



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

SISTEMA DE VISIÓN DE REALIDAD AUMENTADA VIRTUAL MULTIPLATAFORMA COMO ASISTENTE AL MANDO EN DISPOSICIÓN DE COMBATE

Alejandro Rodríguez Valencia

Director académico: Jorge González Chapela

Director militar: Tarik Boukharta Abdeslam

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2022



Agradecimientos

En primer lugar, quiero dar las gracias al profesor Jorge González Chapela por su constante compromiso y disponibilidad como director académico para ayudar en todas las vicisitudes que me han ido aconteciendo a lo largo de la elaboración del trabajo.

Quiero dar también las gracias al personal del segundo escuadrón del RC "Montesa 3" por el buen trato recibido y por hacer que las ganas de empezar mi andadura profesional no hiciesen más que aumentar. Agradecer a mi director militar, el capitán Tarik Boukharta Abdeslam, su ayuda para escoger el título y guiarme en los inicios de este trabajo. Pero especialmente, dar las gracias al teniente Ariza por los distintos conocimientos que ha intentado transmitir y sobre todo por darme la confianza que uno necesita cuando llega nuevo a algún sitio.

En último lugar, quiero agradecer a todas las personas que a lo largo de mi vida me han impulsado a seguir hacia delante y son partícipes indirectamente de la realización de este trabajo. Agradecer a mi familia por el apoyo ofrecido durante estos últimos años y especialmente a mi madre, quién ha estado siempre a mi lado ayudándome y sin la cuál no habría llegado a estar escribiendo esto ahora mismo.





RESUMEN

En la actualidad diversos ejércitos extranjeros han comenzado a hacer uso de tecnologías de última generación, como por ejemplo la Realidad Virtual (RV) y la Realidad Aumentada (RA), para solventar diversos problemas que se presentan a las unidades blindadas a la hora de entrar en combate. Esta situación da pie a la realización de este trabajo, que a la vez que intenta poner al mismo nivel al Ejército español en materia de tecnología, trata de solventar diversos problemas actuales de los blindados cuando emplean sus sistemas de visión en disposición de combate (es decir cuando cierran la escotilla del vehículo).

Las situaciones de combate se caracterizan por su elevado estrés, factor que influye negativamente en la tripulación de un blindado, estrés que, si cabe, se ve aumentado al usar un sistema de visión que presenta diversos problemas, como por ejemplo incapacidad en la visión cercana del blindado, dificultad en la observación aérea, discontinuidad en la visión del exterior (con sus consiguientes problemas de desorientación) y dificultades en el ejercicio del mando.

Con el fin de solventar estos problemas, se plantea un sistema de visión que se apoye en las tecnologías de RA y RV. La investigación inicial se ha llevado a cabo mediante la realización de encuestas al personal del RC "Montesa 3", partiendo de unas primeras nociones ofrecidas por el DIRMIL, quien propuso el título del TFG y detectó la problemática.

Se realiza una propuesta de material que permite la creación de un sistema de visión de Realidad Aumentada Virtual en un periodo de tiempo corto y a un coste relativamente bajo, con el fin de facilitar su introducción en las unidades acorazadas. Dentro de este sistema se detectaron las gafas de RV como el elemento más importante por lo que se realizó una selección inicial atendiendo a diversos criterios.

Posteriormente, tras la realización de esta selección inicial se procede a la aplicación del método AHP para los 3 modelos de gafas escogidos con el fin de facilitar la comparación. El modelo seleccionado finalmente es HP Reverb G2, que consigue la mejor valoración según la jerarquía establecida en los distintos criterios y subcriterios.

Tras la elección de gafas de RV, se estudia las áreas de visión que el nuevo sistema ofrecería a los usuarios. Este cumple con el objetivo inicial, reduciendo en un 68,95% la zona no visible (menos de una tercera parte de la que se tiene actualmente con los periscopios de observación).

En último lugar, se presenta un análisis DAFO con el fin de mostrar como las debilidades del sistema convencional pasan a ser fortalezas en el nuevo sistema de Realidad Aumentada Virtual planteado, cumpliendo así con los distintos objetivos iniciales planteados.

Palabras clave

Leopard 2A4, método AHP, periscopio, Realidad Virtual, sistema de visión 360°.



ABSTRACT

Currently, several foreign armies have begun to make use of the latest generation technologies, such as Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR), to solve various problems that armoured units face when entering combat. This situation has given rise to this work, which, while trying to bring the Spanish Army up to the same level in terms of technology, attempts to solve various current problems of armoured vehicles when they use their vision systems in combat readiness (i.e. when they close the hatch of the vehicle).

Combat situations are characterised by high stress, a factor that has a negative influence on the crew of an armoured vehicle, a stress that, if anything, is increased when using a vision system that presents various problems, such as inability to see the armoured vehicle up close, difficulty in aerial observation, discontinuity in the view of the exterior (with its consequent problems of disorientation) and difficulties in the exercise of command.

In order to overcome these problems, a vision system based on AR and VR technologies is proposed. The initial research was carried out by conducting surveys of the personnel of the "Montesa 3" Cavalry Regiment, based on initial notions offered by the DIRMIL, who proposed the title of the TFG and detected the problems.

A proposal is made for material that allows the creation of a Virtual Augmented Reality vision system in a short period of time and at a relatively low cost, with the aim of facilitating its introduction in armoured units. Within this system, VR glasses were identified as the most important element and an initial selection was made based on various criteria.

Subsequently, after this initial selection, the AHP method was applied to the 3 models of glasses chosen in order to facilitate the comparison. The model finally selected is HP Reverb G2, which achieves the best evaluation according to the hierarchy established in the different criteria and sub-criteria.

After the choice of VR glasses, the areas of vision that the new system would offer users are studied. It meets the initial objective, reducing the non-visible area by 68.95% (less than a third of that currently available with observation periscopes).

Finally, a SWOT analysis is presented in order to show how the weaknesses of the conventional system become strengths in the new Virtual Augmented Reality system proposed, thus fulfilling the various initial objectives set out.

KEYWORDS

AHP method, Leopard 2A4, periscope, Virtual Reality, 360° vision system.



INDICE DE CONTENIDO

<i>Agradecimientos</i>	<i>I</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>III</i>
<i>Palabras clave</i>	<i>III</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>IV</i>
KEYWORDS.....	IV
<i>INDICE DE FIGURAS</i>	<i>VII</i>
<i>INDICE DE TABLAS</i>	<i>X</i>
<i>ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS</i>	<i>XI</i>
<i>1 INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
<i>2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA</i>	<i>2</i>
2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE.....	2
2.2 METODOLOGÍA.....	3
<i>3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO</i>	<i>4</i>
3.1 SITUACIÓN ACTUAL Y PROBLEMÁTICA.....	4
3.2 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS.....	5
3.3 ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA DE RV Y RA.....	7
3.3.1 SISTEMAS ACTUALES EN EL MUNDO CIVIL.....	7
3.3.2 SISTEMAS ACTUALES MILITARES EN EJÉRCITOS EXTRANJEROS.....	8
3.3.3 SISTEMAS ACTUALES MILITARES EN ESPAÑA.....	10
<i>4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS</i>	<i>10</i>
4.1 ENCUESTA SOBRE LA IMPORTANCIA DEL NUEVO SISTEMA DE VISIÓN.....	11
4.2 ESQUEMA DEL SISTEMA DE VISIÓN Y MATERIAL NECESARIO.....	13



4.2.1	SELECCIÓN INICIAL DE GAFAS VR PARA EL SISTEMA DE VISIÓN	15
4.3	ANÁLISIS MULTICRITERIO BASADO EN EL MÉTODO AHP	20
4.3.1	ELECCIÓN DE CRITERIOS Y SUBCRITERIOS	21
4.3.2	REPRESENTACIÓN VISUAL DEL PROBLEMA.....	23
4.3.3	VALORACIÓN DE CRITERIOS Y SUBCRITERIOS.....	23
4.3.4	VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS	27
4.3.5	PRIORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	29
4.4	ESTUDIO DE MEJORA DE LA VISIÓN EN EL LEOPARD 2A4	30
4.5	DAFO DEL SISTEMA DE VISIÓN ACTUAL Y SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA VIRTUAL.....	35
5	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	37
5.1	CONCLUSIONES.....	37
5.2	LÍNEAS FUTURAS.....	38
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ángulos muertos de visión y periscopios de observación. Fuente: (Estado Mayor, 1997)	4
Figura 2. Ubicación de un mueble con RA y hologramas con RM. Fuente: Ikea Place y Microsoft.	6
Figura 3. Hololens 2 en atención sanitaria. Fuente: (Microsoft, 2021).	7
Figura 4. Sistema CRS. Fuente: (Álvarez, 2016).	8
Figura 5. IRON VISION en tripulación. Fuente: (Elbit Systems, 2021).	9
Figura 6. IVAS en soldados americanos. Fuente: (Bach, 2021).	9
Figura 7. Gráficos encuesta justificativa (introducción). Fuente: Elaboración propia ...	11
Figura 8. Gráficos encuesta justificativa (parte 1 desarrollo). Fuente: Elaboración propia.	12
Figura 9. Gráficos encuesta justificativa (parte 2 desarrollo). Fuente: Elaboración propia.	12
Figura 10. Gráficos encuesta justificativa (final). Fuente: Elaboración propia.	12
Figura 11. Esquema sistema de visión. Fuente: Elaboración propia.	13
Figura 12. Insta 360 Pro. Fuente: (Insta360, 2021).	14
Figura 13. Pirámide de jerarquización de especificaciones. Fuente: Elaboración propia.	15
Figura 14. Resolución de los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.	16
Figura 15. Campo de visión de los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia. ...	16
Figura 16. HP Reverb G2. Fuente: (HP, 2020).	17
Figura 17. HTC Vive Pro. Fuente: (Martí, 2021).	18
Figura 18. VALVE Index. Fuente: (VALVE, 2019).	19
Figura 19. Pasos a realizar en el método AHP. Fuente: Elaboración propia.	21
Figura 20. Árbol de jerarquías. Fuente: Elaboración propia.	23
Figura 21. Matriz de comparaciones pareadas (Izda), Condición de Reciprocidad (Dcha). Fuente: (Muñoz Claro, 2017)	25
Figura 22. Matriz de comparación de criterios. Fuente: Elaboración propia.	25
Figura 23. Pesos relativos de criterios. Fuente: Elaboración propia.	25



Figura 24. Razón de Consistencia. Fuente: (Muñoz Claro, 2017).	26
Figura 25. Matriz de comparación de subcriterios de especific. Fuente: Elaboración propia.	26
Figura 26. Matriz de comparación de subcriterios de ergonomía. Fuente: Elaboración propia.	27
Figura 27. Matriz de comparación de subcriterios de costes. Fuente: Elaboración propia.	27
Figura 28. Matriz de comparación de alternativas (Especific.). Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 29. Matriz de comparación de alternativas (Ergonomía). Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 30. Matriz de comparaciones de alternativas (costes). Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 31. Matriz de comparación de alternativas. Fuente: Elaboración propia.....	29
Figura 32. Vista lateral del Leopard 2A4 y cotas auxiliares. Fuente: Elaboración propia (zona-militar, 2018).....	30
Figura 33. Realización de Teorema de Tales. Fuente: Elaboración propia (zona-militar, 2018).	31
Figura 34. Vista frontal del Leopard 2A4 y cota auxiliar. Fuente: Elaboración propia (zona-militar, 2018).....	31
Figura 35. Zonas no visibles desde la ubicación para la cámara. Fuente: Elaboración propia.	32
Figura 36. Triángulo rectángulo para cálculo de ángulo α . Fuente: Elaboración propia.	32
Figura 37. Fórmulas trigonométricas. Fuente: Elaboración propia.	32
Figura 38. Triángulo rectángulo para cálculo de distancia. Fuente: Elaboración propia. (izda).	33
Figura 39. Gráfico comparativo de áreas no visibles. Fuente: Elaboración propia. (dcha).	33
Figura 40. Fórmulas para cálculo de áreas. Fuente: Elaboración propia.....	33
Figura 41. Análisis DAFO del sistema de visión actual en el Leopard 2A4. Fuente: Elaboración propia.....	35
Figura 42. Análisis DAFO del sistema de visión de Realidad Aumentada Virtual. Fuente: Elaboración propia.....	36



Figura 43. Sistema de ecuaciones para obtener w. Fuente: (Muñoz Claro, 2017).	42
Figura 44. Fórmulas para obtener el Vector de Pesos Relativos. Fuente: (Muñoz Claro, 2017).	42
Figura 45. Razón de Consistencia. Fuente: (Muñoz Claro, 2017).	42
Figura 46. Índice de consistencia. Fuente: (Muñoz Claro, 2017).....	43
Figura 47. Fórmula para obtención de $\lambda_{m\acute{a}x}$. Fuente: (Muñoz Claro, 2017).	43
Figura 48. Tabla de valores para IA en función de n. Fuente: (Muñoz Claro, 2017). ...	43
Figura 49. HP Reverb G2. Fuente: (HP, 2020).....	44
Figura 50. HTC Vive Pro. Fuente: HTC.....	45
Figura 51. HTC Vive Pro 2. Fuente: HTC.....	46
Figura 52. OCULUS Rift S. Fuente: Oculus.	47
Figura 53. HTC Vive Cosmos Elite. Fuente: HTC.	48
Figura 54. SAMSUNG Odissey + VR. Fuente: SAMSUNG.	49
Figura 55. VALVE Index. Fuente: Valve.....	50
Figura 56. Triángulo rectángulo para cálculo de ángulo α . Fuente: Elaboración propia	51
Figura 57. Fórmulas trigonométricas. Fuente: Elaboración propia.	51
Figura 58. Triángulo rectángulo para cálculo de la distancia. Fuente: Elaboración propia.	51
Figura 59. Triángulo rectángulo para cálculo de ángulo interior. Fuente: Elaboración propia.	52
Figura 60. Vista frontal del Leopard 2A4 y cota auxiliar. Fuente: Elaboración propia (zona-militar, 2018).....	52
Figura 61. Gráfico comparativo de áreas no visibles. Fuente: Elaboración propia.	53
Figura 62. Fórmulas para cálculo de áreas. Fuente: Elaboración propia.....	53



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos mínimos de PC. Fuente: Elaboración propia.....	14
Tabla 2. Características del sistema HP Reverb G2. Fuente: Elaboración propia.	17
Tabla 3. Características del sistema HTC Vive Pro 2. Fuente: Elaboración propia.	18
Tabla 4. Características del sistema VALVE Index. Fuente: Elaboración propia.....	19
Tabla 5. Escala de Saaty. Fuente: Elaboración propia.....	24
Tabla 6. Escala de Saaty. Fuente: Elaboración propia.....	24
Tabla 7. Comparativa de sistemas de visión. Fuente: Elaboración propia.....	34
Tabla 8. Características del sistema HP Reverb G2. Fuente: Elaboración propia.	44
Tabla 9. Características del sistema HTC Vive Pro. Fuente: Elaboración propia.	45
Tabla 10. Características del sistema HTC Vive Pro 2. Fuente: Elaboración propia....	46
Tabla 11. Características del sistema OCULUS Rift S. Fuente: Elaboración propia....	47
Tabla 12. Características del sistema HTC Vive Cosmos Elite. Fuente: Elaboración propia.	48
Tabla 13. Características del sistema SAMSUNG Odissey + VR. Fuente: Elaboración propia.	49
Tabla 14. Características del sistema VALVE Index. Fuente: Elabroación propia.	50



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AHP	Analytic Hierarchy Process
BMS	Battlefield Management System
CRS	Circular Review System
CUD	Centro Universitario de la Defensa
DAFO	Referido al análisis DAFO
DIP	Distancia Interpupilar
DIRMIL	Director Militar
FOV	Campo de visión
IVAS	Integrated Visual Augmentation System
LCD	Liquid-crystal display
OLED	Organic light-emitting diode
PC	Personal Computer
RA	Realidad aumentada
RAE	Real Academia Española
RAM	Random Access Memory
RC	Regimiento de Caballería
RM	Realidad mixta
RV	Realidad virtual
TFG	Trabajo fin de grado
USB	Universal Serial Bus
VCI	Vehículo de Combate de Infantería
VEC	Vehículo de Exploración de Caballería



1 INTRODUCCIÓN

Mediante la realización de este TFG se va a buscar dar solución a una gran problemática que se hace extensible a todas las unidades de caballería actualmente, siendo esta problemática la dificultad que presenta para el jefe de carro el ejercicio del mando y control cuando los vehículos acorazados entran en disposición de combate, es decir, cuando las escotillas se cierran y la tripulación se tiene que apoyar en los distintos elementos de visión que incorpora el blindado para poder seguir combatiendo.

El punto anterior es la razón principal que justifica la realización de este trabajo. Sin embargo, podemos enumerar diversas razones que respaldan y aumentan aún más si cabe la importancia que le deberíamos otorgar al desarrollo y futura implantación de un sistema como este en nuestros vehículos acorazados:

- Facilitar la adquisición de objetivos en situación de combate con escasez de información y con condiciones meteorológicas adversas.
- Nuevo sistema para detección visual de enemigos que empleen el espacio aéreo. Con los sistemas de visión actuales en disposición de combate la detección de aviones, helicópteros o drones es prácticamente imposible. Este es un punto muy importante teniendo en cuenta la sensibilidad de los carros ante la exposición de los blindados a este tipo de medios.
- Facilitar la navegación al jefe de carro. Actualmente es muy fácil que el jefe de carro pueda desorientarse y perder un tiempo que en combate puede ser primordial.
- Facilitar el mando y control. El hecho de tener un amplio campo visual facilita la identificación de la posición de las distintas unidades lo cual permitirá realizar una maniobra más rápida y eficaz.
- Reducir la fatiga del jefe de carro.
- Mejorar la capacidad de supervivencia del carro, asegurando el cumplimiento de la misión y reduciendo la probabilidad de daños entre la tripulación.
- Aprovechar las habilidades con la tecnología que las nuevas generaciones han ido desarrollando a lo largo de los años.
- Situar los vehículos de combate de nuestras unidades en un nivel tecnológico superior buscando estar en sintonía con el resto de unidades militares del mundo.



2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo general de este TFG es el de presentar un sistema de visión de 360 grados que sea apto para solventar el problema de mando y control para el que ha sido diseñado mediante el empleo de las tecnologías de Realidad Aumentada y Realidad Virtual, además de sentar una base de cara a proyectos más avanzados en esta materia en vehículos.

Los distintos objetivos específicos que se han establecido son los siguientes:

- Realizar un estudio de la situación actual y problemática con los medios de visión actuales en los carros de combate.
- Presentar la tecnología de Realidad Virtual y Aumentada como una posible solución ante los problemas que existen actualmente con los medios de visión que incorporan los carros de combate.
- Clarificar los distintos conceptos entorno a la Realidad Virtual y Aumentada, así como explicar el porqué del nombre del proyecto.
- Conocer los avances actuales en España y en ejércitos extranjeros en materia de Realidad Virtual y Aumentada.
- Conocer las distintas necesidades y las dificultades que atraviesan los jefes de carro mediante el empleo de los sistemas de visión actuales, así como encuestar si la Realidad Virtual podría resolver los distintos problemas.
- Realizar una propuesta inicial de material que facilite que el sistema de visión sea fácilmente adoptado por el Ejército de Tierra, a relativo bajo coste y de manera prácticamente inmediata.
- Proponer un sistema de visión de 360 grados apto para ser implementado en cualquier plataforma vehicular del Ejército de Tierra con vistas a mejorar sus capacidades de observación.
- Comparar las distintas opciones que existen en el mercado de gafas de Realidad Virtual y tomar la decisión de qué gafas son las más aptas para el nuevo sistema.
- Realizar una propuesta de ubicación de la cámara de 360 grados para el modelo Leopard 2A4 además del estudio del área no visible mediante el empleo del sistema.
- Comparar el sistema de visión actual con el sistema de visión propuesto para mostrar las ventajas obtenidas a través de la implantación de la Realidad Aumentada Virtual en el carro de combate Leopard 2A4.

En cuanto al alcance, el trabajo buscará establecer un modelo de sistema de visión de 360 grados el cuál podrá ser implementado de inmediato en los vehículos blindados de las unidades del Ejército de Tierra. Aunque el sistema de visión va a ser diseñado en un inicio para su implementación en el Leopard 2A4, su adaptación a otras plataformas de blindados sería muy sencilla y altamente eficaz ya que actualmente los problemas de visión son muy similares. El sistema sería de gran utilidad en otros blindados tales como el Leopardo 2E, Pizarro y VEC, ya



que a pesar de que puedan existir variaciones en cuanto al área visible con el sistema de visión convencional siempre se obtendrá una mejora en cuanto a orientación, conciencia situacional y control del espacio aéreo.

A pesar de que en el TFG no se contempla la adquisición del sistema como tal, sí se tendrá en cuenta la importancia de los costes de cara a facilitar su incorporación en los vehículos.

El sistema de visión de 360 grados conjugará las tecnologías de Realidad Virtual y Realidad Aumentada, sin embargo esta última será menos trabajada debido a la inexistencia de un sistema precedente y porque las funciones que esta tecnología nos aportaría caen en un segundo plano al inicio de este proyecto. En la primera versión de este sistema será necesario fijar las bases en materia de Realidad Virtual para que en futuros avances la Realidad Aumentada permita añadir nuevas funcionalidades.

2.2 METODOLOGÍA

Para la realización de este TFG se han hecho uso de distintas metodologías. A continuación se exponen:

- **Revisión documental:** para obtener la distinta información para definir con claridad los conceptos de RV y RA se emplearon distintas webs especializadas en la materia. También se acudió a la Biblioteca Virtual de Defensa para obtener una publicación que ayudó en la realización de las definiciones anteriores además de obtener información sobre la actualidad en el exterior y en nuestro país en esta materia, además de obtener el manual de usuario del Leopard 2A4 al que se ha tenido que recurrir en múltiples ocasiones para el estudio de implementación de la cámara.
- **Investigación:** para poder obtener los distintos modelos de gafas de realidad virtual existentes en el mercado se tuvo que visitar diferentes páginas de venta online y leer artículos de actualidad acerca de los modelos que serían compatibles con el proyecto.
- **Entrevistas:** se han realizado diversas entrevistas con el DIRMIL de cara a establecer los criterios con los que debía cumplir las gafas de realidad virtual.
- **Encuestas:** se ha procedido a realizar una encuesta entre los jefes de carro al alcance con el objetivo de conocer las dificultades actuales y su opinión acerca de cual podría ser una posible solución.
- **Metodología AHP:** se ha empleado el análisis multicriterio para poder obtener de manera fiable el resultado de la mejor opción de gafas de realidad virtual, ya que este elemento ha sido considerado como el más importante del sistema.
- **Análisis DAFO:** se ha hecho uso del análisis DAFO para demostrar de una manera visual las carencias que el sistema actual de visión posee y como el sistema de visión planteado las resuelve.



3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

3.1 SITUACIÓN ACTUAL Y PROBLEMÁTICA

Actualmente, los vehículos blindados de los que se dispone en plantilla en las unidades de caballería disponen de periscopios para su empleo en disposición de combate. Sin embargo, como se explica más abajo, estos medios de visión no aportan la suficiente información lo que puede provocar una desorientación y un mal ejercicio del mando por parte del jefe de carro. Se ha decidido ejemplificar esta problemática con el carro de combate Leopard 2A4 ya que ha sido el vehículo del que se dispuso durante las prácticas en la unidad. Pese a esto cabe decir que en blindados como el Leopard 2E y el VCI Pizarro la situación es muy similar.

