



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CÁMARAS DE VISIÓN PERIMETRAL EN EL VRCC "CENTAURO"

Autor

Caballero Alférez Cadete de Caballería

Enrique Elicegui Bonill

Directores

Director académico: Coronel de Caballería D. Carlos Luis Ruiz López

Director militar: Capitán de Caballería D. Andrés Muñoz Egido

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2023



Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a los tutores, el Coronel de Caballería D. Carlos Luis Ruiz López y el Capitán de Caballería D. Andrés Muñoz Egido, por su ayuda y constante disposición y por ejercer de guías y referentes en el desarrollo de este trabajo.

De igual forma, este proyecto no se podría haber efectuado sin la ayuda y el apoyo del personal del Grupo de Caballería "Reyes Católicos" II de la Legión, especialmente del primer Escuadrón. Es de agradecer la gran acogida recibida durante las prácticas externas y el dotarme de todos los medios necesarios para las investigaciones realizadas en este proyecto.



PÁGINA EN BLANCO DE FORMA INTENCIONADA



RESUMEN

Actualmente, dada la evolución del combate moderno, está adquiriendo un mayor peso el desarrollo de sistemas complejos que emplean las nuevas tecnologías con el objeto de monitorizar el entorno que rodea a los medios acorazados y mecanizados. Las tendencias actuales apuestan por una mejora del concepto de "conciencia situacional" de las tripulaciones de vehículos de combate, lo que se traduce en incrementar la seguridad y la capacidad de observación en un perímetro cada vez más amplio. Es por esto que este trabajo ha tenido como objetivo estudiar y proponer un sistema de cámaras de visión perimetral para el vehículo VRCC "Centauro" del Ejército de Tierra español. El "Centauro" presenta notables deficiencias en la capacidad de observación de sus zonas aledañas en situaciones de combate. Esto se debe a que tiene zonas no vistas o "muertas" a su alrededor que ponen en serio riesgo a su tripulación, sobre todo en su empleo en espacios confinados.

Para llevar a cabo este estudio, se ha realizado inicialmente una revisión bibliográfica y recopilación de información para definir los conceptos clave y analizar la situación actual de la "conciencia situacional" en los ejércitos modernos. Posteriormente, y mediante métodos cualitativos y cuantitativos, se ha seguido recopilando información proveniente de un grupo de expertos y personal del Grupo de Caballería "Reyes Católicos" II de la Legión, especialistas del VRCC "Centauro". Esto ha resultado fundamental para definir los principales déficits y limitaciones.

Una vez procesada esta información, a través de este proyecto se propone un sistema de visión perimetral compuesta por cinco cámaras y dos monitores (acceso para el conductor y el jefe de vehículo) que permite alcanzar una cobertura perimetral del 40%. La distribución sería de dos cámaras frontales, dos laterales y una trasera. Además de esto, se aplicó el método de jerarquización analítica AHP para elegir, de entre varios dispositivos, aquella cámara que mejor se adaptase a las necesidades actualmente existentes. Esto ha permitido proponer una cámara concreta como la más óptima para constituir el sistema. Por último, y en vistas de posibles modificaciones en los criterios de los expertos y de las tendencias, se ha realizado un análisis de sensibilidad que permite predecir cómo se modificaría la mejor alternativa seleccionada. A modo de síntesis, al final de esta memoria se recopilan todas las conclusiones extraídas de este proyecto.

Palabras clave

- Vehículo de Reconocimiento y Combate de Caballería VRCC "Centauro"
- Conciencia situacional
- Supervivencia
- Elementos de observación
- Sistema de cámaras de visión perimetral
- Jerarquización analítica de alternativas



PÁGINA EN BLANCO DE FORMA INTENCIONADA



ABSTRACT

Currently, due to the evolution of combat, the development of complex systems that use new technologies in order to monitor the environment surrounding armoured and mechanized means is acquiring greater weight. Current trends are evolving to improve the concept of "situational awareness" of combat vehicle crews, which translates into increasing security and observation capacity in an increasingly wider perimeter. For this reason, this work has had the objective of studying and proposing a perimeter vision camera system for the VRCC "Centaurus" vehicle of the Spanish Army. The "Centaurus" presents notable deficiencies in the ability to observe its surrounding areas in combat situations. This is because it has unseen or "dead" areas around it that put its crew at serious risk, especially when used in confined spaces.

