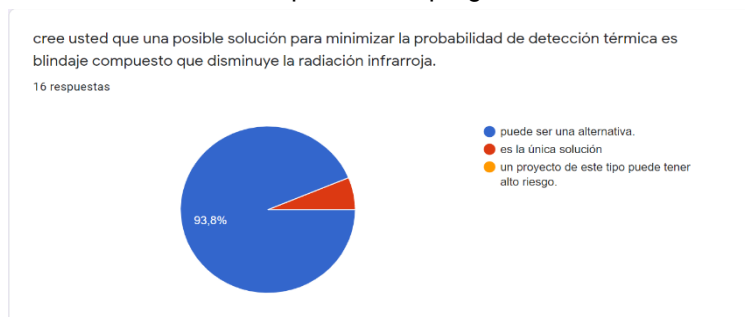


Resumen de respuestas de pregunta número 1



Resumen de respuestas de pregunta número 2

Resumen de respuestas de pregunta número 3



Resumen de respuestas de pregunta número 4



conoce usted un carro de combate, a nivel mundial, que ya tenga este tipo de blindaje compuesto. en caso afirmativo cual es?

8 respuestas

No

4 respuestas

no

1 respuesta

T14 Armata

1 respuesta

El Leopard 2 y casi todos los carros tienen blindaje compuesto. Para la reducción de firma infrarroja se puede emplear unas redes de camuflaje que se instalan a cierta distancia del blindaje y da una firma térmica parecida al entorno. La vegetación sobre el vehículo simula este mismo efecto

1 respuesta

T14 Armata, M1A2 Abrams, Merkava IV

Resumen de respuestas de pregunta número 5



ANEXO 5: fotografía de practica para la alternativa lana de roca

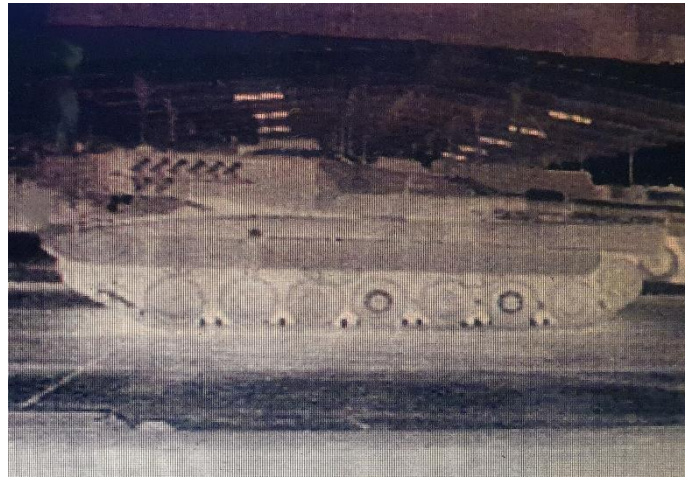


Figura 1: vista lateral del carro de combate sacada por cámara térmica del conductor. (blanco caliente).



Figura 2: vista lateral del carro de combate por cámara normal por la noche.



Figura 3: vista lateral de la torre sacada por cámara térmica del jefe de carro (blanco caliente), con lana de roca instalada entre el torre y la barcaza.

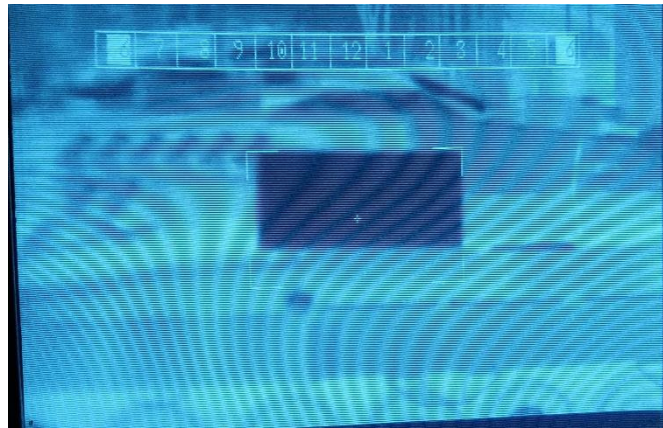


Figura 4: vista de la parte trasera de la barcaza sacada por cámara térmica del jefe de carro (blanco caliente), con lana de roca instalada.

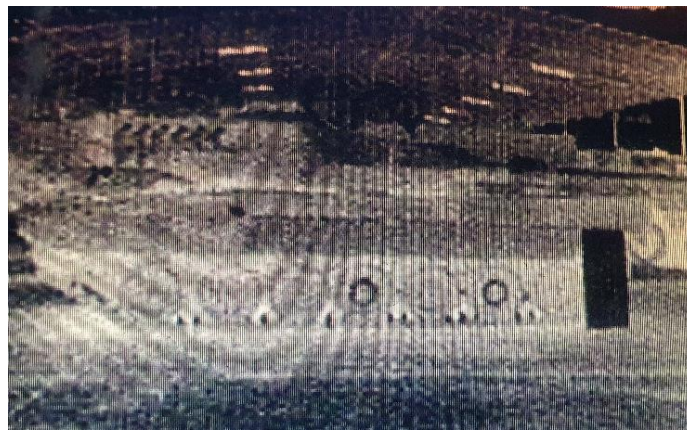


Figura 5: vista lateral del carro de combate sacada por cámara térmica del conductor (blanco caliente), con lana de roca instalada sobre la rueda propulsora

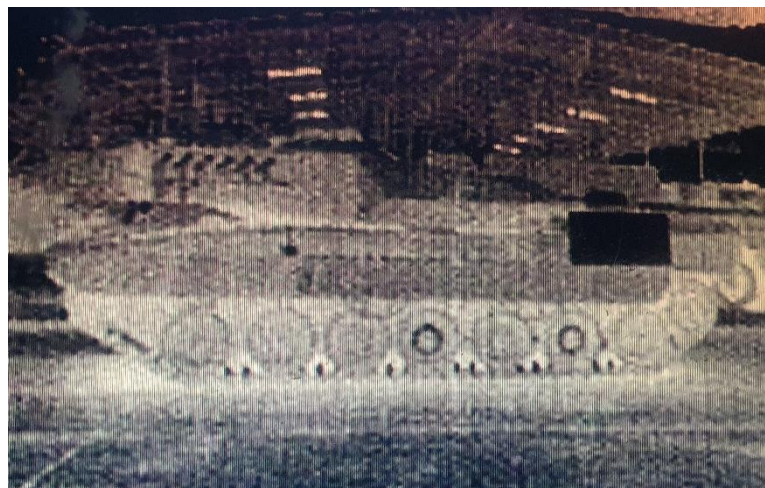


Figura 6: vista lateral del carro de combate sacada por cámara térmica del conductor (blanco caliente), con lana de roca instalada sobre la parte trasera de la barcaza