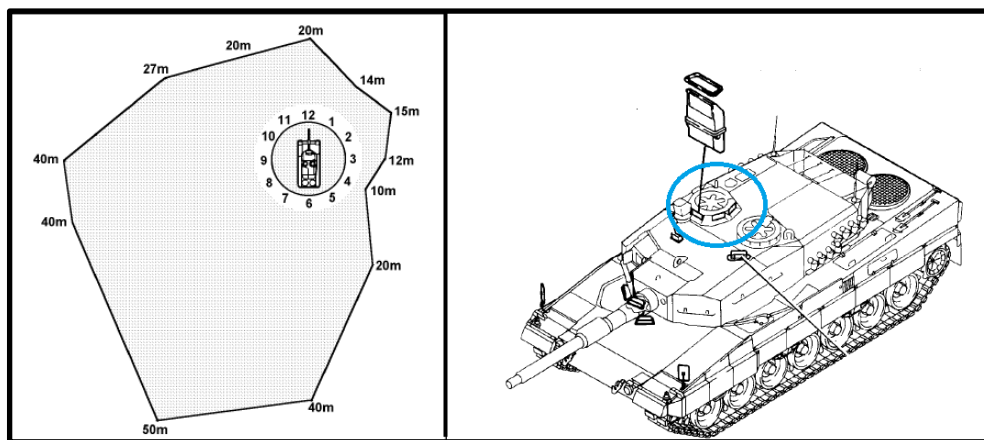


Figura 1. Ángulos muertos de visión y periscopios de observación. Fuente: (Estado Mayor, 1997)

En la figura 1 podemos apreciar los ángulos muertos de visión desde el puesto de jefe de carro en el Leopard 2A4 (la zona gris de la imagen situada a la izquierda) y la ubicación de los 6 periscopios de observación (el círculo azul de la imagen derecha señala su ubicación) que el jefe del blindado tiene a su disposición y que le permiten obtener la visión exterior actual con escotilla cerrada. A la luz del gráfico mostrado podemos apreciar las zonas en las que el jefe obtiene información, destacando el hecho de que a pesar de que puede tener una visión de 360 grados del carro, esta no se puede obtener de forma continua ya que debemos de cambiar de periscopio de observación para que esto ocurra, con la posible desorientación que esto puede provocar y la dificultad a la hora de adquirir objetivos. A esta falta de continuidad en la manera de obtener la información visual del exterior del carro se le suma el hecho de los ángulos muertos de visión que tiene el jefe de carro en su puesto, convirtiéndose en una gran amenaza para nuestro carro. Para paliar esta falta de continuidad de información el Leopard 2E ha sido dotado con una cámara para la marcha atrás, pero esta información es percibida únicamente por el conductor. Recientemente, los VCI Pizarro¹ han comenzado a incorporar cámara delantera y trasera, pero de la misma forma que en el caso anterior únicamente está a disposición del conductor la visualización de las imágenes de esas cámaras. Ambos avances son de gran ayuda, pero se

¹ El Ejército de Tierra ha dado a conocer esta novedad a través de su red social Twitter: <https://twitter.com/EjercitoTierra/status/1450403366136393728?s=20>.



considera que debería ser el jefe de carro quien debería obtener la máxima información posible acerca del carro ya que este es el responsable de cada movimiento que realice.

Tras investigar hacia dónde estaban enfocados los esfuerzos actualmente a nivel nacional, destaca la ausencia de proyectos por parte de las empresas en este tipo de avance y que la mayoría de TFGs (Pérez Loma y Ramírez Guillot) existentes que plantean un nuevo sistema de visión no terminan de satisfacer las necesidades existentes. Ejemplos de esto son: una cámara enfocada hacia las 12 del carro que vuelve a ofrecer un rango de visión limitado lo que no termina de solucionar la problemática de la desorientación y la falta de información, una cámara para obtener la visión próxima al carro que no se capta por el periscopio pero que sigue sin solucionar el problema de la continuidad que provoca la desorientación.

En el panorama de la industria de Defensa exterior se puede observar cómo distintos países han decidido centrar sus esfuerzos en obtener un sistema que aporte una información visual continua de 360 grados a escotilla cerrada consiguiendo hacer invisible la armadura del blindado para la tripulación. Son los ejemplos del Ejército Noruego (Avilés, 2014) con la implantación del sistema de realidad virtual Oculus Rift, el de la empresa israelí Elbit con su sistema Iron Vision, la compañía ucraniana Limpid Armor con su modificación de las gafas de realidad aumentada HoloLens de Google y el del ejército estadounidense que ha afirmado que están intentando mejorar sus gafas IVAS para conseguir lo mismo que todos los sistemas anteriormente citados.

3.2 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

A continuación, se va a proceder a realizar una explicación de los conceptos sobre los que se pretende basar el TFG. Se trata de una serie de conceptos que cada vez suenan más en nuestro día a día, pero se estima necesario su definición para poder hacer una diferencia entre ellos y así poder explicar el título del trabajo.

-REALIDAD VIRTUAL (RV) : La Real Academia Española (RAE) define este concepto en su Diccionario de la lengua española como la “representación de escenas o imágenes de objetos producidas por un sistema informático, que da la sensación de su existencia real”. Dichas imágenes son percibidas por el usuario mediante el uso de unas gafas de realidad virtual (elemento más importante del sistema), además este dispositivo puede ir acompañado de guantes, trajes y otros tipos de sensores que permiten aumentar una mayor interacción del usuario con el entorno virtual creado. El objetivo de la realidad virtual es engañar al cerebro del usuario para transportarlo a una realidad inexistente generada por ordenador. A diferencia de la realidad aumentada, en la realidad virtual todos los elementos son producidos por ordenador abstrayéndose totalmente del escenario real en el que nos encontremos.

Un ejemplo claro de realidad virtual sería emplear unas gafas para jugar a un videojuego en el cuál el personaje principal (en el que nos convertiremos) se adentra en un universo completamente ficticio.



-REALIDAD AUMENTADA (RA) : Este concepto suele generar una controversia mayor, ya que una gran parte del público actual suele confundirla con la realidad virtual y no sabe diferenciarla de la realidad mixta. Entendemos por realidad aumentada a una tecnología que permite visualizar simultáneamente la realidad además de elementos virtuales a través de unas gafas de realidad aumentada o smartphone. Ahora bien, a pesar de estar visualizando elementos virtuales el espacio donde estos elementos son proyectados es real. Podemos decir entonces que lo que busca la realidad aumentada es mejorar nuestra percepción de la realidad mediante la incorporación de los distintos elementos virtuales con el fin de ser una opción de entretenimiento o de herramienta de apoyo en el ámbito profesional. Por último, a diferencia de la realidad mixta, la realidad aumentada no interacciona con la realidad lo que provoca que el elemento virtual siempre se vea en primer plano y no se adapte al entorno real en el que está proyectado (clarificado visualmente en la figura 2 de la izquierda).

Unos ejemplos sencillos de realidad aumentada serían: la aplicación de Ikea para poder ubicar muebles en nuestra casa y poder imaginarnos como quedarían y el famoso juego Pokemon Go para smartphone donde los personajes de este juego eran proyectados sobre el entorno donde estuviésemos pero estos no podían interactuar con él y ocultarse detrás de una columna por ejemplo.

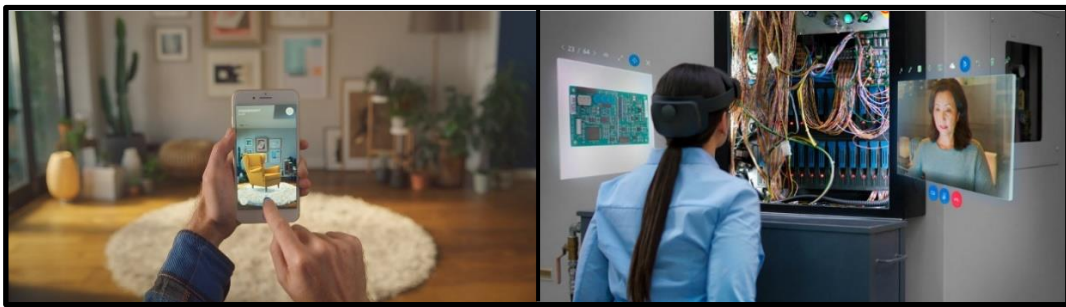


Figura 2. Ubicación de un mueble con RA y hologramas con RM. Fuente: Ikea Place y Microsoft.

-REALIDAD MIXTA (RM) : La realidad mixta es una mezcla entre la realidad virtual y la realidad aumentada. Se trata de una combinación de los mejores aspectos de ambas, la realidad mixta une ambos conceptos con el objetivo de permitirnos interactuar con objetos reales en un mundo virtual, de realizar una inmersión en un mundo totalmente virtual o bien la visualización de elementos virtuales en nuestro entorno real. La definición anterior es la teoría de todo aquello que la realidad mixta nos podría permitir realizar, pero a día de hoy esta tecnología es empleada para añadir elementos virtuales a un entorno real de forma realista. Esto se logra mediante un mapeado 3D de la estancia en la que uno se encuentra para que de esta forma el dispositivo reconozca nuestro entorno y sea capaz de ubicar los elementos virtuales de una forma natural para facilitar nuestra interacción con estos.

Podemos observar como ejemplo la figura 2 de la derecha, en la que los diferentes hologramas se adaptan a las paredes de la estancia para auxiliar al sujeto en la realización de su trabajo.

Una vez realizada la explicación de esta serie de conceptos, podemos encontrarle un sentido al título del TFG. Se ha considerado que se trata de un sistema de Realidad Aumentada Virtual ya que las imágenes que van a ser visualizadas son procesadas por cámaras y aunque se trate de un entorno real no deja de ser una imagen virtual (esto responde al término "Virtual"). Además se incluye la visualización de otros elementos (cantidad de munición, arma seleccionada...) en apoyo del observador que serán ubicados de manera artificial y no de forma realista ya que no se va a visualizar una estancia sino el exterior del carro (esto responde al término "aumentada" en vez de al término "mixta" según los conceptos explicados anteriormente).



3.3 ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA DE RV Y RA

3.3.1 SISTEMAS ACTUALES EN EL MUNDO CIVIL

La tecnología de la RV y la RA no es reciente, sino que sus orígenes se remontan dos siglos atrás (deusems.com, 2018). Sin embargo, es en el año 2012 cuando con el lanzamiento de la empresa Palmer Luckey del dispositivo Oculus Rift se pondrá de moda y atraerá a las grandes empresas que se lanzarán a producir sus propios proyectos.

A día de hoy, para realizar un análisis de la vanguardia de esta tecnología vamos a proceder a diferenciar aquellos dispositivos que están destinados para un uso profesional como las HoloLens 2 de Google de aquellos que están destinados a un uso recreativo como las HP Reverb G2.

Ambos dispositivos son lo más reciente y representan la vanguardia de la realidad aumentada y mixta en el caso de las HoloLens 2 y de la realidad virtual en el caso de las HP Reverb G2. A continuación se hablará del primer sistema, ya que de los dispositivos de realidad virtual volverán a ser tratados en el punto 4.4.2.

-HoloLens 2: se trata del sucesor mejorado del dispositivo HoloLens de la compañía Google. Microsoft las define como “un dispositivo holográfico autónomo ergonómico y sin ataduras con aplicaciones preparadas para la empresa para aumentar la precisión y la producción del usuario” (Microsoft, 2021).

Este sistema superpone visualizaciones digitales, en forma de hologramas, sobre objetos físicos consiguiendo de esta manera la fusión del mundo real y el virtual. Estas gafas no cuentan con pantalla sino con un cristal transparente que proyecta la imagen en la retina de los usuarios.

El dispositivo cuenta con un sistema que realiza una calibración en función del tamaño y las características de cada ojo para poder ofrecer una imagen nítida al usuario. Está dotado con “eye tracking” para que las gafas sean capaces de reconocer hacia dónde está mirando el usuario y además incluye una biométrica basada en el iris de los ojos para poder iniciar sesión y acceder a toda la documentación almacenada en el dispositivo sin necesidad de credenciales.

A día de hoy, este dispositivo se encuentra únicamente a la venta para empresas ya que está destinado a un uso profesional. Actualmente Mercedes-Benz lo está implementando en concesionarios en América como herramienta para diagnóstico de averías y diversas cirugías han sido realizadas con el apoyo de este instrumento.



Figura 3. HoloLens 2 en atención sanitaria. Fuente: (Microsoft, 2021).



3.3.2 SISTEMAS ACTUALES MILITARES EN EJÉRCITOS EXTRANJEROS

En esta sección nos vamos a centrar en los sistemas conocidos como “Glass Box” que existen en la actualidad en otros ejércitos que son de alto interés para nosotros ya que representan la base y el camino a seguir para conseguir dar solución a la problemática de la falta de continuidad de información visual en los blindados en disposición de combate.

Se entiende como “Glass Box” a la innovación para vehículos de combate que permite a la tripulación ver el exterior como si las paredes fuesen inexistentes. El sistema consiste en unas gafas encargadas de mostrar las imágenes y de una serie de cámaras exteriores. Este sistema emplea a la vez la RA para añadir información extra de la situación. A continuación se presentarán dos sistemas existentes y uno que todavía está en desarrollo:

-Limpid Armor CRS: la empresa de equipo militar Limpid Armor (Álvarez, 2016) de equipo militar establecida en Ucrania ha empleado las HoloLens de Google y un conjunto de cámaras en los costados de los vehículos para ofrecer una visión 360 grados alrededor de estos. El sistema ha recibido la denominación de CRS (“Circular Review System”) que en castellano significa: Sistema de comprobación circular. Entre sus características están:

- Visión 360 grados y hasta 300 metros.
- Sistema IFF.
- Posibilidad de visualizar imágenes de UAV,s
- Reproducción de imágenes exteriores sin retraso.

El sistema fue presentado en el año 2016, ha habido un gran vacío de información acerca de avances o de su definitiva implantación. En el año 2019 tienen lugar una serie de ensayos en la región de Lviv (Ucrania) que según los responsables de Limpid Armor fueron un éxito, a pesar de estos hechos a día de hoy se desconoce el estado del proyecto y su futura fecha de implantación por parte de las unidades ucranianas.



Figura 4. Sistema CRS. Fuente: (Álvarez, 2016).



-Iron Vision: se trata de un sistema desarrollado por la compañía israelí Elbit Systems (Elbit Systems, 2021). En cuanto a su nombre hace referencia a la visión de acero, elemento que se vuelve transparente con el empleo de este instrumento. Este sistema proporciona a la tripulación del vehículo de combate una visión de 360 grados² del entorno a la vez que permite añadir más información como podría ser: símbolos del BMS, posicionamiento de fuerzas propias y posición de torre con respecto a la barcaza (Ministerio de Defensa, 2019).

Elbit presentó el sistema a mediados de junio del año 2016, y en cuanto a la actualidad del mismo cabe destacar su implantación en un innovador vehículo de combate que surge a raíz del proyecto Carmel del Ministerio de Defensa israelí. En este último proyecto el sistema Iron Vision es elemental para el buen funcionamiento del vehículo ya que no cuenta con torre tripulada, todos los movimientos que se hagan son realizados desde el interior teniendo como única guía las imágenes obtenidas a través de las gafas.



Figura 5. IRON VISION en tripulación. Fuente: (Elbit Systems, 2021).

-IVAS: el Ejército de EEUU ha realizado un contrato con Microsoft por el que se comprarán 120.000 unidades de este nuevo sistema a lo largo de 10 años (Pérez, 2021). Las gafas IVAS son un dispositivo basado en la primera generación de las HoloLens de Google cuyo objetivo es proporcionar una mayor seguridad a los soldados al tener una mayor conciencia de la situación mejorando así la toma de decisiones.



Figura 6. IVAS en soldados americanos. Fuente: (Bach, 2021).

Las gafas IVAS (Integrated Visual Augmentation System) son un instrumento de realidad mixta que permitirá a los soldados ver a través de cortinas de humo, interactuar con hologramas o poder visualizar mapas en 3D (Bach, 2021).

² Este sistema consiste en un casco inteligente similar al utilizado por los pilotos de los aviones de combate F-35, permite ver lo que está sucediendo sin necesidad de observación directa.



A pesar de no estar concebido como un sistema “Glass Box” a día de hoy existen declaraciones por parte del Ejército Estadounidense de implementar este sistema en vehículos ya que son conscientes de la limitada conciencia de la situación que un soldado tiene en el interior de este. Un gran equipo de expertos se ha reunido en 2021 en Joint Base Lewis-McCord para acordar la mejor forma de ampliar las capacidades de IVAS en plataformas de vehículos (Bacon, 2021).

3.3.3 SISTEMAS ACTUALES MILITARES EN ESPAÑA

El Ejército español a día de hoy no se encuentra muy avanzado en materia de RA y RV, aún así existe un esfuerzo por parte de algunas unidades por intentar implantar estas tecnologías en beneficio de la Instrucción y el Adiestramiento de las unidades (López, 2021).

Hay que realizar una especial mención al RC “Farnesio 12”, unidad de caballería cuyo equipo de apoyo a la simulación (Ministerio de Defensa, 2019) está realizando diferentes proyectos con distintos tipos de realidad (aumentada y virtual). Entre los principales proyectos hay que destacar:

- Steel Beast Inmersivo.
- Simulador de combate en Zona Urbanizada “URBAN”.
- Cajón de arena digital.

A pesar de los avances que han intentado realizar estas unidades, hay que decir que no suponen un cambio revelador ni se está experimentando con tecnología vanguardista lo que provoca que a día de hoy nos encontremos por detrás en materia de realidad aumentada y virtual con respecto a ejércitos de otros países.

En cuanto a los sistemas “Glass Box” no existe ningún proyecto en marcha actualmente en España. Sin embargo, el Ejército de Tierra ha puesto a prueba el sistema Iron Vision en el año 2019 instalado sobre el vehículo de combate Pizarro (Carrasco, 2019). Esta serie de ensayos estaban enmarcados dentro de un programa del proyecto Fuerza 2035 que investiga sobre los medios de la brigada del futuro. A pesar del éxito de las pruebas el Ejército ha descartado la adquisición del sistema, de hecho ni se han solicitado precios ni presupuestos a Elbit.

4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

Se ha procedido a encuestar a diferente personal del RC “Montesa 3” para conocer su opinión en lo referente al tema de investigación y así justificar el motivo de la realización de este TFG. En la sección 4.1 se procederá a mostrar los resultados de la encuesta y se justificará la realización de este trabajo.

En la sección 4.2 se presentará una posibilidad de material que permita la aplicación inmediata del sistema, se mostrará las opciones de gafas de RV existentes en el mercado, y se realizará una selección inicial de 3 modelos que más tarde serán filtradas por el método AHP.

Tras el análisis AHP de la sección 4.3, se presentará un estudio de mejora de visión con el nuevo sistema.

Finalmente, se procederá a realizar un análisis DAFO de los medios de visión actuales del Leopard 2A4 y otro DAFO del nuevo sistema de visión para el carro, para poder realizar una comparativa entre la situación actual y lo que nos aportaría el nuevo sistema.



4.1 ENCUESTA SOBRE LA IMPORTANCIA DEL NUEVO SISTEMA DE VISIÓN

En esta sección se va a proceder a presentar los resultados de una encuesta a jefes de carro (futuros usuarios del nuevo sistema de visión) sobre los sistemas de visión actuales, con el fin de conocer debilidades de los mismos y resaltar la importancia que tiene el nuevo sistema de visión que se está planteando.

Debido al hecho de que las opiniones que se buscan son las de los jefes de carro, se ha decidido encuestar a la población que ha ejercido mando de un blindado.

Por la situación actual en la que se encontraba el RC “Montesa 3” (uno de los dos escuadrones de los que se compone el RC “Montesa 3” se encontraba desplegado en otro lugar), se hacía imposible el acceso a la totalidad de la población de jefes de carro del regimiento. Por tanto, solo se ha encuestado a los jefes de carro del escuadrón presente durante la realización de mi práctica (muestreo conveniente).

Tras la realización de la encuesta se ha obtenido un 100% de participación. He tenido un total de 14 respuestas (que coincide con el número de cuadros de mando existentes en el escuadrón), 4 de las 14 respuestas pertenecen al capitán del escuadrón y a los 3 tenientes de las secciones que lo conformaban, las 10 respuestas restantes pertenecen a 1 sargento primero y 9 sargentos que formaban parte de las secciones.

Podemos encontrar el cuestionario completo en el Anexo V, pero a continuación vamos a comentar cuales han sido los principales resultados obtenidos y si han sido acorde a lo esperado.

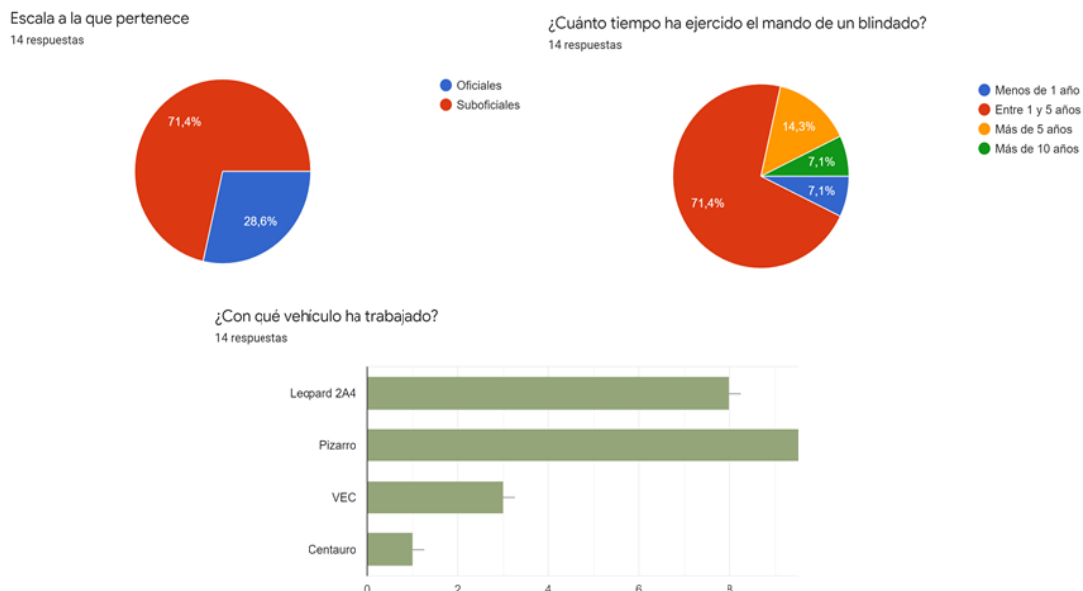


Figura 7. Gráficos encuesta justificativa (introducción). Fuente: Elaboración propia

Al principio las primeras preguntas han sido realizadas con el fin de conocer la composición y la experiencia del personal encuestado. De acuerdo con la figura superior hay que destacar que la parte más significativa de la muestra (71,4%) tiene una experiencia de entre 1 y 5 años, pero hay otra parte de la muestra que cuenta con una experiencia muy grande y que aporta veteranía a los resultados. Finalmente, comentar que la mayor parte de los jefes habían trabajado con más de un vehículo, lo cuál hacía que tuviesen unas opiniones muy sólidas respecto al tema del estado actual de los sistemas de visión en los distintos blindados.