In this study, a bibliographic review and collection of information has initially been carried out to define the key concepts and analyse the current situational of "situational awareness" in modern armies. Afterwards, and through qualitative and quantitative methods, information has continued to be collected from a group of experts and personnel from the "Reyes Católicos" II Cavalry Group, specialists from the VRCC "Centaurus". This has been essential to define the main deficits and limitations.

Once this information has been processed, this project proposes a perimeter vision system composed of five cameras and two displays (access for the driver and vehicle leader) that allows achieving a perimeter coverage of 40%. The distribution would be two front cameras, two side cameras and one rear camera. In addition to this, the Analytic Hierarchy Process (AHP) was applied to choose, among several choices, the camera that best adapts to the currently existing needs. This has made it possible to propose a specific camera as the most optimal to constitute the system. Finally, and in view of possible modifications in the experts' criteria and trends, a sensitivity analysis has been carried out that allows predicting how the best selected alternative would be modified. As a summary, all conclusions are compiled at the end of this project.

KEYWORDS

- Cavalry Reconnaissance and Combat Vehicle "Centaurus"
- Situational awareness (SA)
- Combat survival
- Observation systems
- Perimeter vision camera system
- Analytic Hierarchy Process (AHP)



PÁGINA EN BLANCO DE FORMA INTENCIONADA



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>V</i>
KEYWORDS	<i>V</i>
<i>INDICE DE FIGURAS</i>	<i>IX</i>
<i>INDICE DE TABLAS</i>	<i>XIII</i>
<i>ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS</i>	<i>XV</i>
<i>1 INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
1.1 Antecedentes	<i>1</i>
1.2 Contexto	<i>2</i>
1.3 VRCC “Centaurus”	<i>3</i>
1.3.1 Elementos de observación.....	<i>4</i>
1.4 Conciencia situacional	<i>4</i>
1.5 Estructura de la memoria	<i>5</i>
<i>2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA</i>	<i>6</i>
2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE	<i>6</i>
2.2 METODOLOGÍA	<i>6</i>
2.2.1 Planificación del proyecto.....	<i>7</i>
2.2.2 Revisión bibliográfica.....	<i>7</i>
2.2.3 Grupo de expertos.....	<i>8</i>
2.2.4 Encuestas y análisis estadístico de los resultados.....	<i>8</i>
2.2.5 Observación directa.....	<i>9</i>
2.2.6 Despliegue de la Función Calidad QFD (Quality Function Deployment) o “Casa de la Calidad”.....	<i>9</i>
2.2.7 Método de jerarquización analítica AHP/Analytic Hierarchy Process...	<i>10</i>



2.2.8	Análisis de sensibilidad. Resultados AHP	13
3	ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	14
3.1	Ejércitos extranjeros	14
3.2	Ejército de Tierra español.....	16
4	DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	18
4.1	Planificación del proyecto: Resultados.	18
4.1.1	Project Charter.	18
4.1.2	Diagrama de Gantt	19
4.2	Encuestas y análisis estadísticos: Resultados.....	19
4.2.1	Encuesta a conductores:.....	20
4.2.2	Encuesta a jefes de vehículo.....	22
4.2.3	Conclusiones generales de las encuestas	25
4.3	Observación directa y grupo de expertos: Resultados.....	25
4.3.1	Ubicación de las cámaras de visión	26
4.3.2	Ubicación de los monitores de visualización.....	30
4.3.3	Esquema del sistema de cámaras de visión perimetral planteado.....	31
4.4	Despliegue de la Función Calidad QFD (Quality Function Deployment): Resultados.....	32
4.5	Método de jerarquización analítica AHP/Analytic Hierarchy Process: Resultados.....	34
4.6	Análisis de sensibilidad: Resultados.	38
5	CONCLUSIONES.....	40
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
7	ANEXOS	43



INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Organización de la Caballería según la orgánica del ET. Fuente: Academia de Caballería (ACAB).....	1
Figura 2: Ilustración explicativa sobre el ángulo de elevación en diferentes vehículos de Caballería. Fuente: Asignatura "El Combate de la Caballería" 4º Curso Academia General Militar (AGM)	2
Figura 3: Ilustración explicativa sobre el ángulo de depresión de un carro de combate. Fuente: Asignatura "El Combate de la Caballería" 4º Curso Academia General Militar (AGM)	2
Figura 4: Esquema de la orgánica del GCLAC "Reyes Católicos" II. Fuente: Academia de Caballería (ACAB).....	3
Figura 5: Esquema de la orgánica de un ELAC DEL Grupo RRCC II. Fuente: Academia de Caballería (ACAB).....	3
Figura 6: Esquema de zonas no vistas del VRCC "Centauro". Fuente: Manual "Tripulación del VRCC «Centauro» "(MI-201). MADOC	4
Figura 7: Esquema-resumen del método de la "Casa de la Calidad" o QFD. Fuente: Asignatura Calidad 21/22 Centro Universitario de la Defensa (CUD)	10
Figura 8: Esquema-resumen del método AHP. Fuente: Proporcionada por el Coronel D. Carlos Luis Ruiz López	12
Figura 9: Ejemplo del esquema de un árbol de jerarquías para el método AHP. Fuente: Página web Slideshare.....	12
Figura 10: Miembros del ejército americano experimentado con el sistema IVAS. Fuente: Página web del US ARMY	14
Figura 11: Captura de pantalla de la información ofrecida a través de los monitores por el sistema BattleView 360 SA. Fuente: Página web de la empresa desarrolladora Bae Systems.	15
Figura 12: Imagen virtual que representa la ubicación de cámaras del sistema SETAS sobre un vehículo acorazado. Fuente: Página web de la empresa desarrolladora Hensoldt.....	15
Figura 13: Sistema IronVision implementado en el VCI "Pizarro". Fuente: Página web Infodefensa.com	16
Figura 14: Cámara del sistema VTC-DUAL implementada en el glacis del VCI "Pizarro". Fuente: Página web de la empresa desarrolladora Escribano Mechanical and Engineering.	17
Figura 15: Cámara trasera del VERT. Fuente: Elaboración propia.	17
Figura 16: Hitos del proyecto reflejados en el Project Charter. Fuente: Elaboración propia	18
Figura 17: Tabla descriptiva de los hitos en el Diagrama de Gantt. Fuente: Elaboración propia empleando el software ProjectLibre.....	19
Figura 18: Diagrama de Gantt. Fuente: Elaboración propia empleando el software ProjectLibre.....	19