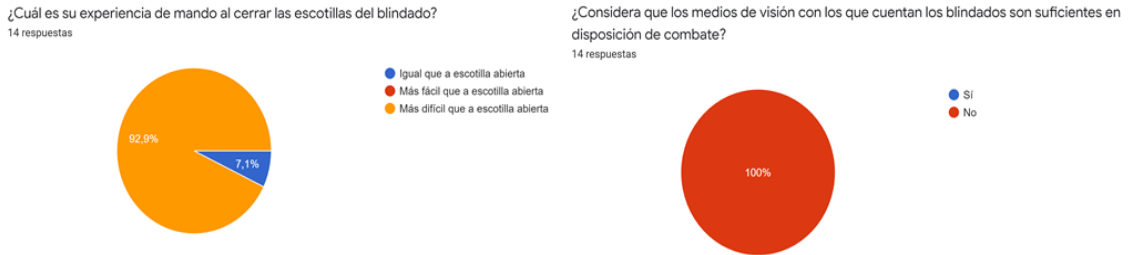


Figura 8. Gráficos encuesta justificativa (parte 1 desarrollo). Fuente: Elaboración propia.

En la primera parte del desarrollo de la encuesta se ha buscado conocer la opinión del personal en cuánto a su experiencia de mando en disposición de combate y lo concerniente a los medios de visión actuales en los vehículos. El 92,9% del personal encuestado considera que el ejercicio del mando a escotilla cerrada se complica y el 100% ha respondido que los medios de visión actuales no son suficientes.

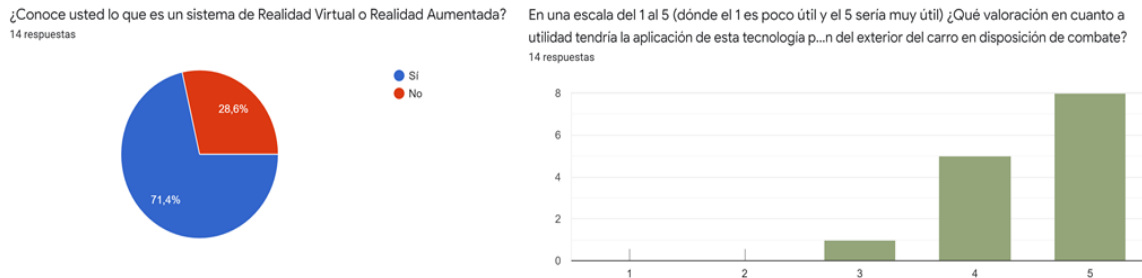


Figura 9. Gráficos encuesta justificativa (parte 2 desarrollo). Fuente: Elaboración propia.

En la segunda parte del desarrollo de la encuesta el objetivo ha sido conocer si el personal encuestado estaba al día en cuanto a la tecnología en la que se va a basar el trabajo y si esta tecnología sería de aplicación para dar solución al problema existente de visión en los blindados. El resultado ha sido que un 71,4% de los encuestados ha afirmado que conoce lo que es un sistema de RV o RA. Que no todos conozcan esta tecnología no es sorprendente ya que es relativamente reciente y su grado de implantación en la actualidad en la sociedad no es muy grande quedando a veces limitada al sector de entretenimiento. Si bien, de 70 puntos que podían ser recibidos en la valoración de utilidad de la tecnología el personal ha otorgado un total de 61, lo cuál indica un alto interés por parte de los encuestados y denota la creencia en su utilidad.

Finalmente, en el caso de que tuviese que elegir un proyecto para ejecutarlo, ¿cuál escogería?
14 respuestas

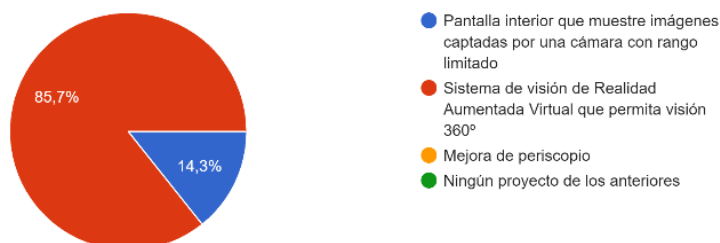


Figura 10. Gráficos encuesta justificativa (final). Fuente: Elaboración propia.

En último lugar, se mostró una lista de proyectos a los encuestados y sin que tuviesen constancia del trabajo que estaba desarrollando se obtuvieron los siguientes resultados. Un 85,7% escogió el título del TFG denotando un claro interés por parte del personal encuestado en la implantación de la tecnología de RV y RA para solucionar los problemas de visión.



4.2 ESQUEMA DEL SISTEMA DE VISIÓN Y MATERIAL NECESARIO

En este punto se va a proceder a mostrar los distintos componentes del sistema de visión planteado. Hay que destacar que una de las intenciones del nuevo sistema es que permita su implementación prácticamente inmediata, es decir, si existiese interés finalmente en el proyecto el tiempo de adquisición y entrega de materiales no sería un ralentizador del proceso de integración en los blindados. Por este mismo motivo todos los componentes del sistema van a ser obtenidos de la oferta al mercado actual que hacen las distintas empresas, es decir sin solicitar proyectos que incorporen modificaciones de sus productos ni presentar concursos que son procesos que ralentizan mucho la entrega final de un producto.

Los distintos componentes que integran el nuevo sistema de visión se muestran en la figura 11:

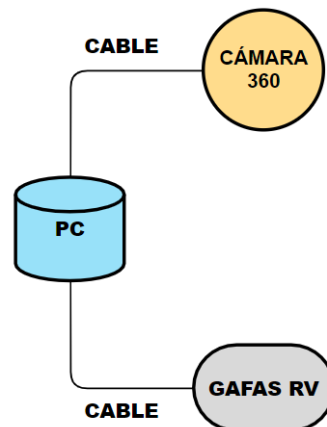


Figura 11. Esquema sistema de visión. Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar el esquema para la realización del sistema es muy simple y su implementación en el blindado no sería un proceso complicado. El sistema presentado se compone de 4 elementos distintos:

1. **Cámara 360°:** se trata de un tipo de cámara que graba en 360 grados, la implementación de este tipo de cámara disminuye la complejidad al poder reducir el número de cámaras a una. La cámara iría instalada en lo alto del vehículo fijada con un soporte en una zona dominante que permita obtener visión hacia todos los lados del blindado.
2. **PC:** será el intermediario entre la cámara y las gafas de RV, las imágenes llegarán al ordenador y con el empleo del software ofrecido por el distribuidor de la cámara podrán ser visualizadas a través de las gafas. El PC se encontrará en el interior del blindado en una posición accesible al jefe del vehículo que será quien emplee el sistema.
3. **Gafas RV:** se considera el elemento más importante del sistema ya que va a estar todo el rato en contacto con el usuario y de su buen funcionamiento dependerá la eficacia del nuevo sistema diseñado. Serán empleadas por el jefe del blindado e irán conectadas al ordenador.
4. **Cables:** concretamente se necesitarían 3 tipos de cables que su obtención no sería complicada ya que los otros 3 elementos los traerían incluidos (su longitud de fábrica sería suficiente para realizar la instalación), un cable para conectar el PC para que



este sea alimentado, otro cable para conectar las gafas de realidad virtual al PC para poder visualizar las imágenes de la cámara y un último cable para conectar la cámara de 360° con el PC y que este pueda recibir las imágenes y transmitir las a las gafas RV y a la vez recibir energía.

Una vez realizada la presentación de los distintos componentes se va a proceder a realizar una propuesta de material apto para la implementación en el sistema, posteriormente en el apartado 4.2.1. se realizará un estudio en profundidad de gafas de realidad virtual ya que se ha considerado como el elemento más importante del sistema.

-Propuesta de cámara: el mercado de cámaras de 360 grados actualmente no es excesivamente amplio, pero hemos encontrado una marca que a día de hoy ha logrado grandes avances en el sector, esta ha sido Insta360 que ofrece el producto ideal de cara a su implementación en nuestro sistema. La cámara propuesta ha sido el modelo Pro de Insta360, se trata de una cámara con un coste elevado, concretamente de 1300 euros (precio bajo si se compara con el modelo más reciente de 6000 euros), pero las características que ofrece hace que su implementación en el sistema fuese muy sencilla.



Figura 12. Insta 360 Pro. Fuente: (Insta360, 2021).

La Insta 360 Pro consta de 6 lentes de 200° (Insta360, 2021) que permiten obtener una calidad de 4K en las imágenes de 360 grados. También cuenta con sistema de estabilización, muy útil para cuando los blindados se encuentren en movimiento para no disminuir la calidad de la imagen.

-Propuesta de PC: en este caso no se va a proceder a ofrecer un modelo exacto de PC para incorporar a nuestro sistema de visión ya que consideramos que existe un mercado amplio y que encontrar un ordenador con los requisitos mínimos es muy simple y sería el componente más barato de todo el sistema. A pesar de que no se va a mostrar una opción de PC vamos a mostrar una pequeña tabla donde se especifiquen los requisitos mínimos.

Sistema operativo	Windows 10
Procesador	Mínimo Intel Core i5-4590
Puertos	Mínimo un USB 3.0
Memoria RAM	Mínima 8 GB
Tarjeta gráfica	Mínima NVIDIA GeForce GTX 1060

Tabla 1. Requisitos mínimos de PC. Fuente: Elaboración propia.

Los datos superiores fueron obtenidos considerando las gafas de realidad virtual más exigentes del mercado actualmente, las HTC Vive Pro 2. Es decir con esos requisitos mínimos estaríamos en condiciones de emplear cualquier sistema de RV existente en el mercado.



4.2.1 SELECCIÓN INICIAL DE GAFAS VR PARA EL SISTEMA DE VISIÓN

En esta sección se realiza una investigación acerca de los modelos de gafas de realidad virtual compatibles con las necesidades que se han presentado anteriormente, es decir, que se encuentren a la venta en el mercado actual, lo que hace que su suministro sea sencillo y rápido, y que además funcionen conectadas al ordenador que va a recibir las imágenes de la cámara exterior, ya que actualmente hay sistemas que funcionan sin necesidad de este, pero son meramente recreativos. Tras el trabajo de búsqueda de los modelos, se obtuvo un total de 7 sistemas de realidad virtual (escogidos mediante una comparativa ofrecida por HP (HP, 2020) y diversos artículos web de Xataka (Rodríguez de Luis, 2021)) que cumplieran la premisa inicial de suministro y conexión con ordenador, estos sistemas son los siguientes:

- HP Reverb G2
- HTC Vive Pro
- HTC Vive Pro 2
- OCULUS Rift S
- HTC Vive Cosmos Elite
- SAMSUNG Odyssey + VR
- VALVE Index

De entre estos 7 modelos de gafas de realidad virtual se ha tenido que proceder a realizar una selección inicial de únicamente 3 sistemas. Esta reducción inicial en cuanto a las alternativas para escoger se debe a que es el número máximo de alternativas permitidas por el “software” cedido para la aplicación del método AHP para poder determinar cuáles son el mejor modelo de gafas según una serie de criterios que será establecidos posteriormente.

▪ SELECCIÓN INICIAL

Para realizar esta criba inicial nos vamos a apoyar en la información obtenida a través de las distintas reuniones con el Director Militar acerca de cómo debería ser el modelo de gafas implementado. En la reunión los aspectos más recurrentes en cuanto a cualidades del sistema fueron referentes a las especificaciones técnicas del modelo, por lo que será en estos aspectos en los que se va a centrar nuestra atención para poder realizar esta selección inicial. A continuación, se expone una pirámide que ha jerarquizado las distintas especificaciones según su importancia en la selección:



Figura 13. Pirámide de jerarquización de especificaciones. Fuente: Elaboración propia.



Una vez presentada la pirámide de las especificaciones técnicas se ha procedido a realizar una comparación entre los distintos modelos de gafas que nos encontramos en el anexo II siguiendo la jerarquía establecida. A continuación se va a proceder a explicar el procedimiento realizado:

- En primer lugar, se ha procedido a realizar una comparación de los 7 modelos fijando la atención en la resolución que ofrece cada sistema. Se va a proceder a mostrar una serie de cuadros con la resolución que ofrece cada sistema para poder entender con facilidad la selección realizada.

HP Reverb G2	HTC Vive Pro	HTC Vive Pro 2	OCULUS Rift S	HTC Vive Cosmos Elite	SAMSUNG Odissey + VR	VALVE Index
• 4K	• 2880x1600	• 5K	• 2560x1440	• 2880x1600	• 2880x1600	• 2880x1600

Figura 14. Resolución de los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

- El procedimiento fijado marcaba la elección de los sistemas con mejor resolución. La resolución indica la densidad de píxeles que tiene la imagen por lo que a mayor densidad mejor resolución, de esta manera es sencillo apreciar que el sistema que ofrece la mejor resolución es el HTC Vive Pro 2 con su tecnología de 5K, es decir 2,5K x 2,5K px. El siguiente sistema que ofrece la mayor resolución son las gafas HP Reverb G2 con unas cifras de 2K x 2K px, situándolas como las segundas mejores en cuanto esta especificación. Llegados a este punto se puede apreciar un empate entre 4 modelos de gafas que ofrecen una resolución de 2880 x 1600 px, por lo que debemos continuar con la comparación de la siguiente especificación según la jerarquía mostrada en la pirámide la figura 13. Hay que destacar que el modelo Oculus Rift S es eliminado de la selección inicial debido que presenta la peor resolución del abanico de opciones.
- En este caso se va a proceder a la elección del último candidato entre los cuatro que empatan en la resolución atendiendo al campo de visión. Un mayor ángulo de campo de visión permitirá obtener una visión más amplia del entorno por lo que será preferible. De esta manera y apoyándonos en la figura 16 obtendremos la última elección.

HTC Vive Pro	HTC Vive Cosmos Elite	SAMSUNG Odissey + VR	VALVE Index
• 110°	• 110°	• 110°	• 130°

Figura 15. Campo de visión de los diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia.

- La tercera elección han sido las VALVE Index, han sido una opción muy superior al resto en cuanto a campo de visión, además hay que destacar que aunque estas hubiesen empatado con el resto de gafas hubiesen resultado las elegidas finalmente ya que poseen una frecuencia de 144 Hz y este era el siguiente atributo a valorar según la pirámide establecida. De este modelo se hace necesario destacar que a pesar del hecho que no tengan la mejor resolución del mercado si presentan el mejor campo de visión y la mayor tasa de actualización de todas las opciones existentes actualmente.
- Tras este último paso se han rechazado el resto de gafas competidoras sin necesidad de comparar el resto de especificaciones, (HTC Vive Pro, HTC Vive Cosmos Elite y las SAMSUNG) a la vista de los resultados han demostrado estar por debajo de los modelos escogidos para ser sometidos al método multicriterio.



A continuación, se va a proceder a mostrar los diferentes modelos de gafas de realidad virtual que han resultado escogidos en esta selección inicial. Se muestra una tabla de características de cada sistema de visión que recoge los principales diferenciadores del resto de productos, siendo estas características una mezcla de especificaciones técnicas (9 líneas iniciales), otras de ergonomía (4 líneas intermedias) y el precio (última línea).

- **HP Reverb G2**

Monitor	2 LCD de 2,89"
Resolución	4K (2K x 2K por ojo)
Campo de visión (FOV)	114 grados
Gama RGB subpíxeles	Sí
Frecuencia	90 Hz
Mandos	Incluidos
Monitorización	4 cámaras para seguimiento y arquitectura 6DoF
Compatibilidad	Windows 10
RAM mínima	8 GB
Ajuste de la DIP mec.	Sí
Máscara facial	Almohadillas faciales de tela con ajuste de velcro
Peso	550 gramos
Cable	6 metros
Precio	500 euros

Tabla 2. Características del sistema HP Reverb G2. Fuente: Elaboración propia.

Las HP Reverb G2 (HP, 2020) son unas de las gafas más recientes en el mercado de la realidad virtual (ofrecidas el 7 de julio de 2020). Han sido desarrolladas por HP en colaboración con las compañías Valve y Microsoft, que son líderes en este sector. De estas gafas hay que destacar los gráficos de máxima definición que se ofrecen sin efecto mura (provoca que la imagen pierda nitidez debido a irregularidades en la iluminación de los píxeles de la pantalla) a través de objetivos LCD de 2160 x 2160, el ajuste de la distancia interpupilar (DIP) para conseguir un ajuste perfecto y la inclusión de 2 mandos.



Figura 16. HP Reverb G2. Fuente: (HP, 2020)



- **HTC Vive Pro 2**

Monitor	LCD dual RGB de baja persistencia
Resolución	5K
Campo de visión (FOV)	120 grados
Gama RGB subpíxeles	Sí
Frecuencia	120 Hz
Mandos	No incluidos
Monitorización	Arquitectura de seguimiento con estaciones base SteamVR
Compatibilidad	Windows 10
RAM mínima	8 GB
Ajuste de la DIP mec.	No
Máscara facial	Correa ajustable para la cabeza
Peso	850 gramos
Cable	5 metros
Precio	800 euros

Tabla 3. Características del sistema HTC Vive Pro 2. Fuente: Elaboración propia.

Las HTC Vive Pro 2 son el último lanzamiento (Martí, 2021) en materia de gafas de realidad virtual, fueron anunciadas a la venta el día 4 de junio de 2021. Se presenta como una gran opción al ser de las primeras gafas que incluyen la tecnología 5K (2,5K por ojo resultando, resultando en un 5K combinando). Con este aumento de resolución se espera una mejora a nivel de nitidez en las gafas. Esta segunda edición de las Vive Pro mejora bastante su predecesor incorporando pantallas LCD en vez de las OLED y mejora más aspectos como en la frecuencia y el ángulo de visión, a pesar de este hecho, estéticamente siguen siendo bastante similares.



Figura 17. HTC Vive Pro. Fuente: (Martí, 2021).



- **VALVE Index**

Monitor	2 LCD de 3,5"
Resolución	2880 x 1600 px (1440 x 1600 px por ojo)
Campo de visión (FOV)	130 grados
Gama RGB subpíxeles	Sí
Frecuencia	Hasta 144 Hz
Mandos	Incluidos
Monitorización	Arquitectura de seguimiento con estaciones base SteamVR
Compatibilidad	Windows 10
RAM mínima	8 GB
Ajuste de la DIP mec.	Sí
Máscara facial	Almohadillas faciales magnéticas de tela intercambiables
Peso	809 gramos
Cable	6 metros
Precio	1079 euros

Tabla 4. Características del sistema VALVE Index. Fuente: Elaboración propia.

Las VALVE Index (VALVE, 2019) han sido desarrolladas por la compañía Valve Corporation. Este modelo presenta un elevado precio, sin embargo nos ofrece una tasa de refresco muy elevada que compensa en parte la resolución que no es tan impresionante. Este sistema tiene la característica de que necesita las estaciones base SteamVR para poder ser empleado, lo cual incrementa su precio notablemente. Actualmente, es el modelo que funciona conectado a ordenador más popular entre el público adepato a estos productos.



Figura 18. VALVE Index. Fuente: (VALVE, 2019).



4.3 ANÁLISIS MULTICRITERIO BASADO EN EL MÉTODO AHP

En este apartado se va a emplear el método de análisis multicriterio AHP para elegir las gafas de realidad virtual más adecuadas de entre los modelos mostrados previamente. Se ha seleccionado el método AHP ya que admite criterios tanto cualitativos como cuantitativos. Esto será útil ya que permitirá a los encuestados definir que dispositivo es mejor en cuestiones que son más subjetivas como será el caso del ajuste facial en las gafas de realidad virtual.

El Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP) , fue propuesto por Thomas Saaty en la década de los 70 (Yepes Piqueras, 2018). Este método se basa en que la forma de resolver un problema de toma de decisión en la cual existan diversos criterios pasa por la jerarquización de los problemas que se plantean. Inicialmente el método fue propuesto para la resolución de problemas socioeconómicos y posteriormente se ha empleado en múltiples campos, su contribución es importante en niveles tácticos, operativos y estratégicos, actuando como un gran asistente en el proceso de toma de decisiones debido a la gran información que aporta y al incremento de conocimiento de la situación.

El método AHP consiste en la construcción de una jerarquía que incluye toda la información relativa a un problema multicriterio complejo, permitiendo al agente decisor estructurar el problema de una forma muy visual y gráfica. Este método también nos permite realizar un análisis de consistencia de los juicios que son emitidos por las distintas personas y que deben ser controlados. El modelo jerárquico que se construye consta de 3 niveles que son: objetivo, criterios y alternativas. Una vez que este modelo es construido, se procede a realizar una serie de comparaciones por pares entre criterios, subcriterios y alternativas, de tal manera que las personas que están involucradas y ofreciendo su juicio asignan una serie de valores numéricos según las preferencias (Muñoz Claro, 2017).

Finalmente, hay que destacar que el objetivo final se encuentra en el nivel más elevado y que los criterios y subcriterios de los niveles inferiores deben ser bien escogidos y estos han de ser mutuamente excluyentes. Es importante que el número de criterios y subcriterios en cada nivel no sea superior a 7 con el fin de evitar un exceso de comparaciones a pares (Yepes Piqueras, 2018).

Para poder aplicar el método AHP se ha tenido que proceder a la realización de una serie de encuestas a personal experto para proceder a realizar las comparaciones por pares. Al igual que en la encuesta justificativa del proyecto, esta ha sido realizada por 14 cuadros de mando (4 oficiales y 10 suboficiales) del RC "Montesa 3" que han ofrecido su experiencia en beneficio de este TFG.

A la hora de aplicar el método es posible su realización únicamente con el apoyo de las diferentes fórmulas matemáticas establecidas, sin embargo, en este caso se ha procedido al empleo del "software" AyudaDecision_AHO_net_4.0³.

³ Facilitado por el Teniente Coronel del arma de Caballería Carlos Luis Ruiz López, docente en el Centro Universitario de la Defensa (CUD).



A continuación, se exponen los 5 pasos a dar para aplicar el método:

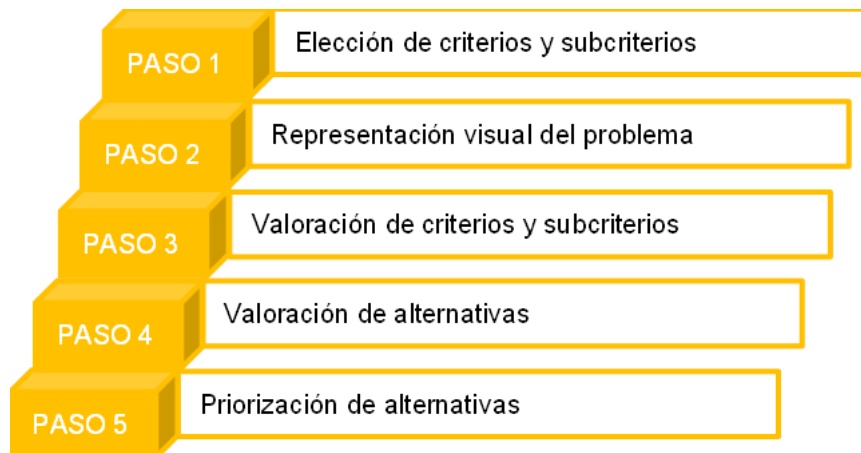


Figura 19. Pasos a realizar en el método AHP. Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 ELECCIÓN DE CRITERIOS Y SUBCRITERIOS

En primer lugar antes de poder empezar a aplicar el método AHP se deben establecer una serie de criterios y subcriterios, estos han de ser bien escogidos (bien definidos y que sean mutuamente excluyentes) ya que de ellos depende la decisión final en cuanto a la alternativa que mejor se adapta al proyecto.

Es necesario recordar la importancia de que el número de criterios y subcriterios no debe ser superior a 7, con el objetivo de evitar el exceso de comparaciones. Destacar además que el “software” establece un máximo de 7 para los criterios y un máximo de 3 para los subcriterios.

Los criterios de elección han sido decididos conjuntamente con el Director Militar de este TFG haciendo uso de su experiencia y de las necesidades que él ha podido apreciar. Posteriormente, se ha procedido a encuestar (anexo VII) a todos los cuadros de mando del escuadrón para conocer la importancia que le otorgaban a los criterios escogidos y emplear la opinión del grupo encuestado para decidir los subcriterios que debían ser fijados.

Tras el proceso comentado, los criterios y subcriterios que se han establecido son los siguientes:

- A. Especificaciones técnicas:** se trata de todas aquellas características que definen y diferencian a unas gafas de realidad virtual de otras. Al tratarse de tecnología que está en constante mejora es un criterio a evaluar ya que encontraremos grandes diferencias. Con el DIRMIL se extrajeron 8 especificaciones de importancia en el apartado 4.2.1, pero únicamente se han escogido las 3 que han demostrado ser las principales diferenciadoras.

1) Resolución: la resolución de pantalla es el número total de píxeles que pueden ser mostrados por la pantalla de las gafas de realidad virtual (en la mayoría de los casos las gafas se componen de dos pantallas pequeñas). Este punto es importante porque limita la calidad de imagen que puede emitir, a mayor densidad de píxeles mayor calidad de imagen. Se emplean dos números para expresar la resolución (ejemplo 1920 x 1080), el primer número indica el número de píxeles horizontales que se ven en una pantalla y el segundo los verticales.



2) Campo visual (FOV): este concepto se refiere de manera técnica al ángulo en relación al punto de visión que el usuario puede percibir del mundo virtual generado por las gafas de realidad virtual. De forma clara, un mayor ángulo de visión permitirá visualizar un entorno más amplio sin necesidad de tener que desplazar nuestra mirada ni variar nuestra posición. La unidad de medida del campo visual son los grados sexagesimales.

3) Frecuencia: hay que destacar que el término frecuencia en este caso se emplea para pantallas e indica el número de veces que actualiza las imágenes por segundo. Una mayor frecuencia genera una imagen más nítida. La frecuencia se mide en Hz, de tal forma que si una pantalla tiene una frecuencia de 60 Hz significa que esta se actualiza 60 veces por segundo.

B. Ergonomía: en este punto se va a estudiar cómo se adaptan las distintas opciones de gafas de realidad virtual a la fisionomía humana. Se ha considerado un punto importante ya que las gafas han de ser portadas por el usuario y un producto mal diseñado podría provocar muchas molestias al usuario dificultando su empleo.

1) Peso: el usuario ha de portar las gafas de realidad virtual en su cabeza por lo que han de ser lo más ligeras posible con el fin de no provocar fatiga. El cuerpo humano no está acostumbrado a cargar peso en la cabeza, por lo que unas gafas pesadas pueden provocar la aparición de dolores al usuario que haga que el empleo de las gafas por un periodo largo de tiempo sea imposible. En el trabajo se empleará como unidad de medida el gramo (g).

2) Dimensiones: el sistema está concebido para ser empleado en el interior del carro donde el espacio es reducido por lo que unas gafas con un tamaño reducido serán más cómodas y fáciles de usar que otras más grandes. Además hay que recordar que el usuario empleará casco por lo que las dimensiones de estas gafas han de permitir el uso del casco.

3) Ajuste facial: se trata del material que el visor de realidad virtual emplea para apoyarse en la cara del usuario. Las distintas empresas están llevando muchos esfuerzos en este sentido con el objetivo de hacer las gafas lo más cómodas posibles. En este caso no hay forma de medir este subcriterio, por lo que su valoración irá en función de las opiniones que hay acerca de los artículos.

C. Costes: es un pilar fundamental, de un coste alto o bajo puede depender el ejecutar o no un proyecto. Es muy importante para este trabajo ya que la idea es proponer un sistema muy avanzado en cuanto a tecnología, pero por un coste bajo.

1) Precio: este subcriterio hace referencia al coste unitario que tendrá cada unidad de gafas de realidad virtual.

2) Flujo de suministros: otro subcriterio importante, ya que además de que sea de bajo coste, también se pretende que pueda ser ejecutado y puesto en funcionamiento casi de inmediato. La forma de evaluarlo será de comparar los días que el proveedor tardaría en realizar la entrega de las gafas de realidad virtual, lo que puede considerarse un coste de transacción.



4.3.2 REPRESENTACIÓN VISUAL DEL PROBLEMA

En este paso se va a proceder a la representación jerárquica del problema. Para ello se va a diseñar un árbol de jerarquías. En dicho árbol, como podemos observar en la figura 20, se establecen tres niveles jerárquicos: en el más alto encontramos el objetivo del análisis, un nivel más abajo nos encontramos con los criterios establecidos y en otro nivel inferior los subcriterios que nacen de los criterios, finalmente en el nivel más bajo se pueden observar las diferentes alternativas fruto de la selección previa de la totalidad de opciones de gafas de realidad virtual aptas para el proyecto existentes a día de hoy.

El Proceso Analítico Jerárquico pretende ser una herramienta de ayuda al decisor en el proceso de elección de la alternativa que mejor contribuye a alcanzar el objetivo del problema planteado.

A través de este árbol de jerarquías podemos mostrar de una forma muy clara y simple todos los factores que intervienen en la toma de decisiones y las distintas relaciones existentes entre estos.

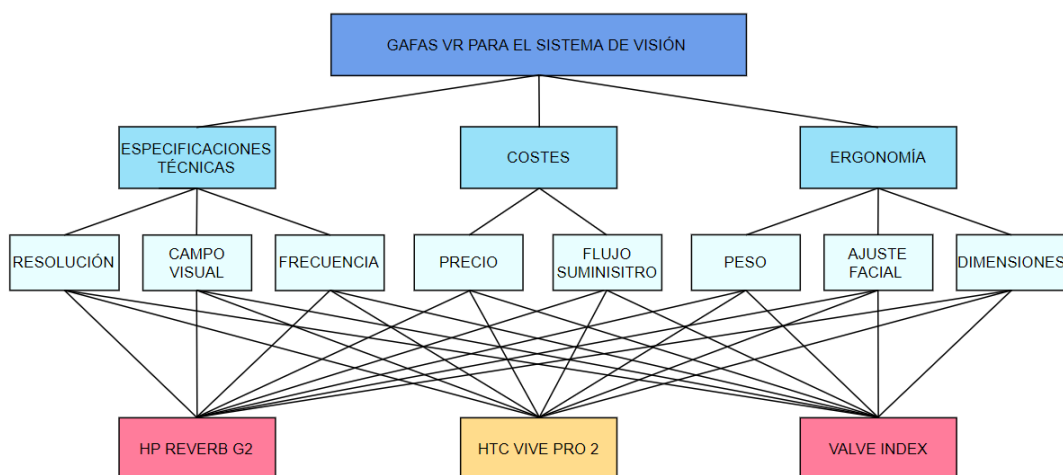


Figura 20. Árbol de jerarquías. Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 VALORACIÓN DE CRITERIOS Y SUBCRITERIOS

Una vez que el modelo de jerarquías ha sido construido se da paso a la segunda etapa, que consiste en la evaluación de los distintos elementos de la jerarquía establecida. El método para realizar esta evaluación consiste en la comparación por pares de todos los elementos que poseen alguna relación con otro elemento de un nivel superior. El objetivo de esta evaluación es el de determinar un orden de preferencia de los elementos que han sido evaluados respecto de su predecesor.

Será en este momento cuando los gustos y preferencias del personal que realizará la evaluación de los pares de elementos entren en juego. Para poder cuantificar la valoración que haga el personal se hará uso de la escala numérica propuesta por Saaty, que va del 1 al 9. Lo característico de esta escala es que asigna un valor numérico a un juicio emitido por la persona que realiza la evaluación, permitiendo valorar cuantitativamente cual es la contribución del elemento al nivel que se encuentre inmediatamente superior a este y del cual depende.



A continuación se mostrará la tabla propuesta por Saaty y que va a ser empleada a la hora de realizar las comparaciones a pares:

VALORACIÓN	EXPLICACIÓN	ESCALA
Igualmente preferible	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo	1
Moderadamente preferible	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro	3
Fuertemente preferible	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro	5
Muy fuertemente preferible	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. En la práctica se puede demostrar su dominio	7
Extremadamente preferible	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro	9
Valor intermedio entre anterior y posterior	Cuando no se puede definir con claridad la preferencia entre factores	2,4,6,8

Tabla 5. Escala de Saaty. Fuente: Elaboración propia.

Según lo explicado anteriormente se ha procedido a realizar una encuesta entre los cuadros de mando del RC "Montesa 3", una vez que los resultados fueron obtenidos se ha procedido de la siguiente manera: se ha realizado la media de la valoración recibida por cada criterio, posteriormente se ha dividido la media superior entre la inferior y con el resultado obtenido se ha recurrido a la tabla 6 para poder obtener el valor resultante de la valoración en la escala de Saaty.

RESULTADO MEDIA MAYOR÷MEDIA MENOR	ESCALA
[1; 1,1)	1
[1,1; 1,5)	3
[1,5; 3)	5
[3; 4)	7
[4; ∞)	9

Tabla 6. Escala de Saaty. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de las encuestas aparecen en el Anexo IX. Para ejemplificar lo dicho anteriormente, decir que la media obtenida por el criterio A (Especificaciones técnicas) ha sido 5,7273 y que la media obtenida para la criterio B (Ergonomía) ha sido 4,333, claramente la media del criterio A es mayor lo que hará que ocupe el numerador en la división del siguiente paso. Una



vez realizada la división de la media del criterio A entre la media del criterio B obtenemos un valor de 1,3216 y recurriendo a la tabla 6 podemos situarlo en el intervalo de [1,1, 1,5) obteniendo un valor final de la escala de Saaty de 3, que será el que se va a emplear en la futura matriz.

Será en este momento cuando con los resultados de las comparaciones pareadas realizadas se obtenga una matriz cuadrada, positiva y recíproca llamada Matriz de Comparaciones Pareadas. Esta matriz muestra los valores que indican la preferencia de un criterio, subcriterio o alternativa frente al otro/a.

▪ **Pesos de los criterios**

Es el momento de comenzar a construir la Matriz de Comparaciones Pareadas. Esta es una matriz genérica de dimensión nxn, en donde n es el número de criterios. Todos los valores de la matriz muestran la medida de preferencia de un criterio frente a otro. En la diagonal principal estos valores son 1 porque ahí se comparan los criterios con ellos mismos. Otra característica de la matriz es la reciprocidad, lo que quiere decir que siempre debe cumplirse que $a_{ij} = 1 / a_{ji}$

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \qquad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Figura 21. Matriz de comparaciones pareadas (Izda), Condición de Reciprocidad (Dcha). Fuente: (Muñoz Claro, 2017)

A partir de los datos recabados obtenemos la siguiente matriz:

CRITERIOS	Especificaciones	Ergonomía	Costes
Especificaciones	1	3	1/3
Ergonomía	1/3	1	1/3
Costes	3	3	1

Figura 22. Matriz de comparación de criterios. Fuente: Elaboración propia.

Llegados a este punto, y una vez calculada ya la Matriz de Comparaciones Pareadas de criterios obtenemos los pesos relativos de los criterios según las valoraciones de los expertos. En la imagen inferior podemos observar cómo han quedado los resultados, siendo finalmente los costes el criterio más importante.

CRITERIOS	PESOS(W)
Especificaciones	0,29
Ergonomía	0,14
Costes	0,57

Figura 23. Pesos relativos de criterios. Fuente: Elaboración propia.



▪ Análisis de consistencia de los pesos de los criterios obtenidos

En este paso se va a proceder a valorar la consistencia de los pesos obtenidos en el proceso anterior. La realización de este análisis se vuelve necesario ya que las comparaciones pareadas realizadas previamente están ejecutadas por humanos que han introducido en ellas sus gustos y preferencias, esto hace que alcanzar una consistencia perfecta sea muy difícil.

El Método de Análisis Multicriterio (AHP) es capaz de ofrecernos un buen resultado con un nivel de consistencia medio, sin embargo si el nivel de inconsistencia es alto se nos devolverá un resultado erróneo. Este alto nivel de inconsistencia refleja que los participantes de las encuestas no han comprendido bien el método.

El nivel de inconsistencia tiene que ser igual o inferior a 0,10 para que los resultados no sean considerados como inconsistentes y por lo tanto nos impida asumir estos como vinculantes. En caso de que el valor de 0,10 fuese ampliamente superado se debería proceder a revisar los juicios emitidos, corrigiendo aquellos que se alejen de valores aceptables.

El método AHP permite valorar este nivel de consistencia mediante el indicador Razón de Consistencia de Saaty (definida en anexo I):

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Figura 24. Razón de Consistencia. Fuente: (Muñoz Claro, 2017).

Finalmente, en nuestra Matriz de Comparaciones Pareada hemos obtenido un valor en la Razón de Consistencia de **0,1183**, el programa indica que si el valor emitido no es notablemente superior a **0,1** se puede considerar que los valores introducidos en la matriz son consistentes y que podemos continuar con la siguiente etapa.

▪ Peso de los subcriterios

En este paso, se va a proceder al cálculo del peso de los diferentes subcriterios. Para ello se va a proceder de la misma forma con la que hemos calculado los criterios, construiremos las diferentes matrices y obtendremos los pesos relativos y las razones de consistencia. A continuación se va a proceder a mostrar los resultados que se han obtenido del estudio:

Especificaciones	Resolución	Campo visual	Frecuencia	PESOS(W)
Resolución	1	1/5	5	0,22
Campo visual	5	1	9	0,72
Frecuencia	1/5	1/9	1	0,06

Figura 25. Matriz de comparación de subcriterios de especific. Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración superior podemos apreciar las preferencias establecidas para los subcriterios del criterio especificaciones. Se ha obtenido que el mayor peso relativo lo tiene el campo visual, mientras que lo menos importante sería la frecuencia. Asimismo, el programa ha arrojado un RC de **0,1035**, lo cuál al ser un valor muy próximo al 0,10 establecido nos indica que los valores que hemos introducido en la matriz son consistentes.



Ergonomía	Peso	Dimensiones	Ajuste facial	PESOS(W)
Peso	1	5	3	0,61
Dimensiones	1/5	1	1/5	0,09
Ajuste facial	1/3	5	1	0,30

Figura 26. Matriz de comparación de subcriterios de ergonomía. Fuente: Elaboración propia.

De la misma forma que en el caso anterior, se nos vuelve a presentar la matriz de comparaciones de los distintos subcriterios, pero en este caso para el criterio ergonomía. Se ha obtenido que el mayor peso relativo lo tiene el subcriterio peso y el menos importante sería en este caso el apartado de dimensiones. El programa muestra un RC de **0,1188**, cumpliendo con la premisa de ser un valor próximo o inferior al 0,10 establecido.

Costes	Precio	Flujo suministro	PESOS(W)
Precio	1	7	0,87
Flujo suministro	1/7	1	0,13

Figura 27. Matriz de comparación de subcriterios de costes. Fuente: Elaboración propia.

En este caso, se presenta la matriz para el criterio costes, obteniendo el precio el mayor peso relativo. Hay que destacar también que se ha obtenido un RC de **0,0000**, aunque no sería necesario su cálculo ya que con dos subcriterios no puede haber problemas de transitividad en las valoraciones.

4.3.4 VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS

En este paso se va a proceder a la realización de una Matriz de Comparaciones Pareadas por cada subcriterio existente. Dentro de esta matriz se compararán dos a dos las alternativas existentes para evaluar su grado de cumplimiento con el subcriterio seleccionado. De todos los subcriterios que se han evaluado solo se ha catalogado uno como cualitativo, esto hizo que se incluyese en la encuesta del anexo IV un apartado para que los encuestados valorasen las alternativas en relación a este subcriterio definido como "ajuste facial". El resto de los subcriterios son cuantitativos por lo tanto para su valoración se recurrió a las tablas obtenidas tras la investigación acerca de las características de los distintos sistemas.

A continuación se mostrarán las distintas matrices y los correspondientes pesos relativos, el proceso es similar al realizado anteriormente.



Resolución	HP Reverb G2	HTC Vive Pro 2	VALVE Index	PESOS(W)
HP Reverb G2	1	1/3	5	0,28
HTC Vive Pro 2	3	1	7	0,64
VALVE Index	1/5	1/7	1	0,07

Campo visual	HP Reverb G2	HTC Vive Pro 2	VALVE Index	PESOS(W)
HP Reverb G2	1	1/3	1/5	0,11
HTC Vive Pro 2	3	1	1/3	0,26
VALVE Index	5	3	1	0,63

Frecuencia	HP Reverb G2	HTC Vive Pro 2	VALVE Index	PESOS(W)
HP Reverb G2	1	1/5	1/7	0,07
HTC Vive Pro 2	5	1	1/3	0,28
VALVE Index	7	3	1	0,64

Figura 28. Matriz de comparación de alternativas (Específic.). Fuente: Elaboración propia.

Se han obtenido los siguiente valores :RC (Resolución) = **0,0565**, RC (Campo visual) = **0,0334**, RC (Frecuencia) = **0,0565**. Podemos observar que las VALVE Index ha obtenido el mayor peso en el caso de la frecuencia y del campo visual, las HP Reverb B2 ha sido la mejor valorada en cuanto a resolución.

Peso	HP Reverb G2	HTC Vive Pro 2	VALVE Index	PESOS(W)
HP Reverb G2	1	7	5	0,72
HTC Vive Pro 2	1/7	1	1/3	0,08
VALVE Index	1/5	3	1	0,19

Dimensiones	HP Reverb G2	HTC Vive Pro 2	VALVE Index	PESOS(W)
HP Reverb G2	1	9	7	0,78
HTC Vive Pro 2	1/9	1	1/3	0,07
VALVE Index	1/7	3	1	0,15

Ajuste facial	HP Reverb G2	HTC Vive Pro 2	VALVE Index	PESOS(W)
HP Reverb G2	1	5	9	0,75
HTC Vive Pro 2	1/5	1	3	0,18
VALVE Index	1/9	1/3	1	0,07

Figura 29. Matriz de comparación de alternativas (Ergonomía). Fuente: Elaboración propia.

Se han obtenido los siguientes valores: RC (Peso) = **0,0567**, RC (Campo visual) = **0,0708**, RC (Frecuencia) = **0,0252**. En esta ocasión las HP Reverb G2 han monopolizado la decisión de los encuestados al ser el que ha obtenido el mayor peso relativo en los diversos subcriterios de ergonomía.



Precio	HP Reverb G2	HTC Vive Pro 2	VALVE Index	PESOS(W)
HP Reverb G2	1	7	9	0,75
HTC Vive Pro 2	1/7	1	5	0,19
VALVE Index	1/9	1/5	1	0,06

Flujo suministro	HP Reverb G2	HTC Vive Pro 2	VALVE Index	PESOS(W)
HP Reverb G2	1	1	7	0,47
HTC Vive Pro 2	1	1	7	0,47
VALVE Index	1/7	1/7	1	0,07

Figura 30. Matriz de comparaciones de alternativas (costes). Fuente: Elaboración propia.

En las últimas matrices se obtuvieron los siguientes valores: RC (Precio) = **0,1889**, RC (Flujo suministro) = **0,0000**. En cuanto al precio las HP Reverb G2 es la clara vencedora ya que tiene un precio bastante inferior al resto y en cuanto al flujo de suministro hay que destacar que las HP y las HTC se encuentran en una situación similar mientras que la peor parada en este caso son las VALVE Index.

Finalmente, destacar que en ningún caso se ha superado de forma notable el valor de 0,1 establecido para el indicador RC, lo que nos confirma que los valores introducidos en las matrices son consistentes.

4.3.5 PRIORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS

Finalmente, en la Matriz de Decisión se reúnen todos los pesos que se han ido asignando durante todo el método. Podemos observar el resultado final para cada alternativa en un color distinto, tras la aplicación del método se ha obtenido que las gafas más idóneas para ser escogidas son las HP Reverb G2.

Las HP Reverb G2 han conseguido ser elegidas al ser la opción mejor valorada tanto en costes como en ergonomía, únicamente las VALVE Index y las HTC Vive Pro 2 fueron mejor valoradas en cuanto a especificaciones, pero el elevado precio y las malas características ergonómicas respectivamente han hecho que no hayan sido escogidas para formar parte del nuevo sistema de visión.

CRITERIOS / SUBCRITERIOS	PESOS	HP Reverb G2	HTC Vive Pro 2	VALVE Index
Especificaciones	0,29	0,14	0,34	0,51
+ Resolución	0,22	0,28	0,64	0,07
+ Campo visual	0,72	0,11	0,26	0,63
+ Frecuencia	0,06	0,07	0,28	0,64
Ergonomía	0,14	0,74	0,11	0,15
+ Peso	0,61	0,72	0,08	0,19
+ Dimensiones	0,09	0,78	0,07	0,15
+ Ajuste facial	0,30	0,75	0,18	0,07
Costes	0,57	0,71	0,22	0,06
+ Precio	0,87	0,75	0,19	0,06
+ Flujo suministro	0,13	0,47	0,47	0,07
		0,55	0,24	0,20

Figura 31. Matriz de comparación de alternativas. Fuente: Elaboración propia.



4.4 ESTUDIO DE MEJORA DE LA VISIÓN EN EL LEOPARD 2A4

En este apartado se va a proceder a mostrar cómo la implantación del nuevo sistema mejora la situación de visión del jefe de carro. La ejemplificación va a ser realizada para el carro de combate Leopard 2A4, blindado empleado en las prácticas externas. Para ello se va a hacer uso de un gráfico presente en el manual MT6-012 (Estado Mayor, 1997). Mediante el empleo de dicho gráfico se procederá a calcular la actual situación y a compararla con la nueva situación empleando el nuevo sistema.

Para poder crear el gráfico de zonas visibles y no visibles para la cámara se han necesitado las dimensiones del carro de combate, con el fin de poder ubicar el dispositivo en el blindado de la manera más precisa posible. Se ha recurrido al manual del vehículo, pero ha sorprendido la escasa información que este presenta en el aspecto de las dimensiones, esto ha hecho que se tenga que realizar una investigación a través de internet para poder conseguir estas dimensiones. Finalmente, se han encontrado una serie de croquis que nos serán de ayuda (zona-militar, 2018), a pesar de esto, se ha tenido que proceder a medir manualmente la rueda del blindado ya que esta información no estaba disponible en ningún lugar. Una vez se han conseguido los croquis y la dimensión de las ruedas se han trazado una serie de líneas auxiliares y se han tenido que realizar una serie de aproximaciones para poder conseguir el objetivo planteado. A continuación se muestran los distintos pasos que han sido realizados:

- En primer lugar, se va a proceder a ubicar la cámara en el plano horizontal (eje X). Debido a la ausencia de cotas se ha necesitado calcular la dimensión de una rueda del blindado que ha resultado ser de 700 mm de diámetro, es decir 350 mm de radio. A continuación se ha realizado una aproximación entre la primera rueda del vehículo y el límite izquierdo de la torre. Todas las cotas auxiliares necesarias se han añadido en color rojo.