Figura 19: Gráfico circular del número de respuestas en la encuesta de los conductores. Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.....	20
Figura 20: Resultados de la pregunta número dos de la encuesta a conductores. Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.....	20
Figura 21: Resultados pregunta número tres de la encuesta a conductores. Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.....	21
Figura 22: Resultados de la pregunta siete de la encuesta a conductores. Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.....	21
Figura 23: Resultados de la pregunta número ocho de la encuesta a conductores. Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.....	22
Figura 24: Gráfico circular del número de respuestas en la encuesta de jefes. Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.....	22
Figura 25: Resultados pregunta número tres de la encuesta a jefes. Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.....	23
Figura 26: Resultados pregunta número cuatro de la encuesta a jefes. Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.....	23
Figura 27: Resultados pregunta número cinco de la encuesta a jefes. Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.....	23
Figura 28: Resultados pregunta número siete de la encuesta a jefes. Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.....	24
Figura 29: Resultados pregunta número ocho de la encuesta a jefes. Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.....	24
Figura 30: Resultados pregunta número once de la encuesta a jefes. Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.....	25
Figura 31: Parte trasera del "Centauro" donde se indican posibles ubicaciones para la cámara. Fuente: Elaboración propia.	26
Figura 32: Parte trasera del "Centauro" con cámara GoPro acoplada en posición óptima. Fuente: Elaboración propia.	27
Figura 33: Lateral izquierdo del "Centauro" donde se indican posibles ubicaciones para la cámara. Fuente: Elaboración propia.	27
Figura 34: Lateral izquierdo del "Centauro" con cámara GoPro acoplada en posición óptima. Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 35: Lateral derecho del "Centauro" donde se indican posibles ubicaciones para la cámara. Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 36: Lateral derecho del "Centauro" con cámara GoPro acoplada en posición óptima. Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 37: Parte delantera del "Centauro" donde se indican posibles ubicaciones para la cámara. Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 38: Faro de luz delantera izquierda del "Centauro" con cámara GoPro acoplada en posición óptima. Fuente: Elaboración propia.	30
Figura 39: Ubicación óptima del monitor en la cámara de conducción. Fuente: Elaboración propia.....	30



Figura 40: Monitor VDO del VERT. Fuente: Manual del VERT.....	31
Figura 41: Ubicación del terminal del BMS en el puesto del jefe de vehículo. Fuente: Elaboración propia.	31
Figura 42: Esquema del sistema de cámaras propuesto. Fuente: Elaboración propia.	32
Figura 43: Matriz de evaluación de criterios del método AHP. Fuente: Elaboración propia empleando el software PriEst.	35
Figura 44: Ponderaciones de los criterios obtenidos en el método AHP. Fuente: Elaboración propia empleando el software PriEst.	35
Figura 45: Matriz de evaluación de subcriterios correspondiente al criterio "Funcionalidades". Fuente: Elaboración propia empleando el software Priest.....	36
Figura 46: Ponderaciones de los subcriterios correspondientes al criterio "Funcionalidades". Fuente: Elaboración propia empleando el software PriEst.	36
Figura 47: Matriz de evaluación alternativas respecto al subcriterio "Resistencia a agentes externos". Fuente: Elaboración propia empleando el software PriEst.	37
Figura 48: Ponderaciones de las alternativas respecto al subcriterio "Resistencia a agentes externos". Fuente: Elaboración propia empleando el software PriEst.	37
Figura 49: Gráfica de resultados del método AHP. Fuente: Elaboración propia empleando el software PriEst.	38
Figura 50: Resultados análisis de sensibilidad modificando el peso de criterios. Fuente: Elaboración propia empleando el software PriEst.	39
Figura 51: Resultado análisis de sensibilidad según el criterio con mayor valoración. Fuente: Elaboración propia empleando el software PriEst.	39



PÁGINA EN BLANCO DE FORMA INTENCIONADA



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Escala de preferencias por pares de Saaty. Fuente: Tabla modelo proporcionada por el Coronel D. Carlos Luis Ruiz López	13
Tabla 2: Matriz de decisión del método AHP. Fuente: Elaboración propia.....	37



PÁGINA EN BLANCO DE FORMA INTENCIONADA



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACAB: Academia de Caballería

AGM: Academia General Militar

AHP: Analytic Hierarchy Process (Método de jerarquización analítica)

BMS: Battlefield Management System (Sistema de gestión del campo de batalla)

CMOS: Complementary Metal Oxide Semiconductor (Semiconductor complementario de óxido metálico)

ELAC: Escuadrón Ligero Acorazado

EPLMS: Escuadrón de Plana Mayor y Servicios

ET: Ejército de Tierra

GCLAC: Grupo de Caballería Ligero Acorazado

HMD: Helmet-mounted display (Pantalla acoplada a casco)

IED: Improvised Explosive Device (Artefacto Explosivo Improvisado)

IFV: Infantry fighting vehicle (Vehículo de Combate de Infantería)