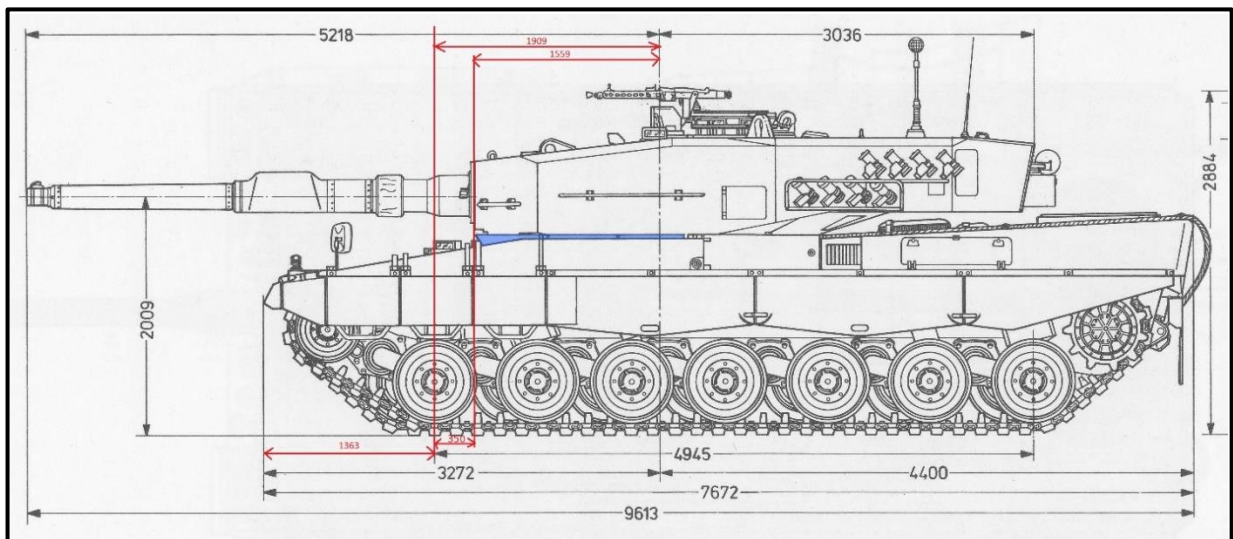


Figura 32. Vista lateral del Leopard 2A4 y cotas auxiliares. Fuente: Elaboración propia (zona-militar, 2018).

- Posteriormente, se ha decidido ubicar la cámara justo detrás de las 2 escotillas, para que esta se encuentre lo más centrada posible en la torre. Por lo que para poder ubicar la cámara con exactitud en el croquis se ha procedido a dividir la cota 3036 aplicando el teorema de Tales.

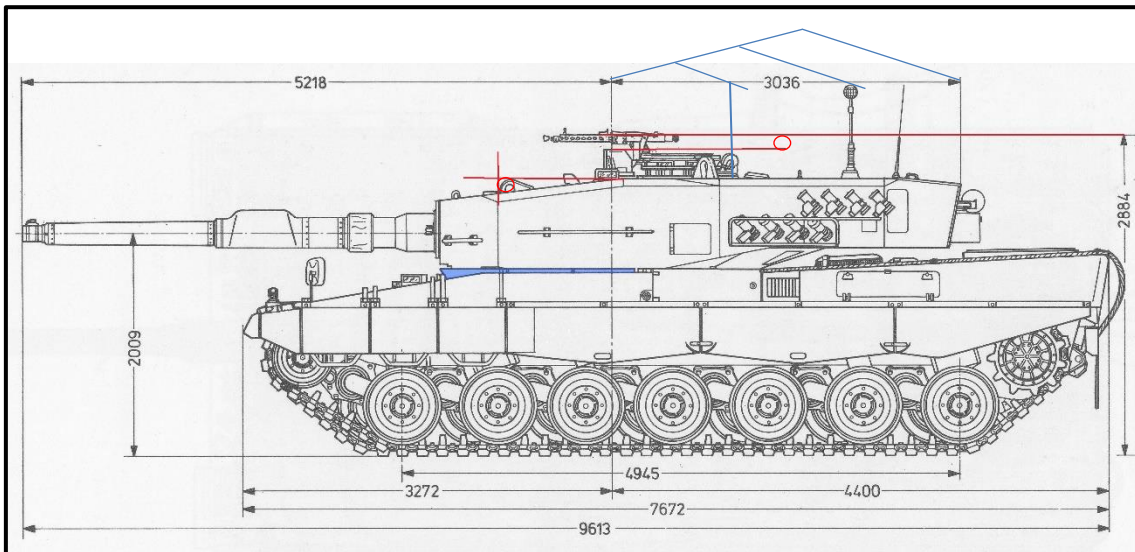


Figura 33. Realización de Teorema de Tales. Fuente: Elaboración propia (zona-militar, 2018).

- En este paso se va a proceder a ubicar la cámara en el plano vertical (eje Y). Se ha decidido que la cámara esté situada a una altura de 2884 mm, que se corresponde con la altura máxima alcanzada por la ametralladora situada en la torre. Esta decisión es tomada por criterios tácticos para evitar incrementar la altura del vehículo. La cámara tiene un diámetro de 140 mm (en el croquis se ha representado mediante una circunferencia roja), podemos emplear 404 mm desde la torre en vertical cumpliendo con la premisa de no incrementar la altura del vehículo, con lo cual se necesitará un **soporte de 264 mm**, sin embargo para el cálculo en los croquis se empleará la cota 277 como longitud del soporte y la diferencia como el tamaño de la cámara (debido a la dificultad de llevar con precisión la dimensión de 264 mm al croquis). Se puede apreciar en la figura 33, que por analogía (el círculo rojo representa la cámara) se observa que el tamaño de la cámara coincide con la diferencia de altura en la parte de la izquierda de la torre debido al ángulo de caída que presenta. En cuanto a la posición frontal, el centro de la cámara estará ubicada en el medio de las cotas 1323 y 1230,5 de la figura 34.

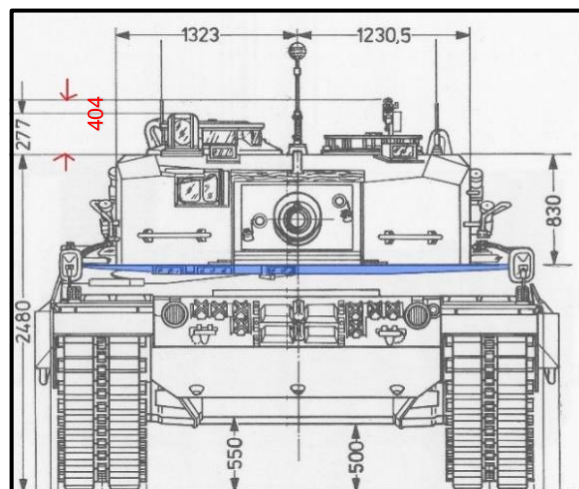


Figura 34. Vista frontal del Leopard 2A4 y cota auxiliar. Fuente: Elaboración propia (zona-militar, 2018).



- Una vez conseguidas todas las cotas auxiliares necesarias se procede al cálculo de los ángulos de visión desde la posición asignada a la cámara. Las líneas trazadas en azul son líneas auxiliares para poder ubicar con exactitud la cámara. Por la parte izquierda de la torre el ángulo será calculado con exactitud, sin embargo por el lado derecho se simulará que la torre es perfectamente cuadrada, introduciendo un ligero aumento al área final no visible.

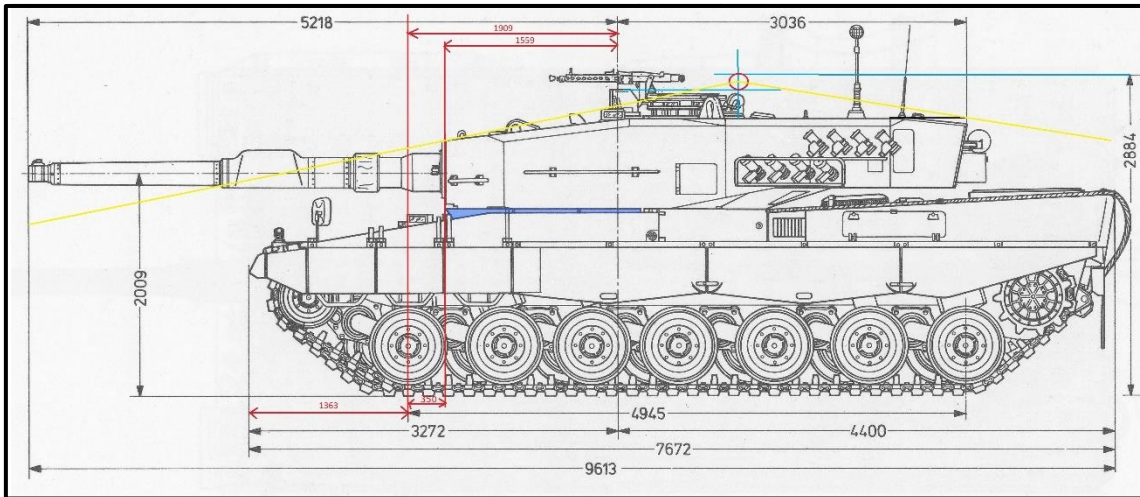


Figura 35. Zonas no visibles desde la ubicación para la cámara. Fuente: Elaboración propia.

- Como se puede observar todo lo que caiga por debajo de las líneas amarillas serían zonas no visibles a través del sistema. Para poder calcular estas áreas se va a hacer uso de trigonometría básica. A continuación se muestra un ejemplo:

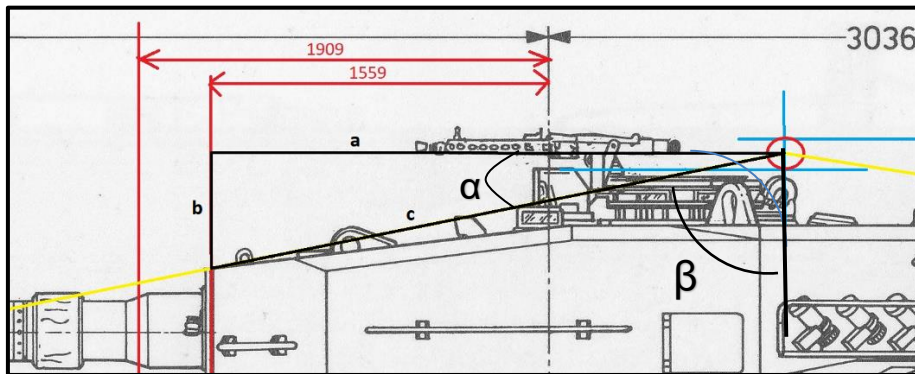


Figura 36. Triángulo rectángulo para cálculo de ángulo α . Fuente: Elaboración propia.

$$\tan(\alpha) = \frac{b}{a} \quad \alpha = \arctan \frac{b}{a} \quad \beta = 90 - \alpha$$

Figura 37. Fórmulas trigonométricas. Fuente: Elaboración propia.

- Es fácilmente observable que $a = (1559 + 1012)$ y que $b = ((404 - 70) + 140)$. A partir de estos datos obtenemos el ángulo existente entre a y c . Ángulo que será empleado posteriormente para calcular la distancia no visible. Empleando las fórmulas superiores se obtiene que la relación de $b/a = 0,1844$ y aplicando la fórmula de la arcotangente obtenemos un valor α de $10,447^\circ$. Finalmente se obtiene el valor de $\beta = 79,553^\circ$.



- Para poder calcular el punto de intersección de la visual con el suelo se empleará otro triángulo rectángulo empleando el valor β conseguido y la altura con respecto al suelo según la figura 38.
- Empleando la figura 35, observamos que $h = 2884 \text{ mm}$ y que disponemos del ángulo β , por lo que se procede de la misma manera que anteriormente y se obtiene una $d = 15641,37 \text{ mm}$, distancia en la cual la cámara no capta imagen del terreno. En este caso hay que especificar que d es el cateto opuesto que sustituirá a la b en la fórmula de la figura 37.
- Para la realización de este estudio únicamente se calculará la visión que se tiene por la parte delantera, trasera y ambos laterales, ya que nos proporcionará la suficiente información para poder ver la mejora real. Los cálculos realizados para el resto son similares al ya realizado por lo que se adjunta en el anexo III.

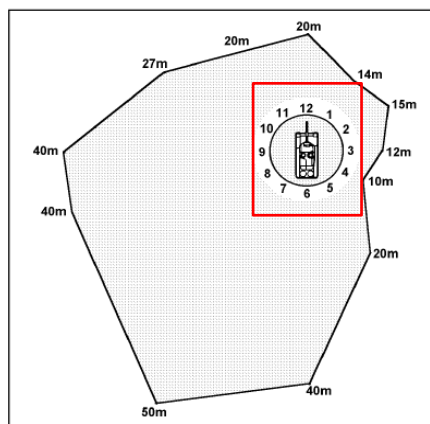
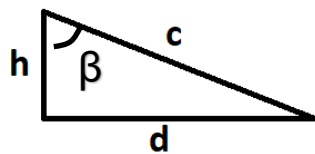


Figura 38. Triángulo rectángulo para cálculo de distancia. Fuente: Elaboración propia. (izda).

Figura 39. Gráfico comparativo de áreas no visibles. Fuente: Elaboración propia. (dcha).

- A continuación se va a proceder a calcular el porcentaje de mejora obtenido. Para ello se va a calcular el área del dodecágono irregular y posteriormente la del cuadrado, el método para calcular el área del dodecágono consistirá en dividir la totalidad del área en 12 triángulos que todos tienen en común que sus lados forman un ángulo de 30° , ya que las medidas mostradas ocupan las posiciones de las horas del reloj dividiendo la circunferencia de 360° en 12 partes iguales. Para esto emplearemos las fórmulas que se encuentran en la figura 40.

$$A = [(b \times a) \times \sin(c) / 2] \quad A = L \times L$$

Figura 40. Fórmulas para cálculo de áreas. Fuente: Elaboración propia.

- Los cálculos realizados se muestran en el anexo III, finalmente se ha obtenido un área no visible con el sistema de visión del Leopard 2A4 de $2352,5 \text{ m}^2$ y un área no visible de $730,49 \text{ m}^2$ en el caso de que el nuevo sistema de visión estuviese implantado. Con la implantación del nuevo sistema de visión conseguimos reducir en un 68,95% la zona no visible, quedando ésta en menos de una tercera parte de la que se tiene actualmente con los periscopios de observación. Es necesario destacar que en la realidad esta mejora sería todavía mayor ya que al únicamente calcular la visión por 4 puntos y haber supuesto que la torre es plana en la parte trasera se ha aumentado el área no visible.



Tras haber realizado el cálculo de la mejora de la visión y realizar una propuesta de la ubicación de la cámara se ha demostrado la enorme mejora que supone la implantación del nuevo sistema, esta situación se debe al precario sistema de observación con el que está dotado el jefe de carro que hace que tenga grandes carencias sobre todo en su flanco izquierdo y a su retaguardia. A continuación se va a proceder a mostrar las características de los medios de observación de los que están dotado actualmente el blindado y su comparativa con la cámara que los suplantaría en el nuevo sistema de visión, para poder demostrar así otra vez el gran avance que plantea el nuevo sistema:

	SISTEMA ACTUAL	SISTEMA PROPUESTO
		
Nombre	Periscopio de observación	Cámara 360°
Modelo	Wisp 11	Insta 360 Pro
Número	6 alrededor de la escotilla del JV	1 centrada en el exterior de la torre
Campo visual X	La visión horizontal abarca un ángulo de visión máximo de 103°	La visión horizontal abarca un ángulo de 360°
Campo visual Y	La visión vertical abarca un ángulo de visión máximo de 35°	La visión vertical abarca un ángulo de 360°
Área no visible	La superficie no visible es elevada siendo esta 2352,5 m ²	La superficie no visible es aproximadamente inferior a 730,49 m ²
Visión aérea	La vigilancia del espacio aéreo se dificulta por el limitado ángulo de visión	La vigilancia del espacio aéreo es sencilla al no haber límites en la visión

Tabla 7. Comparativa de sistemas de visión. Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en la tabla 7, el actual sistema de visión son 6 periscopios cuyo rango de visión está muy limitado. Este hecho es muy perjudicial tanto para operaciones en las que las distancias con las que se trabajen sean cortas, siendo un ejemplo de esto el combate urbano, y también en cuanto a la vigilancia del espacio aéreo que representa una de las principales amenazas para las unidades de caballería. Además de lo citado, cabe destacar el hecho de que los periscopios convencionales obtienen una visión 360° alrededor del vehículo, pero la ruptura en la continuidad de las imágenes del exterior que el jefe de carro obtiene juega un papel negativo y favorece a la desorientación. La implantación del nuevo sistema acabaría con esta falta de continuidad permitiendo la visión completa del exterior del carro con un ligero movimiento de la cabeza. Mediante la realización del estudio de visión y la posterior presentación de las características de los sistemas se ha buscado justificar la implantación del nuevo sistema que ha quedado demostrado que soluciona los problemas anteriormente citados.



4.5 DAFO DEL SISTEMA DE VISIÓN ACTUAL Y SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA VIRTUAL

En este apartado se va a proceder a realizar un análisis DAFO del sistema de visión actual del Leopard 2A4 y posteriormente otro análisis DAFO en el cuál el sistema de visión de realidad aumentada virtual se encuentra instalado en el carro de combate.

El análisis DAFO es una herramienta que permite al usuario detectar la realidad de un sistema o de un producto con vistas a elaborar la estrategia futura. En este caso se va a proceder a emplear este análisis para valorar la situación actual con los sistemas de visión que tiene el Leopard 2 A4 y posteriormente se realizará otro para poder realizar una comparación y ver si las debilidades del sistema actual son fortalezas en el nuevo sistema de visión que se pretende implementar.

El **análisis DAFO** se constituye de dos partes:

- **Análisis interno:** compuesto por debilidades y fortalezas, realizando una fotografía de la realidad del sistema.
- **Análisis externo:** compuesto por amenazas y oportunidades, todos aquellos aspectos que no dependen directamente del sistema pero que le afectan.

A continuación, se va a representar de manera gráfica el análisis DAFO realizado sobre el sistema de visión actualmente implantado en los Leopard 2A4:

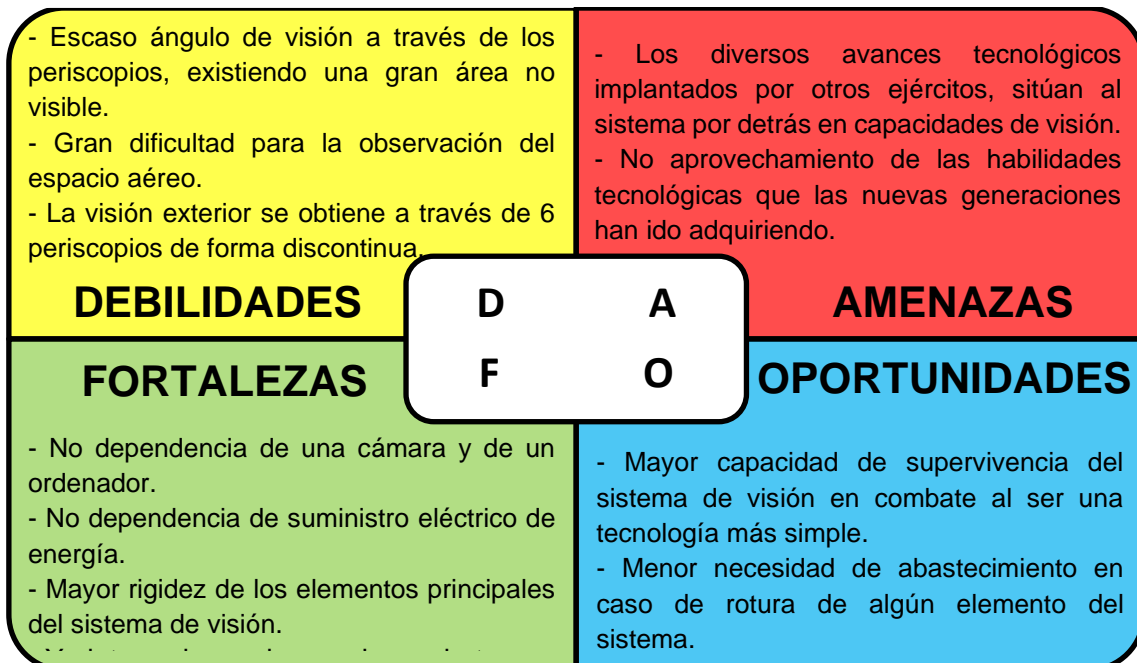


Figura 41. Análisis DAFO del sistema de visión actual en el Leopard 2A4. Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera que se ha hecho, se va a proceder a mostrar el DAFO realizado para el nuevo sistema de visión de Realidad Aumentada Virtual que se plantea:

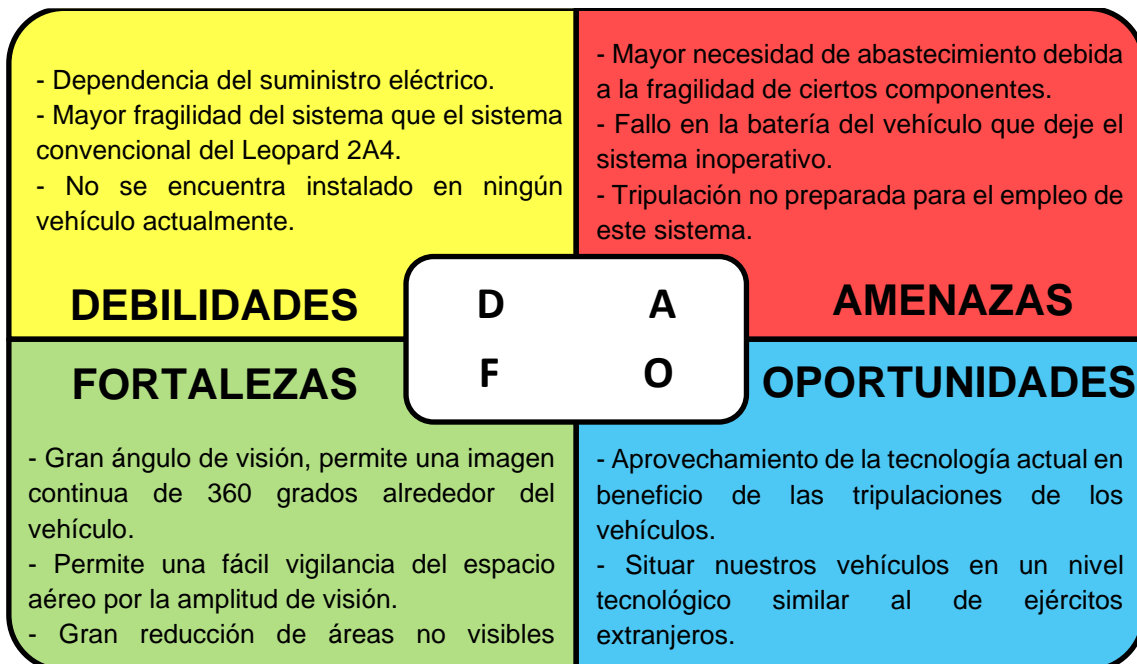


Figura 42. Análisis DAFO del sistema de visión de Realidad Aumentada Virtual. Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 41 y 42 se puede apreciar de manera muy fácil todo lo que cada sistema de visión aporta o deja de aportar. A continuación, se va a proceder a realizar una comparación entre ambos sistemas con el fin de justificar la implementación del nuevo sistema.

A la luz de los DAFO que se han establecido, es sencillo apreciar que las debilidades del sistema convencional se transforman en fortalezas en el nuevo sistema, esto se debe a que se soluciona el problema de la visión cercana del vehículo en gran medida y se obtiene una visión exterior continua que favorece a la orientación del jefe del blindado además de permitirle una fácil vigilancia del espacio aéreo.

En cuanto a las amenazas hay que destacar que la existencia de problemas logísticos y la posibilidad de sufrir algún fallo electrónico son riesgos a asumir a la hora de implantar tecnología en nuestros vehículos si se quiere evitar el situarse tecnológicamente por detrás del resto de países. A pesar de que el nuevo sistema presente mayor fragilidad con respecto al convencional, este último también puede ser deteriorado durante el combate lo que resta importancia a esa rigidez aparente del sistema convencional.

En cuanto a las oportunidades es necesario recalcar que en las plantillas actuales del Ejército de Tierra se encuentra personal muy preparado y capaz de hacer uso de tecnologías más complejas. Con la implantación del nuevo sistema las tripulaciones adquirirían nuevas habilidades a la vez que aprovecharían las ventajas que este sistema ofrece, mientras que con el sistema convencional de visión las tripulaciones continuarían estancadas tecnológicamente, además de estar desaprovechando la capacidad que estos integrantes tienen.

En resumen, ambos sistemas sufren amenazas y presentan debilidades, si bien las oportunidades y fortalezas que presenta el nuevo sistema de visión mejora en gran medida las del sistema convencional además de solucionar diversos problemas que han dado pie a la realización de este TFG. Se considera que a la luz de los resultados obtenidos la mejor opción de sistema de observación es el planteado, es decir, el Sistema de Realidad Aumentada Virtual.



5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 CONCLUSIONES

Los actuales sistemas de visión de los carros de combate presentan una serie de carencias que afectan al mando y control, estas carencias han sido ejemplarizadas a través de Leopard 2A4. Se han mostrado las distintas áreas en las que el jefe de carro no tiene visión además del hecho de tener que emplear 6 periscopios y no obtener una imagen continua del exterior puede provocar la desorientación del jefe del vehículo. Junto con estos hechos cabe destacar la escasa visión que la tripulación obtiene del espacio aéreo y la peligrosidad que esto supone debido a la vulnerabilidad de los medios acorazados a helicópteros o aviones de combate.

Se ha detectado que a pesar de que existen una serie de avances que intentan mejorar el campo de visión que la tripulación obtiene del carro, estos no están bien dirigidos pues están pensados para que sean empleados por el conductor (mientras que es el jefe de carro el verdadero responsable del vehículo) o bien no terminan de aportar una información completa de 360 grados en torno al vehículo creando grandes áreas no visibles.

Tras la realización de la encuesta a los distintos jefes de carro a mi alcance se ha corroborado la dificultad de mando con los sistemas de visión actuales y se ha percibido un gran interés por parte del conjunto en el empleo de la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada como solución al problema de falta y/o dificultad de visión alrededor del vehículo.

Una vez analizados los problemas, se ha considerado que la solución más eficaz ante estos problemas es la implantación de un sistema que permita la visión de 360 grados alrededor del vehículo apoyándose en las tecnologías de la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada. El sistema ha recibido el nombre de sistema de visión de Realidad Aumentada Virtual ya que combina las posibilidades que ofrecen ambas tecnologías, a través de la RV obtenemos una imagen de 360 grados digitalizada del exterior y mediante la RA creamos hologramas mediante los cuales se puede aportar una información extra al observador.

Se ha realizado un estudio de los distintos sistemas de visión que existen actualmente en otros ejércitos y cuyos fundamentos son similares a los del sistema planteado, pero en vistas de que el Ejército de Tierra ya había descartado el adoptar uno se ha procedido a realizar un estudio acerca del material que deberíamos adquirir en el mercado para poder crear este sistema sin necesidad de acudir a ninguna empresa.

Para poder crear nuestro propio sistema de Realidad Aumentada Virtual se ha procedido a la elección del distinto material mediante el uso del análisis multicriterio (AHP) para escoger las gafas que el jefe de carro empleará. Del resto de elementos del sistema únicamente se ha ofrecido una propuesta (se considera que existen muchos productos que puedan cumplir esa función y que el producto final no variará apenas), no así con las gafas que se han considerado como el elemento más importante del sistema. Finalmente, el modelo elegido fueron las HP Reverb G2, modelo muy reciente con buenas prestaciones técnicas y un precio moderado que ha facilitado su elección.

Ya con la selección de material realizada y ateniéndose a las características técnicas que los distintos componentes nos ofrecen se ha procedido a realizar un estudio de la visión que el nuevo sistema obtiene con el fin de poder valorar la mejora obtenida. Además del posterior análisis DAFO con vistas a valorar y poder comparar de manera sencilla las cualidades que ofrecen ambos sistemas y poder determinar todos los nuevos beneficios que el sistema de visión planteado aporta.



Una vez realizado el estudio de visión con sus aproximaciones pertinentes debido a la falta de datos se ha obtenido que el nuevo sistema mejora en más de 3 veces en cuanto al área cercana visible alrededor del carro, así como permitir una fácil visión del espacio aéreo posibilitando la vigilancia y una detección más fácil de enemigos que emplean la atmósfera para realizar sus ataques.

A la vista del análisis DAFO es fácil entender como se han producido las mejoras, y es que los periscopios tradicionales están dotados de un ángulo de visión muy limitado mientras que el nuevo sistema plantea la introducción de una cámara que tiene visión completa de todo lo que le rodea. Gracias a este hecho y aprovechando el amplio campo de visión que las gafas de RV ofrecen, el jefe de carro puede obtener una visión del exterior continua y prácticamente completa (gracias a los sensores de las gafas que modificarán la visual obtenida con el leve giro de la cabeza del observador).

Para concluir, recalcar el hecho de que se ha conseguido la premisa inicial de crear un sistema de visión que solventa los problemas actuales a un bajo coste y sin depender de ninguna empresa, es decir se trata de un proyecto que puede ser puesto en marcha en cualquier momento con la adquisición y montaje adecuados de los distintos elementos.

5.2 LÍNEAS FUTURAS

En cuanto a desarrollo de líneas futuras del proyecto hay que destacar el estudio de visualización de información extra a través de las gafas de Realidad Virtual, es decir, la potenciación de la parte "Aumentada" del sistema de Realidad Aumentada Virtual, ya que principalmente en el trabajo se ha investigado acerca de la visualización de imágenes del exterior a través de las gafas (que correspondería con la parte "Virtual" del sistema de visión).

El desarrollo de esta información extra que obtendría el usuario podría ser realizada en tres etapas que podrían ser las siguientes:

- Una primera etapa en la que se estudiase como replicar la óptica del cañón del blindado en las gafas del sistema de visión, para incrementar la rapidez y la eficacia de las tripulaciones.
- Una segunda etapa en la que se realizase un estudio de la distinta información que la tripulación debería percibir a través de las gafas. Esto es, información de combustible, existencias de munición, posibilidad de visualización de BMS...
- Una tercera etapa que consistiría en el estudio de la ubicación de los distintos elementos mencionados anteriormente en las gafas del usuario, es decir, el desarrollo de la ergonomía del software.

Asimismo, se contempla también el desarrollo de algún tipo de cúpula de protección o soporte especial que brinde de una mayor protección al sistema, proporcionándole una mayor rigidez y situándola prácticamente al mismo nivel del sistema convencional de visión actual en el Leopard 2A4 en cuanto a lo que dureza refiere.



6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, R., 2016. *Xataka*. [En línea]
Available at: <https://www.xataka.com/realidad-virtual-aumentada/hololens-se-prepara-para-la-batalla-ucrania-esta-por-incorporarlas-a-su-equipamiento-militar>
[Último acceso: 21 10 2021].
- Avilés, J. L., 2014. ¿Hay algo para lo que no sirva Oculus Rift? El ejército noruego usará las gafas para conducir tanques. *eldiario.es*, 29 4, p. 1.
- Bach, D., 2021. *Microsoft*. [En línea]
Available at: <https://news.microsoft.com/transform/u-s-army-to-use-hololens-technology-in-high-tech-headsets-for-soldiers/>
[Último acceso: 22 10 2021].
- Bacon, C., 2021. *ARMY*. [En línea]
Available at:
https://www.army.mil/article/243505/ivas_gogqle_amplifies_mounted_capabilities
[Último acceso: 22 10 2021].
- Carrasco, B., 2019. *infodefensa*. [En línea]
Available at: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3129170/ejercito-prueba-sistema-iron-vision-elbit-pizarro>
[Último acceso: 22 9 2021].
- deusems.com, 2018. *deusems.com*. [En línea]
Available at: <https://deusems.com/es/blog/hitos-historia-realidad-virtual>
[Último acceso: 21 10 2021].
- Elbit Systems, 2021. *Elbit Systems*. [En línea]
Available at: <https://elbitsystems.com/pdf/ironvision/>
[Último acceso: 21 10 2021].
- Estado Mayor, d. E., 1997. *MT6-012: Manual técnico carro de combate Leopard 2A4*, s.l.: Estado Mayor del Ejército.
- HP, 2020. *HP.com*. [En línea]
Available at: <https://www.hp.com/es-es/vr/reverb-q2-vr-headset.html>
[Último acceso: 21 10 2021].
- Insta360, 2021. *Insta360*. [En línea]
Available at: <https://www.insta360.com/es/product/insta360-pro/>
[Último acceso: 23 10 2021].
- López, C. E., 2021. *Realidad aumentada aplicada a la instrucción y adiestramiento de unidades*, s.l.: MADOC.
- Martí, A., 2021. *Xataka*. [En línea]
Available at: <https://www.xataka.com/realidad-virtual-aumentada/htc-vive-pro-2-htc-vive-focus-3-caracteristicas-precio-ficha-tecnica>
[Último acceso: 20 9 2021].
- Microsoft, 2020. *Microsoft*. [En línea]
Available at: <https://www.hp.com/es-es/vr/reverb-q2-vr-headset.html>
[Último acceso: 22 10 2021].
- Microsoft, 2021. *Microsoft*. [En línea]
Available at: <https://www.microsoft.com/es-es/hololens/industry-manufacturing>
[Último acceso: 24 10 2021].
- Ministerio de Defensa, 2019. *defensa.gob*. [En línea]
Available at: <https://www.defensa.gob.es/comun/slider/2019/06/190627-realidad-aumentada-et.html>
[Último acceso: 22 10 2021].



Muñoz Claro, T., 2017. *TFG: Fundamentos de las metodologías AHP y ANP.*, Sevilla: s.n.

Pérez, E., 2021. *Xataka*. [En línea]

Available at: <https://www.xataka.com/empresas-y-economia/microsoft-abastecera-al-ejercito-ee-uu-sus-gafas-hololens-contrato-21-900-millones-dolares-para-realidad-aumentada-uso-militar>

[Último acceso: 22 10 2021].

Rodríguez de Luis, E., 2021. *Xataka*. [En línea]

Available at: <https://www.xataka.com/seleccion/guia-compra-gafas-realidad-virtual-16-modelos-para-todas-expectativas-necesidades-presupuestos>

[Último acceso: 20 11 2021].

VALVE, 2019. *valvesoftware*. [En línea]

Available at: <https://www.valvesoftware.com/es/index/headset>

[Último acceso: 22 10 2021].

Yepes Piqueras, V., 2018. *victoryepes.blogs.upv.es*. [En línea]

Available at: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>

[Último acceso: 20 10 2021].

zona-militar, 2018. *zona-militar*. [En línea]

Available at: <https://www.zona-militar.com/foros/threads/tanques-modernos.3864/page-55>

[Último acceso: 22 11 2021].



ANEXOS



Anexo I. Cálculo de pesos de criterios y su consistencia sin ayuda de “software” AHP.

• Cálculo de pesos de los criterios

Una vez se ha realizado el cálculo de la Matriz de Comparaciones Pareadas se procederá a realizar una Síntesis de las Prioridades con el objetivo de obtener las prioridades de los criterios respecto de la meta (en este primer caso, posteriormente se calculará para los subcriterios y para las alternativas). El procedimiento matemático que se va a emplear es el Método del Autovector Principal por la Derecha, con este procedimiento podremos obtener el Vector de Pesos Relativos (w). Resolviendo el sistema de ecuaciones (donde A es la Matriz de Comparaciones Pareadas, $\lambda_{\text{máx}}$ es el autovalor principal de A) que encontramos en la figura 43 obtendremos el vector mencionado anteriormente.

$$A w = \lambda_{\text{max}} w \quad \text{con} \quad \sum_j w_j = 1$$

Figura 43. Sistema de ecuaciones para obtener w . Fuente: (Muñoz Claro, 2017).

En la práctica, uno de los métodos que son empleados para la resolución aproximada de la ecuación propuesta anteriormente es el promedio por fila de los elementos normalizados de cada columna de la Matriz de Comparaciones Pareada. Los pasos para calcular el Vector de Pesos Relativos serían los siguientes:

1. Se procede a sumar los valores de cada columna de la Matriz de Comparaciones Pareada.
2. Realizada la suma, se procederá a la división de cada elemento entre el total de la suma de la columna con el objetivo de conseguir la Matriz de Comparaciones Pareada Normalizada.
3. Ya con la Matriz de Comparaciones Normalizada se calcula el promedio por fila, obteniendo una matriz de una única columna a la que vamos a denominar Vector de Pesos Relativos (w).

El proceso descrito anteriormente es resumido mediante las fórmulas de la figura 44 mostrada a continuación:

$$w_i = \frac{1}{N} * \sum_j a_{ij}' \quad , \quad a_{ij}' = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^N a_{ij}}$$

Figura 44. Fórmulas para obtener el Vector de Pesos Relativos. Fuente: (Muñoz Claro, 2017).
Consistencia de los pesos obtenidos

El método AHP nos permite analizar la consistencia de los juicios emitidos a través de un indicador que recibe el nombre de Razón de Consistencia de Saaty, RC.

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Figura 45. Razón de Consistencia. Fuente: (Muñoz Claro, 2017).



En la anterior fórmula se introduce un valor conocido como Índice de Consistencia de la Matriz (IC), este valor representa la desviación de consistencia de los distintos juicios emitidos, el término IA representa el Índice de Consistencia Aleatoria. Este último valor puede ser calculado de la siguiente manera:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Figura 46. Índice de consistencia. Fuente: (Muñoz Claro, 2017).

La fórmula que se muestra en la figura anterior muestra el término λ_{max} que puede ser calculado con la siguiente ecuación (siendo n el valor que corresponde con el número de filas de la matriz cuyo RC se busca calcular):

$$A * w = \lambda_{max} * w$$

Figura 47. Fórmula para obtención de $\lambda_{máx}$. Fuente: (Muñoz Claro, 2017).

Una vez que ya se haya calculado el IC procederemos a la obtención del valor IA, el cual se puede tomar en función de n a partir de la siguiente tabla:

Nº de Elementos que se comparan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Aleatorio de Consistencia (IA)	0	0	0.58	0.89	1.11	1.24	1.32	1.40	1.45	1.49

Figura 48. Tabla de valores para IA en función de n. Fuente: (Muñoz Claro, 2017).

La Razón de Consistencia tiene que ser igual o inferior a 0,10 para que los resultados no sean considerados como inconsistentes y por lo tanto nos impida asumir estos como vinculantes.



Anexo II. ALTERNATIVAS GAFAS VR EXISTENTES EN EL MERCADO ACTUAL

- HP Reverb G2

Monitor	2 LCD de 2,89"
Resolución	4K (2K x 2K por ojo)
Campo de visión (FOV)	114 grados
Gama RGB subpíxeles	Sí
Frecuencia	90 Hz
Mandos	Incluidos
Monitorización	4 cámaras para seguimiento y arquitectura 6DoF
Compatibilidad	Windows 10
RAM mínima	8 GB
Ajuste de la DIP mec.	Sí
Máscara facial	Almohadillas faciales de tela con ajuste de velcro
Peso	550 gramos
Cable	6 metros
Precio	500 euros

Tabla 8. Características del sistema HP Reverb G2. Fuente: Elaboración propia.

Las HP Reverb G2 (HP, 2020) son unas de las gafas más recientes en el mercado de la realidad virtual (ofrecidas el 7 de julio de 2020). Han sido desarrolladas por HP en colaboración con las compañías Valve y Microsoft, que son líderes en este sector. De estas gafas hay que destacar los gráficos de máxima definición que se ofrecen sin efecto mura (provoca que la imagen pierda nitidez debido a irregularidades en la iluminación de los píxeles de la pantalla) a través de objetivos LCD de 2160 x 2160, el ajuste de la distancia interpupilar (DIP) para conseguir un ajuste perfecto y la inclusión de 2 mandos.



Figura 49. HP Reverb G2. Fuente: (HP, 2020).



- **HTC Vive Pro**

Monitor	2 OLED de 3,5''
Resolución	2880 x 1600 (1440 X 1600 por ojo)
Campo de visión (FOV)	110 grados
Gama RGB subpíxeles	No
Frecuencia	90 Hz
Mandos	Incluidos
Monitorización	Arquitectura de seguimiento con estaciones base SteamVR
Compatibilidad	Windows 8.1 o posterior, Windows 10
RAM mínima	4 GB
Ajuste de la DIP mec.	Sí
Máscara facial	Almohadillas de espuma y ajuste con trinquete
Peso	555 gramos
Cable	5 metros
Precio	1200 euros

Tabla 9. Características del sistema HTC Vive Pro. Fuente: Elaboración propia.

Las HTC Vive Pro son unas gafas de realidad virtual que tuvieron su fecha de lanzamiento el 5 de abril de 2018. Se trata de un sistema que ofrece unas buenas características técnicas pero se ha visto mejorado en casi todos los aspectos (a excepción del peso) por su sucesor las Vive Pro 2. La empresa productora destaca de estas gafas su alta resolución que se consigue con sus 2 pantallas OLED y la buena ergonomía conseguida con un diseño que ha encontrado un centro de gravedad óptimo.



Figura 50. HTC Vive Pro. Fuente: HTC.



- **HTC Vive Pro 2**

Monitor	LCD dual RGB de baja persistencia
Resolución	5K
Campo de visión (FOV)	120 grados
Gama RGB subpíxeles	Sí
Frecuencia	120 Hz
Mandos	No incluidos
Monitorización	Arquitectura de seguimiento con estaciones base SteamVR
Compatibilidad	Windows 10
RAM mínima	8 GB
Ajuste de la DIP mec.	No
Máscara facial	Correa ajustable para la cabeza
Peso	850 gramos
Cable	5 metros
Precio	800 euros

Tabla 10. Características del sistema HTC Vive Pro 2. Fuente: Elaboración propia.

Las HTC Vive Pro 2 son el último lanzamiento en materia de gafas de realidad virtual, fueron anunciadas a la venta el día 4 de junio de 2021. Se presenta como una gran opción al ser de las primeras gafas que incluyen la tecnología 5K (2,5K por ojo resultando, resultando en un 5K combinando). Con este aumento de resolución se espera una mejora a nivel de nitidez en las gafas. Esta segunda edición de las Vive Pro mejora bastante su predecesor incorporando pantallas LCD en vez de las OLED y mejora más aspectos como en la frecuencia y el ángulo de visión, a pesar de este hecho, estéticamente siguen siendo bastante similares (Martí, 2021).



Figura 51. HTC Vive Pro 2. Fuente: HTC.



- **OCULUS Rift S**

Monitor	1 LCD
Resolución	2560 x 1440 (1280 x 1440 por ojo)
Campo de visión (FOV)	110 grados
Gama RGB subpíxeles	Sí
Frecuencia	80 Hz
Mandos	Incluidos
Monitorización	5 cámaras para seguimiento y arquitectura 6DoF
Compatibilidad	Windows 10
RAM mínima	8 GB
Ajuste de la DIP mec.	No
Máscara facial	Ajuste con dial giratorio
Peso	470 gramos
Cable	5 metros
Precio	350 euros

Tabla 11. Características del sistema OCULUS Rift S. Fuente: Elaboración propia.

Las OCULUS Rift S no son el último modelo de la marca, sin embargo están consideradas unas de las mejores gafas del sector. Fueron desarrolladas por Lenovo y lanzadas a la venta al público el 21 de mayo de 2019. El modelo Rift S ha reemplazado al modelo Rift con mejoras en resolución y en otras características técnicas. En la actualidad ya se ha anunciado que el sistema se va a dejar de producir ya que la empresa ha decidido centrarse en su nuevo modelo el Quest 2, pero este sistema a pesar de ser más novedoso no es de aplicación para el proyecto debido a que se trata de un sistema independiente, es decir que no va conectado a ordenador.



Figura 52. OCULUS Rift S. Fuente: Oculus.



- **HTC Vive Cosmos Elite**

Monitor	2 LCD
Resolución	2880 x 1600 px (1440 x 1600 px por ojo)
Campo de visión (FOV)	110 grados
Gama RGB subpíxeles	Sí
Frecuencia	90 Hz
Mandos	Incluidos
Monitorización	6 cámaras para seguimiento y arquitectura 6DoF
Compatibilidad	Windows 10
RAM mínima	4 GB
Ajuste de la DIP mec.	Si
Máscara facial	Correa ajustable para la cabeza
Peso	775 gramos
Cable	5,5 metros
Precio	1000 euros

Tabla 12. Características del sistema HTC Vive Cosmos Elite. Fuente: Elaboración propia.

Las HTC Vive Cosmos Elite salieron a la venta el 18 de marzo de 2021, se trata de una versión mejorada del HTC Vive Cosmos. Destacable de este sistema es su resolución que a pesar de no ser la mejor si está entre las mejores así como el amplio campo de visión. Como puntos negativos podemos encontrar el precio (este sistema emplea estaciones base para el seguimiento de las gafas lo que hace que el precio se eleve notablemente), siendo de los sistemas más caros de la lista además de presentar un peso algo elevado.



Figura 53. HTC Vive Cosmos Elite. Fuente: HTC.



- **SAMSUNG Odissey + VR**

Monitor	2 AMOLED
Resolución	2880 x 1600 px (1440 x 1600 px por ojo)
Campo de visión (FOV)	110 grados
Gama RGB subpíxeles	No
Frecuencia	90 Hz
Mandos	Incluidos
Monitorización	2 cámaras para seguimiento y arquitectura 6DoF
Compatibilidad	N/D
RAM mínima	8 GB
Ajuste de la DIP mec.	Si
Máscara facial	Ajuste con trinquete, almohadilla de espuma de cuero
Peso	594 gramos
Cable	4 metros
Precio	600 euros

Tabla 13. Características del sistema SAMSUNG Odissey + VR. Fuente: Elaboración propia.

Las SAMSUNG Odissey + VR es el modelo más reciente lanzado por la marca, la mayor novedad es que la marca ha introducido una tecnología mediante la que reducir el “efecto rejilla” mediante la mejora de la resolución de la pantalla. Este modelo salió a la venta el 22 de octubre de 2018. En cuanto a características técnicas es el sistema menos avanzado de los presentados, lo cuál hace que a pesar de no tener un precio excesivamente alto si resulta un sistema caro para lo que ofrece al usuario.



Figura 54. SAMSUNG Odissey + VR. Fuente: SAMSUNG.



- **VALVE Index**

Tabla 7 Características del sistema VALVE Index

Monitor	2 LCD de 3,5"
Resolución	2880 x 1600 px (1440 x 1600 px por ojo)
Campo de visión (FOV)	130 grados
Gama RGB subpíxeles	Sí
Frecuencia	Hasta 144 Hz
Mandos	Incluidos
Monitorización	Arquitectura de seguimiento con estaciones base SteamVR
Compatibilidad	Windows 10
RAM mínima	8 GB
Ajuste de la DIP mec.	Si
Máscara facial	Almohadillas faciales magnéticas de tela intercambiables
Peso	809 gramos
Cable	6 metros
Precio	1079 euros

Tabla 14. Características del sistema VALVE Index. Fuente: Elaboración propia.

Las VALVE Index han sido desarrolladas por la compañía Valve Corporation. Este modelo presenta un elevado precio, sin embargo nos ofrece una tasa de refresco muy elevada que compensa en parte la resolución que no es tan impresionante. Este sistema tiene la característica de que necesita las estaciones base SteamVR para poder ser empleado, lo cual incrementa su precio notablemente. Actualmente, es el modelo que funciona conectado a ordenador más popular entre el público adepto a estos productos.