IVAS: Integrated Visual Augmentation System (Sistema Integrado de Aumento Visual)

MADOC: Mando de Adiestramiento y Doctrina

OTAN: Organización del Tratado del Atlántico Norte

QFD: Quality Function Deployment (Despliegue de la Función Calidad)

RRCC II: Reyes Católicos II

SA: Situational Awareness (Conciencia Situacional)

SETAS: See Through Armour System (Sistema para ver a través del blindaje)

SEV: Sección de Exploración y Vigilancia

UAV: Unmanned Aerial Vehicle (Vehículo aéreo no tripulado)

VCC: Vehículo de Combate de Caballería

VCI: Vehículo de Combate de Infantería

VEC: Vehículo de Exploración de Caballería

VERT: Vehículo de Exploración y Reconocimiento Terrestre

VRCC: Vehículo de Reconocimiento y Combate de Caballería



PÁGINA EN BLANCO DE FORMA INTENCIONADA



1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El arma de Caballería es una especialidad fundamental de combate que se caracteriza principalmente por realizar cometidos de reconocimiento, seguridad y contacto. En el cumplimiento de estas misiones, destaca por su gran movilidad, velocidad, flexibilidad, fluidez y potencia de fuego (MADOC, 2011).

En cuanto a unidades se refiere, el Ejército de Tierra español cuenta actualmente con cinco Regimientos y diez Grupos¹ en total, que se pueden clasificar y caracterizar según el tipo de vehículos con los que cuenta cada una de estas. Estos medios pueden ser acorazados, ligero-acorazados y ligeros. Algunos ejemplos de los principales carros y vehículos de combate actualmente en dotación, en unidades de Caballería, son el "Leopardo" 2E, el VCI/VCC "Pizarro", el VRCC "Centauro", el VEC o el VERT.

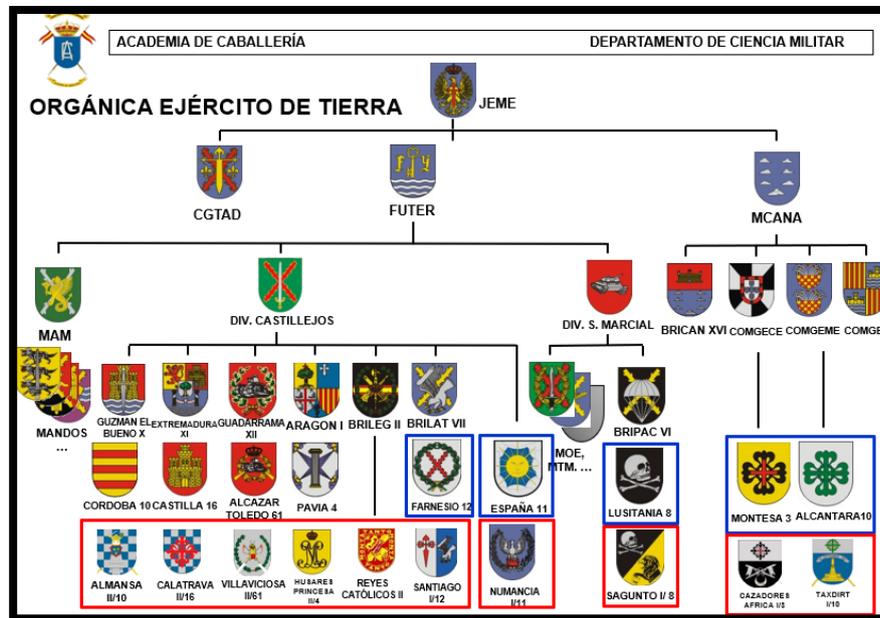


Figura 1: Organización de la Caballería según la orgánica del ET.
Fuente: Academia de Caballería (ACAB)