Figura 55. VALVE Index. Fuente: Valve.



Anexo III. CÁLCULOS PARA LA OBTENCIÓN DEL PORCENTAJE DE MEJORA DE VISIÓN CON EL NUEVO SISTEMA

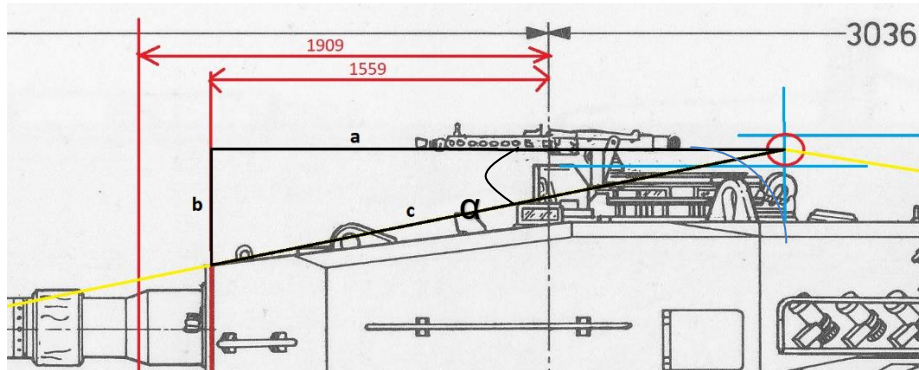


Figura 56. Triángulo rectángulo para cálculo de ángulo α . Fuente: Elaboración propia

$$\tan(\alpha) = \frac{b}{a} \quad \alpha = \arctan \frac{b}{a} \quad \beta = 90 - \alpha$$

Figura 57. Fórmulas trigonométricas. Fuente: Elaboración propia.

- Es fácilmente observable que $a = (1559 + 1012)$ y que $b = (140 + 334)$. A partir de estos datos obtenemos el ángulo existente entre a y c . Ángulo que será empleado posteriormente para calcular la distancia no visible. Empleando las fórmulas superiores se obtiene que la relación de $b/a = 0,1844$ y aplicando la fórmula de la arcotangente obtenemos un valor α de $10,447^\circ$. Finalmente se obtiene el valor de $\beta = 79,553^\circ$.
- Para poder calcular el punto de intersección de la visual con el suelo se empleará otro triángulo rectángulo empleando el valor β conseguido y la altura con respecto al suelo de la siguiente manera:

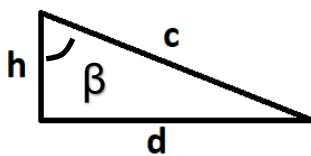


Figura 58. Triángulo rectángulo para cálculo de la distancia. Fuente: Elaboración propia.

- Empleando la figura 60, observamos que $h = 2884$ mm y que disponemos del ángulo β , por lo que se procede de la misma manera que anteriormente y se obtiene una $d = 15641,37$ mm. En este caso hay que especificar que d es el cateto opuesto que sustituirá a la b en la fórmula de la figura 57.

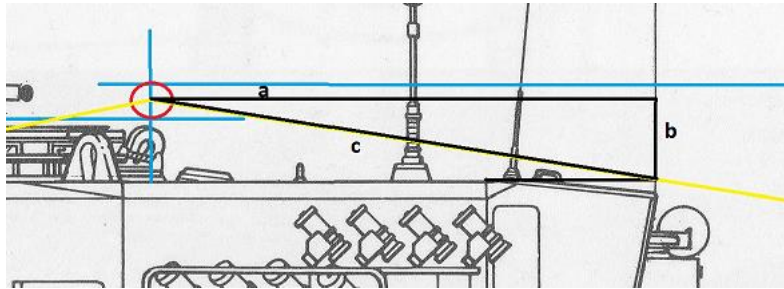


Figura 59. Triángulo rectángulo para cálculo de ángulo interior. Fuente: Elaboración propia.

- Es fácilmente observable que $a = 2024$ y que $b = 334$. A partir de estos datos obtenemos el ángulo existente entre a y c . Ángulo que será empleado posteriormente para calcular la distancia no visible. Empleando las fórmulas superiores se obtiene que la relación de $b/a = 0,1650$ y aplicando la fórmula de la arcotangente obtenemos un valor α de $9,3693^\circ$. Finalmente se obtiene el valor de $\beta = 80,6307^\circ$.
- Para poder calcular el punto de intersección de la visual con el suelo se empleará otro triángulo rectángulo empleando el valor β conseguido y la altura con respecto al suelo, al igual que anteriormente. Observamos que $h = 2884$ mm y que disponemos del ángulo β , por lo que se procede de la misma manera que anteriormente y se obtiene una $d = 17478,94$ mm.

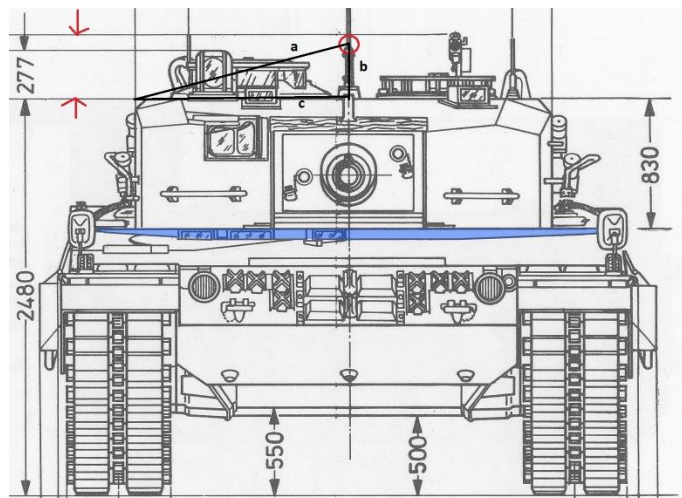


Figura 60. Vista frontal del Leopard 2A4 y cota auxiliar. Fuente: Elaboración propia (zona militar, 2018).

- Para el lado situado a la derecha del jefe de carro (izquierda en la figura 60) es fácilmente observable que $a = 1323$ y que $b = 334$. A partir de estos datos obtenemos el ángulo existente entre a y c . Ángulo que será empleado posteriormente para calcular la distancia no visible. Empleando las fórmulas superiores se obtiene que la relación de $b/a = 0,2524$ y aplicando la fórmula de la arcotangente obtenemos un valor α de $14,1655^\circ$. Finalmente se obtiene el valor de $\beta = 75,8345^\circ$.
- Para poder calcular el punto de intersección de la visual con el suelo se empleará otro triángulo rectángulo empleando el valor β conseguido y la altura con respecto



al suelo, al igual que anteriormente. Observamos que $h = 2884 \text{ mm}$ y que disponemos del ángulo β , por lo que se procede de la misma manera que anteriormente y se obtiene una $d = 11426,3841 \text{ mm}$.

- Para el lado situado a la derecha del jefe de carro (izquierda en la figura 60) es fácilmente observable que $a = 1230,5$ y que $b = 334$. A partir de estos datos obtenemos el ángulo existente entre a y c . Ángulo que será empleado posteriormente para calcular la distancia no visible. Empleando las fórmulas superiores se obtiene que la relación de $b/a = 0,2714$ y aplicando la fórmula de la arcotangente obtenemos un valor α de $15,18^\circ$. Finalmente se obtiene el valor de $\beta = 74,82^\circ$.
- Para poder calcular el punto de intersección de la visual con el suelo se empleará otro triángulo rectángulo empleando el valor β conseguido y la altura con respecto al suelo, al igual que anteriormente. Observamos que $h = 2884 \text{ mm}$ y que disponemos del ángulo β , por lo que se procede de la misma manera que anteriormente y se obtiene una $d = 10629,55 \text{ mm}$.
- $A_{\text{TOTAL}} = (11426,38 + 10629,55) \times (15641,37 + 17478,94) = 22055,93 \times 33120,31 = 730,49 \text{ m}^2$

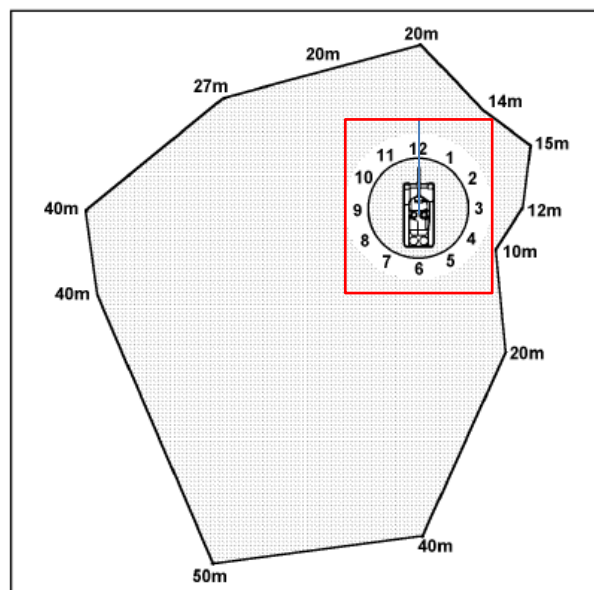


Figura 61. Gráfico comparativo de áreas no visibles. Fuente: Elaboración propia.

- A continuación para poder obtener el porcentaje de mejora obtenido se va a proceder a calcular el porcentaje de mejora obtenido. Para ello se va a calcular el área del dodecágono irregular y posteriormente la del cuadrado, el método para calcular el área del dodecágono consistirá en dividir la totalidad del área en 12 triángulos que todos tienen en común que sus lados forman un ángulo de 30° , ya que las medidas mostradas ocupan las posiciones de las horas del reloj dividiendo la circunferencia de 360° en 12 partes iguales. Para esto emplearemos las fórmulas que se encuentran en la figura 62.

$$A = [(b \times a) \times \sin(c) / 2] \quad A = L \times L$$

Figura 62. Fórmulas para cálculo de áreas. Fuente: Elaboración propia.



- 12-1 : El cálculo arroja un área del triángulo de $A_1 = 70 \text{ m}^2$.
- 1-2 : El cálculo arroja un área del triángulo de $A_2 = 52,5 \text{ m}^2$
- 2-3 : El cálculo arroja un área del triángulo de $A_3 = 45 \text{ m}^2$
- 3-4 : El cálculo arroja un área del triángulo de $A_4 = 30 \text{ m}^2$
- 4-5 : El cálculo arroja un área del triángulo de $A_5 = 50 \text{ m}^2$
- 5-6 : El cálculo arroja un área del triángulo de $A_6 = 200 \text{ m}^2$
- 6-7 : El cálculo arroja un área del triángulo de $A_7 = 500 \text{ m}^2$
- 7-8 : El cálculo arroja un área del triángulo de $A_8 = 500 \text{ m}^2$
- 8-9 : El cálculo arroja un área del triángulo de $A_9 = 400 \text{ m}^2$
- 9-10 : El cálculo arroja un área del triángulo de $A_{10} = 270 \text{ m}^2$
- 10-11 : El cálculo arroja un área del triángulo de $A_{11} = 135 \text{ m}^2$
- 11-12 : El cálculo arroja un área del triángulo de $A_{12} = 100 \text{ m}^2$
- $A_{\text{TOTAL}} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9 + A_{10} + A_{11} + A_{12} = 2352,5 \text{ m}^2$

- Finalmente el sumatorio del dodecágono irregular da un área no visible para el jefe de carro de $2352,5 \text{ m}^2$. El área no visible obtenida para el jefe de carro mediante el uso del nuevo sistema de visión de realidad aumentada virtual es de **$730,49 \text{ m}^2$** .

- Con la implantación del nuevo sistema de visión conseguimos mejorar en un $322,04\%$ el rango de visión que el jefe de carro posee desde su puesto. Esto es **más de 3 veces** de la visión que tiene actualmente con los periscopios de observación.



Anexo IV. CUESTIONARIO EVALUACIÓN DE CRITERIOS PARA EL MÉTODO AHP

CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN DE CRITERIOS, SUBCRITERIOS Y ALTERNATIVAS PARA SU POSTERIOR EMPLEO EN EL MÉTODO DE ANÁLISIS MULTICRITERIO (AHP)

EXPLICACIÓN

Como parte del desarrollo del TFG “Sistema de visión de realidad aumentada virtual multiplataforma como asistente al mando en disposición de combate” que se está realizando en el RC “Montesa 3” se propone el siguiente cuestionario a realizar por componentes de la unidad para obtener la opinión de gente con experiencia de cara a realizar la elección del componente más importante que compondrá el sistema de visión: las gafas de realidad virtual.

AUTOR

CAC Alejandro Rodríguez Valencia

La realización del cuestionario es voluntaria y el resultado es anónimo.



ALTERNATIVA A: HP Reverb G2

Se muestra una tabla de características que recoge los principales diferenciadores del resto de productos, siendo estas características una mezcla de especificaciones técnicas (azul) y otras de ergonomía (verde) así como el precio.

Monitor	2 LCD de 2,89"
Resolución	4K (2K x 2K por ojo)
Campo de visión (FOV)	114 grados
Gama RGB subpíxeles	Sí
Frecuencia	90 Hz
Mandos	Incluidos
Monitorización	4 cámaras para seguimiento y arquitectura 6DoF
Compatibilidad	Windows 10
RAM mínima	8 GB
Ajuste de la DIP mec.	Sí
Máscara facial	Almohadillas faciales de tela con ajuste de velcro
Peso	550 gramos
Cable	6 metros
Precio	500 euros
Dimensiones	1171,8 cm ³
Flujo Suministro	1 día





ALTERNATIVA B: HTC VIVE PRO 2

Se muestra una tabla de características que recoge los principales diferenciadores del resto de productos, siendo estas características una mezcla de especificaciones técnicas (azul) y otras de ergonomía (verde) así como el precio.

Monitor	LCD dual RGB de baja persistencia
Resolución	5K
Campo de visión (FOV)	120 grados
Gama RGB subpíxeles	Sí
Frecuencia	120 Hz
Mandos	No incluidos
Monitorización	Arquitectura de seguimiento con estaciones base SteamVR
Compatibilidad	Windows 10
RAM mínima	8 GB
Ajuste de la DIP mec.	No
Máscara facial	Correa ajustable para la cabeza
Peso	850 gramos
Cable	5 metros
Precio	800 euros
Dimensiones	2949,03 cm ³
Flujo suministro	1 día





ALTERNATIVA C: VALVE INDEX

Se muestra una tabla de características que recoge los principales diferenciadores del resto de productos, siendo estas características una mezcla de especificaciones técnicas (azul) y otras de ergonomía (verde) así como el precio.

Monitor	2 LCD de 3,5"
Resolución	2880 x 1600 px (1440 x 1600 px por ojo)
Campo de visión (FOV)	130 grados
Gama RGB subpíxeles	Sí
Frecuencia	Hasta 144 Hz
Mandos	Incluidos
Monitorización	Arquitectura de seguimiento con estaciones base SteamVR
Compatibilidad	Windows 10
RAM mínima	8 GB
Ajuste de la DIP mec.	Si
Máscara facial	Almohadillas faciales magnéticas de tela intercambiables
Peso	809 gramos
Cable	6 metros
Precio	1079 euros
Dimensiones	2599,21 cm ³
Flujo suministro	4 a 8 días





EVALUACIÓN DE CRITERIOS

Se presentan una serie de criterios que se han considerado prioritarios a la hora de escoger el modelo de gafas de realidad virtual, ya que estos representan las cualidades más importantes para nuestro sistema.

1. **Especificaciones técnicas:** se trata de todas aquellas características que definen y diferencian a unas gafas de realidad virtual de otras.
2. **Ergonomía:** en este punto se va a estudiar como se adaptan las distintas opciones de gafas de realidad virtual a la fisionomía humana.
3. **Coste:** es un pilar fundamental, de un coste alto o bajo puede depende el ejecutar o no un proyecto

A continuación, se van a mostrar los distintos valores que se le pueden otorgar a los distintos criterios, estas valoraciones corresponden con la escala de valoración de Saaty.

VALORACIÓN	EXPLICACIÓN	ESCALA
Igualmente preferible	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo	1
Moderadamente preferible	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro	3
Fuertemente preferible	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro	5
Muy fuertemente preferible	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. En la práctica se puede demostrar su dominio	7
Extremadamente preferible	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro	9
Valor intermedio entre anterior y posterior	Cuando no se puede definir con claridad la preferencia entre factores	2,4,6,8

De entre los siguientes pares de criterios seleccione con una X aquel que considere más importante e indique la valoración que le asignaría según la escala presentada (en caso de igualdad entre criterios únicamente rellenar con un 1 la casilla de escala):

- 1) ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
 ERGONOMÍA ESCALA
- 2) ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
 COSTES ESCALA
- 3) COSTES
 ERGONOMÍA ESCALA



EVALUACIÓN DEL SUBCRITERIO: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A continuación se presentan los diferentes subcriterios que componen al criterio especificaciones técnicas:

1. **Resolución:** la resolución de pantalla es el número total de píxeles que pueden ser mostrados por la pantalla de las gafas de realidad virtual.
2. **Campo de visión:** este concepto se refiere de manera técnica al ángulo en relación al punto de visión que el usuario puede percibir del mundo virtual generado por las gafas de realidad virtual.
3. **Frecuencia / Tasa de actualización:** hay que destacar que el término frecuencia en este caso se emplea para pantallas e indica el número de veces que actualiza las imágenes por segundo.

A continuación, se van a mostrar los distintos valores que se le pueden otorgar a los distintos subcriterios, estas valoraciones corresponden con la escala de valoración de Saaty.

VALORACIÓN	EXPLICACIÓN	ESCALA
Igualmente preferible	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo	1
Moderadamente preferible	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro	3
Fuertemente preferible	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro	5
Muy fuertemente preferible	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. En la práctica se puede demostrar su dominio	7
Extremadamente preferible	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro	9
Valor intermedio entre anterior y posterior	Cuando no se puede definir con claridad la preferencia entre factores	2,4,6,8

De entre los siguientes pares de subcriterios seleccione con una X aquel que considere más importante e indique la valoración que le asignaría según la escala presentada (en caso de igualdad entre criterios únicamente rellenar con un 1 la casilla de escala):

- 1.1) RESOLUCIÓN CAMPO DE VISIÓN ESCALA
- 1.2) RESOLUCIÓN FRECUENCIA ESCALA
- 1.3) FRECUENCIA CAMPO DE VISIÓN ESCALA



EVALUACIÓN DEL SUBCRITERIO: ERGONOMÍA

A continuación se presentan los diferentes subcriterios que componen al criterio especificaciones técnicas:

1. **Peso:** el usuario ha de portar las gafas de realidad virtual en su cabeza por lo que han de ser lo más ligeras posible con el fin de no provocar fatiga.
2. **Dimensiones:** el sistema está concebido para ser empleado en el interior del carro donde el espacio es reducido por lo que un tamaño reducido será más cómodo.
3. **Ajuste facial:** se trata del material que el visor de realidad virtual emplea para apoyarse en la cara del usuario.

A continuación, se van a mostrar los distintos valores que se le pueden otorgar a los distintos subcriterios, estas valoraciones corresponden con la escala de valoración de Saaty.

VALORACIÓN	EXPLICACIÓN	ESCALA
Igualmente preferible	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo	1
Moderadamente preferible	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro	3
Fuertemente preferible	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro	5
Muy fuertemente preferible	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. En la práctica se puede demostrar su dominio	7
Extremadamente preferible	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro	9
Valor intermedio entre anterior y posterior	Cuando no se puede definir con claridad la preferencia entre factores	2,4,6,8

De entre los siguientes pares de subcriterios seleccione con una X aquel que considere más importante e indique la valoración que le asignaría según la escala presentada (en caso de igualdad entre criterios únicamente rellenar con un 1 la casilla de escala):

2.1) PESO ESCALA
 DIMENSIONES

2.2) PESO ESCALA
 AJUSTE FACIAL

2.3) AJUSTE FACIAL ESCALA
 DIMENSIONES



EVALUACIÓN DEL SUBCRITERIO: COSTES

A continuación se presentan los diferentes subcriterios que componen al criterio especificaciones técnicas:

1. **Precio:** este subcriterio hace referencia al coste unitario que tendrá cada unidad de gafas de realidad virtual.
2. **Flujo suministros:** subcriterio importante ya que además de que la intención es de que el proyecto sea de bajo coste también se pretende que pueda ser ejecutado y puesto en funcionamiento casi de inmediato.

A continuación, se van a mostrar los distintos valores que se le pueden otorgar a los distintos subcriterios, estas valoraciones corresponden con la escala de valoración de Saaty.

VALORACIÓN	EXPLICACIÓN	ESCALA
Igualmente preferible	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo	1
Moderadamente preferible	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro	3
Fuertemente preferible	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro	5
Muy fuertemente preferible	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. En la práctica se puede demostrar su dominio	7
Extremadamente preferible	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro	9
Valor intermedio entre anterior y posterior	Cuando no se puede definir con claridad la preferencia entre factores	2,4,6,8

De entre los siguientes pares de subcriterios seleccione con una X aquel que considere más importante e indique la valoración que le asignaría según la escala presentada (en caso de igualdad entre criterios únicamente rellenar con un 1 la casilla de escala):

3.1) PRECIO FLUJO DE SUMINISTROS ESCALA



EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

En este apartado se va a proceder a realizar una valoración cualitativa para el subcriterio **ajuste facial**, debido a la imposibilidad de realizar una valoración cuantitativa del mismo.

A continuación, se van a mostrar los distintos valores que se le pueden otorgar a los distintos subcriterios, estas valoraciones corresponden con la escala de valoración de Saaty.

VALORACIÓN	EXPLICACIÓN	ESCALA
Igualmente preferible	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo	1
Moderadamente preferible	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro	3
Fuertemente preferible	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro	5
Muy fuertemente preferible	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. En la práctica se puede demostrar su dominio	7
Extremadamente preferible	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro	9
Valor intermedio entre anterior y posterior	Cuando no se puede definir con claridad la preferencia entre factores	2,4,6,8

De entre los siguientes pares de alternativas seleccione con una X aquella que considere más importante e indique la valoración que le asignaría según la escala presentada (en caso de igualdad entre criterios únicamente rellenar con un 1 la casilla de escala):

4.1) HP REVERB G2
 HTC VIVE PRO 2 ESCALA

4.2) HP REVERB G2
 VALVE INDEX ESCALA

4.3) VALVE INDEX
 HTC VIVE PRO 2 ESCALA



Anexo V. ENCUESTA JUSTIFICATIVA DEL PROYECTO

Encuesta TFG : EJERCICIO DEL MANDO EN DISPOSICIÓN DE COMBATE

Encuesta sobre el ejercicio del mando en disposición de combate como parte del TFG del CAC Alejandro Rodríguez Valencia.

***Obligatorio**

1. Escala a la que pertenece *

Marca solo un óvalo.

- Oficiales
 Suboficiales

2. ¿Cuánto tiempo ha ejercido el mando de un blindado?

Marca solo un óvalo.

- Menos de 1 año
 Entre 1 y 5 años
 Más de 5 años
 Más de 10 años

3. ¿Con qué vehículo ha trabajado?

Selecciona todos los que correspondan.

- Leopard 2A4
 Pizarro
 VEC
 Centauro



4. ¿Cuál es su experiencia de mando al cerrar las escotillas del blindado?

Marca solo un óvalo.

- Igual que a escotilla abierta
- Más fácil que a escotilla abierta
- Más difícil que a escotilla abierta

5. ¿Considera que los medios de visión con los que cuentan los blindados son suficientes en disposición de combate?

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

6. ¿Conoce usted lo que es un sistema de Realidad Virtual o Realidad Aumentada?

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

7. En una escala del 1 al 5 (dónde el 1 significa poco de acuerdo y el 5 muy de acuerdo): ¿Está usted de acuerdo con que el futuro del Ejército de Tierra pasa por el empleo de la Realidad Virtual en sus tareas?

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



8. En una escala del 1 al 5 (dónde el 1 es poco útil y el 5 sería muy útil) ¿Qué valoración en cuanto a utilidad tendría la aplicación de esta tecnología para la visión del exterior del carro en disposición de combate?

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. ¿Qué problemas podrían solucionarse desde su punto de vista mediante la tecnología anteriormente citada?

Selecciona todos los que correspondan.

- Mando y Control
- Navegación
- Adquisición de objetivos
- Método de alerta ante amenazas aéreas

10. Finalmente, en el caso de que tuviese que elegir un proyecto para ejecutarlo, ¿cuál escogería?

Marca solo un óvalo.

- Pantalla interior que muestre imágenes captadas por una cámara con rangolimitado
- Sistema de visión de Realidad Aumentada Virtual que permita visión 360°
- Mejora de periscopio
- Ningún proyecto de los anteriores

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios



Anexo VI. RESULTADOS ENCUESTA JUSTIFICATIVA DEL PROYECTO

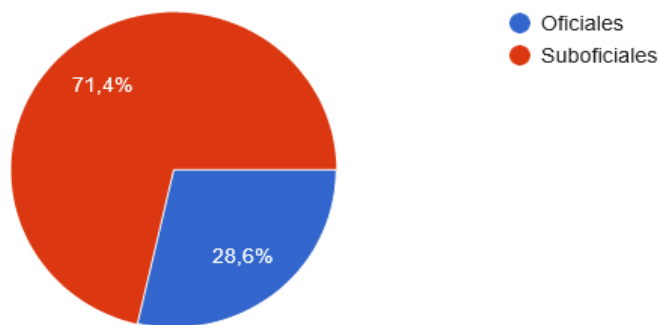
Encuesta TFG : EJERCICIO DEL MANDO EN DISPOSICIÓN DE COMBATE

14 respuestas

[Publicar datos de análisis](#)

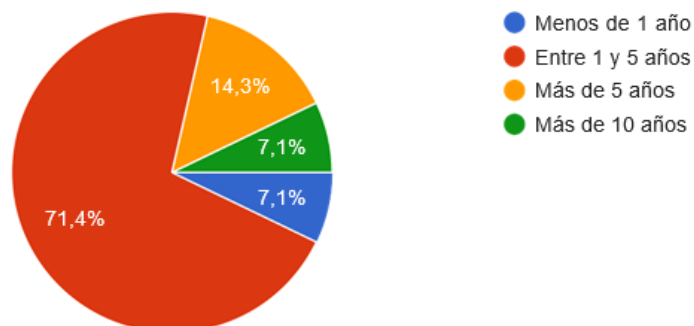
Escala a la que pertenece

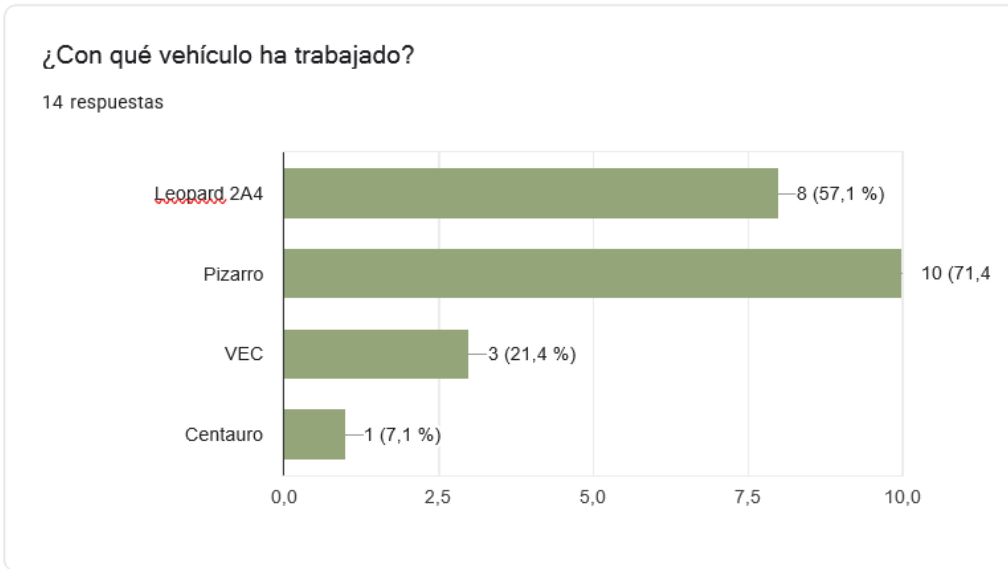
14 respuestas



¿Cuánto tiempo ha ejercido el mando de un blindado?

14 respuestas

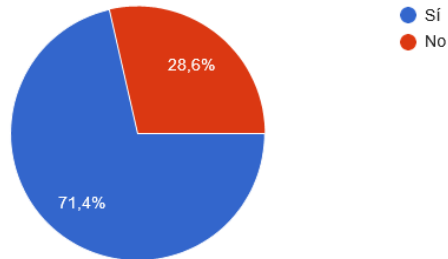






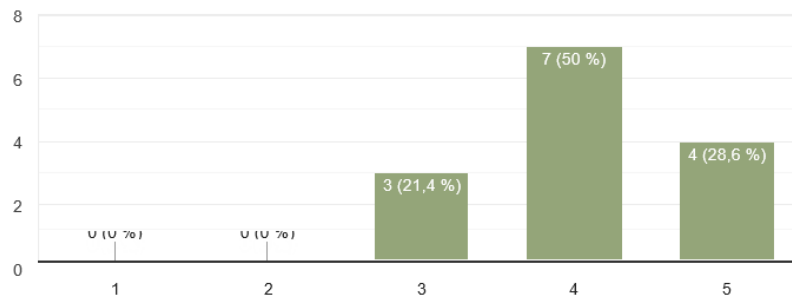
¿Conoce usted lo que es un sistema de Realidad Virtual o Realidad Aumentada?

14 respuestas



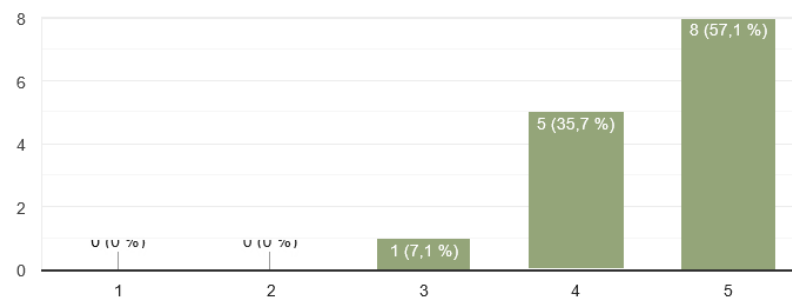
En una escala del 1 al 5 (dónde el 1 significa poco de acuerdo y el 5 muy de acuerdo): ¿Está usted de acuerdo con que el futuro del Ejército de Tierra pasa por el empleo de la Realidad Virtual en sus tareas?

14 respuestas



En una escala del 1 al 5 (dónde el 1 es poco útil y el 5 sería muy útil) ¿Qué valoración en cuanto a utilidad tendría la aplicación de esta tecnología para la visión del exterior del carro en disposición de combate?

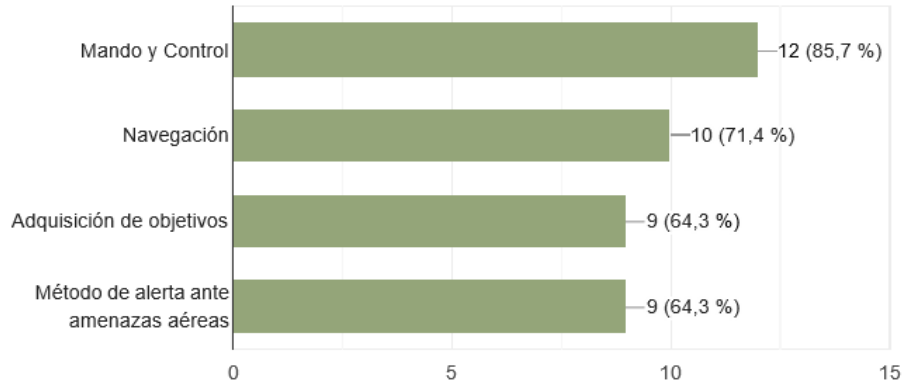
14 respuestas





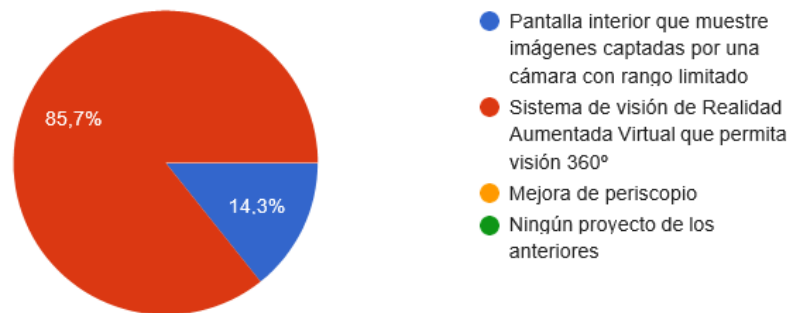
¿Qué problemas podrían solucionarse desde su punto de vista mediante la tecnología anteriormente citada?

14 respuestas



Finalmente, en el caso de que tuviese que elegir un proyecto para ejecutarlo, ¿cuál escogería?

14 respuestas



Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google. [Notificar uso inadecuado](#) - [Términos del Servicio](#) - [Política de Privacidad](#)

Google Formularios



Anexo VII. ENCUESTA CRITERIOS Y SUBCRITERIOS PARA MÉTODO AHP

Encuesta TFG: Criterios y subcriterios

Se plantean una serie de preguntas para justificar la elección de criterios y subcriterios para la realización del análisis multicriterio AHP.

1. Escala a la que pertenece

Marca solo un óvalo.

- Oficiales
 Suboficiales

2. ¿Cuánto tiempo ha ejercido el mando de un blindado?

Marca solo un óvalo.

- Menos de 1 año
 Entre 1 y 5 años
 Más de 5 años
 Más de 10 años

3. ¿Con qué vehículo ha trabajado?

Selecciona todos los que correspondan.

- Centauro
 VEC
 Leopard 2A4
 Pizarro



4. En una escala del 1 al 5 (dónde el 1 es poco importante y el 5 sería muy importante) ¿Qué valoración en cuanto a importancia tendrían las especificaciones técnicas en la adquisición de unas gafas de realidad virtual?

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. En una escala del 1 al 5 (dónde el 1 es poco importante y el 5 sería muy importante) ¿Qué valoración en cuanto a importancia tendrían las características de ergonomía en la adquisición de unas gafas de realidad virtual?

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. En una escala del 1 al 5 (dónde el 1 es poco importante y el 5 sería muy importante) ¿Qué valoración en cuanto a importancia tendría el precio en la adquisición de unas gafas de realidad virtual?

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



7. ¿Cuáles son para usted las 3 especificaciones técnicas más importantes para las gafas de realidad virtual de las que aparecen a continuación ?

Selecciona todos los que correspondan.

- Monitor
- Resolución
- Campo de visión
- Gama RGB subpíxeles
- Frecuencia
- Compatibilidad
- Exigencia mínima de RAM
- Tecnología de monitorización
- Inclusión de sensores para manos

8. ¿Cuáles son para usted las 2 características de ergonomía más importantes para las gafas de realidad virtual de las que aparecen a continuación ?

Marca solo un óvalo.

- Longitud del cable
- Ajuste de la DIP mecánicamente
- Tipo de máscara facial
- Peso

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios



Anexo VIII. RESULTADOS ENCUESTA CRITERIOS Y SUBCRITERIOS PARA MÉTODO AHP

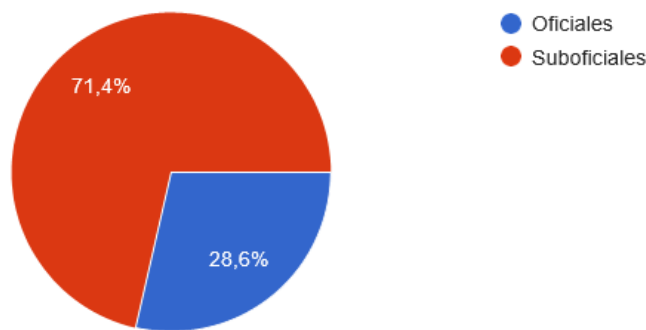
Encuesta TFG: Criterios y subcriterios

14 respuestas

[Publicar datos de análisis](#)

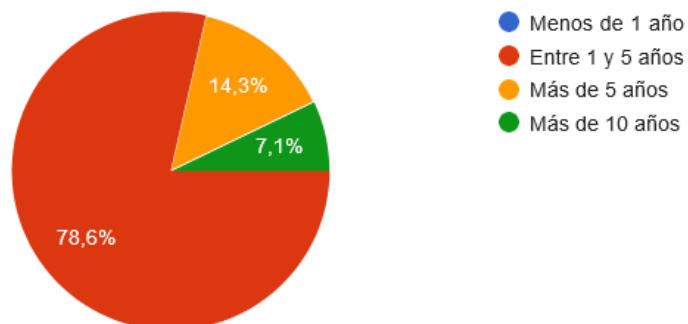
Escala a la que pertenece

14 respuestas



¿Cuánto tiempo ha ejercido el mando de un blindado?

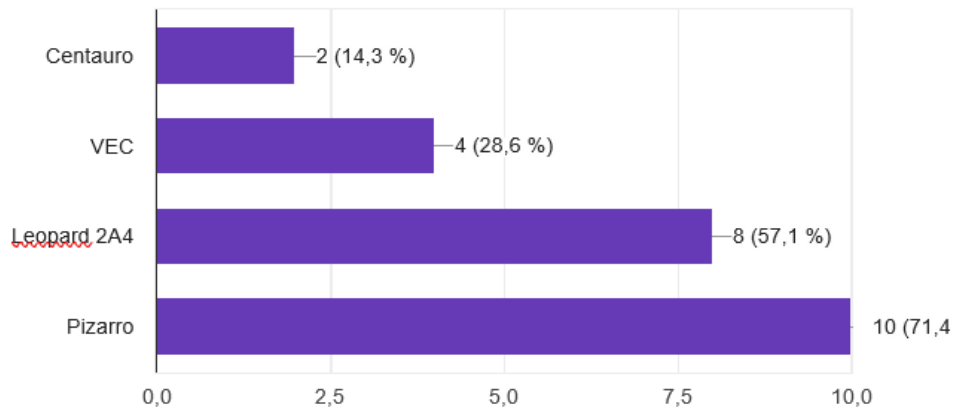
14 respuestas





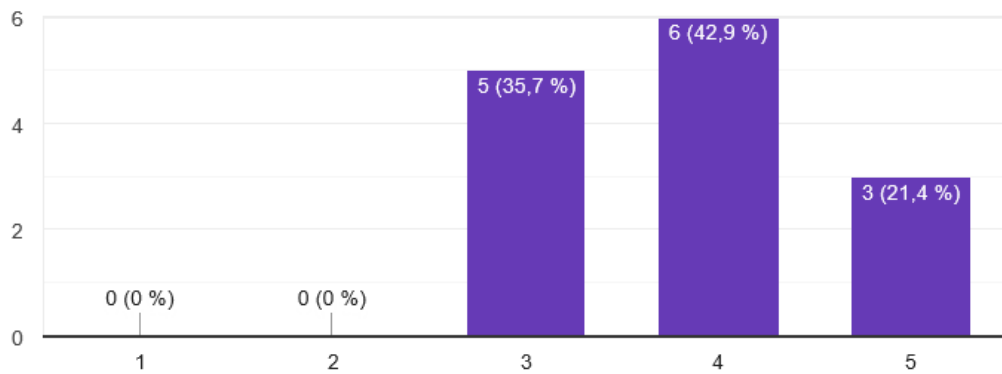
¿Con qué vehículo ha trabajado?

14 respuestas



En una escala del 1 al 5 (dónde el 1 es poco importante y el 5 sería muy importante) ¿Qué valoración en cuanto a importancia tendrían las especificaciones técnicas en la adquisición de unas gafas de realidad virtual?

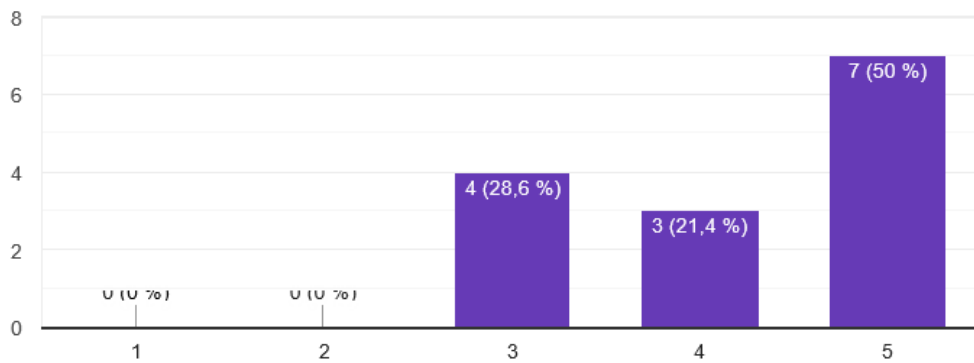
14 respuestas





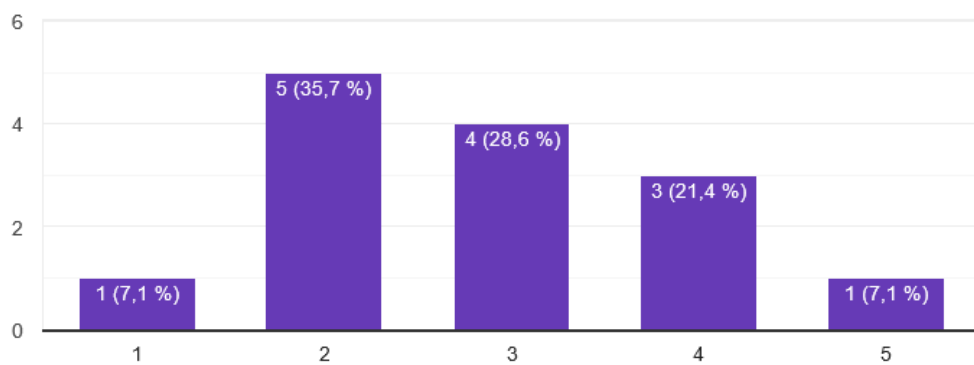
En una escala del 1 al 5 (dónde el 1 es poco importante y el 5 sería muy importante) ¿Qué valoración en cuanto a importancia tendrían las características de ergonomía en la adquisición de unas gafas de realidad virtual?

14 respuestas



En una escala del 1 al 5 (dónde el 1 es poco importante y el 5 sería muy importante) ¿Qué valoración en cuanto a importancia tendría el precio en la adquisición de unas gafas de realidad virtual?

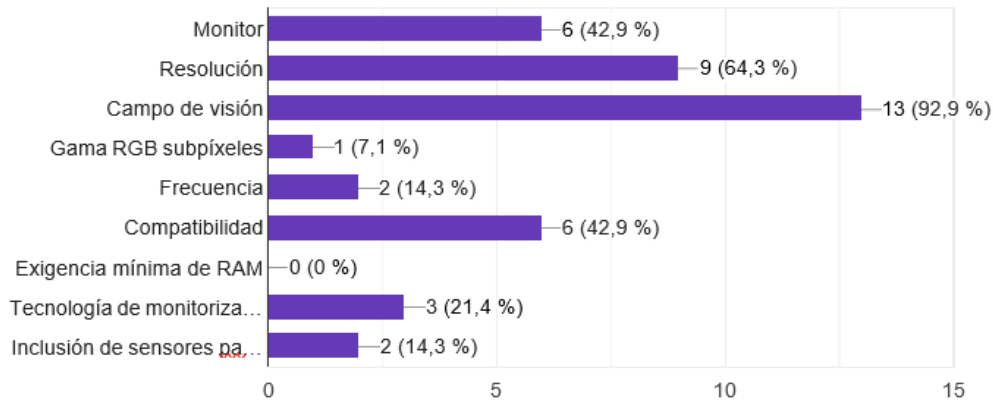
14 respuestas





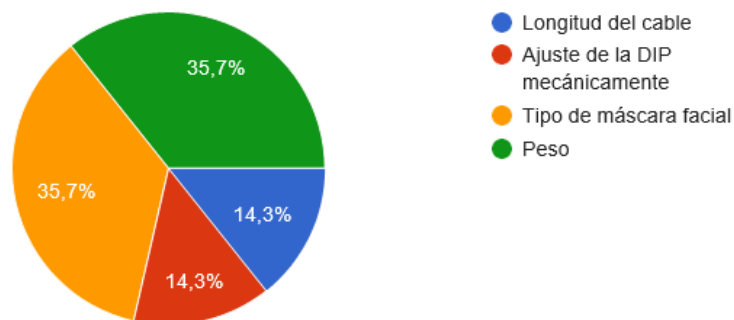
¿Cuáles son para usted las 3 especificaciones técnicas más importantes para las gafas de realidad virtual de las que aparecen a [continuación](#) ?

14 respuestas



¿Cuáles son para usted las 2 características de ergonomía más importantes para las gafas de realidad virtual de las que aparecen a [continuación](#) ?

14 respuestas



Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google. [Notificar uso inadecuado](#) - [Términos del Servicio](#) - [Política de Privacidad](#)

Google Formularios



Anexo IX. RESULTADOS CUESTIONARIO EVALUACIÓN DE CRITERIOS PARA EL MÉTODO AHP

	Pregunta	Comparación	Opción A		Opción B		Media A	Media B	Media mayor/ menor	Valor de Saaty
			Suma	Nº de votos	Suma	Nº de votos				
CRITERIOS	1	Especific VS Ergonomía	63	11	13	3	5,72727273	4,33333333	1,321678322	3
	2	Especific VS Costes	26	6	40	8	4,33333333	5	1,153846154	1/3
	3	Costes VS Ergonomía	27	7	43	9	3,85714286	4,77777778	1,238683128	1/3
SUBCRITERIO: ESPECIFIC	1.1	Resolución VS Campo	14	4	58	10	3,5	5,8	1,657142857	1/5
	1.2	Resolución VS Frecuencia	70	12	4	2	5,83333333	2	2,916666667	5
	1.3	Frecuencia VS Campo	1	1	80	13	1	6,15384615	6,153846154	1/9
SUBCRITERIO: ERGONOMÍA	2.1	Peso VS Dimensiones	73	13	3	1	5,61538462	3	1,871794872	5
	2.2	Peso VS Ajuste	49	9	19	5	5,44444444	3,8	1,432748538	3
	2.3	Ajuste VS Dimensiones	45	8	16	6	5,625	2,66666667	2,109375	5
SUBCRITERIO: COSTES	3.1	Precio VS Flujo suministro	82	10	10	4	8,2	2,5	3,28	7
ALTERNATIVAS: AJUSTE	4.1	HP Reverb VS HTC Vive P	51	9	15	5	5,66666667	3	1,88888889	5
	4.2	HP Reverb VS Valve Index	76	12	2	2	6,33333333	1	6,33333333	9
	4.3	Valve Index VS HTC Vive P	24	6	47	8	4	5,875	1,46875	1/3