En cuanto al combate de la Caballería y los medios acorazados, este lleva varios años experimentando cambios respecto a las guerras del siglo pasado, que han tenido una repercusión directa en el empleo de este tipo de vehículos. Una de las principales variaciones es el uso, cada vez mayor, de este tipo de medios en espacios confinados como zonas urbanizadas o bosques donde un enemigo de carácter asimétrico busca compensar su desventaja combativa, potenciando las vulnerabilidades de los carros de combate en estos ambientes. En espacios

¹ Grupo de Caballería: Unidad táctica fundamental que desempeña, en beneficio de la maniobra de una brigada o de una organización operativa que se determine, los cometidos del Arma de Caballería (MADOC, 2019a).



pequeños, las capacidades de supervivencia² del vehículo y su tripulación se reducen considerablemente y se tiene que hacer frente a múltiples amenazas en el subsuelo, superficies exteriores, azoteas y el espacio aéreo. Los principales motivos de esto, son la escasa visibilidad que poseen sus tripulantes y unos campos de observación y tiro muy limitados. Esto se produce debido a que los ángulos de depresión (Sullivan, 1996) de los diferentes medios, entendiéndose como el ángulo que se forma entre la visual de un observador que mira hacia abajo y la horizontal, provocan zonas *muertas* de visión donde ninguno de los tripulantes tiene visibilidad, con el evidente riesgo para la supervivencia que esto supone.

Por otro lado, el ángulo de elevación también limita la capacidad de realizar el tiro y provoca que muchos vehículos en zonas urbanizadas no puedan enfrentarse a amenazas a partir de una cierta altura. Otra limitación, es la provocada por el uso de ciertos tipos de municiones como la SABOT, cuyas aletas estabilizadoras y la sobrepresión producida pueden herir o matar a personal a pie que se encuentre en las inmediaciones del vehículo (Academia General Militar, 2022).

Dados estos problemas, este proyecto plantea una serie de posibles soluciones que tratan de mejorar, a grandes rasgos, la adaptación de los vehículos acorazados al combate moderno.

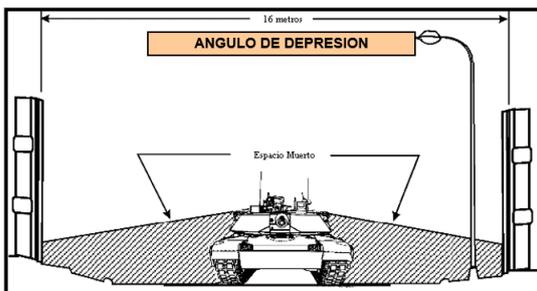


Figura 2: Ilustración explicativa sobre el ángulo de depresión de un carro de combate.

Fuente: Asignatura "El Combate de la Caballería" 4º Curso Academia General Militar (AGM)

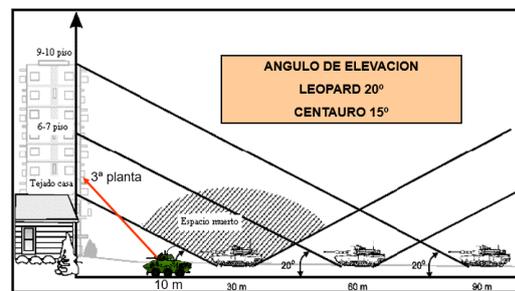


Figura 3: Ilustración explicativa sobre el ángulo de elevación en diferentes vehículos de Caballería.

Fuente: Asignatura "El Combate de la Caballería" 4º Curso Academia General Militar (AGM)

1.2 Contexto

Este Trabajo de Fin de Grado ha sido posible gracias a las prácticas externas realizadas en el Grupo de Caballería Ligero Acorazado (GCLAC) "Reyes Católicos II" de la Brigada "Alfonso XIII" de la Legión, perteneciente a la División Castillejos. Este se encuentra orgánicamente estructurado a grandes rasgos en tres Escuadrones Ligero Acorazados (ELAC) y un Escuadrón de Plana Mayor y Servicios (EPLMS). Al igual que el GCLAC "Santiago" I/12, es un grupo de *tipo B* y, por lo tanto, sus medios principales son actualmente el VRCC "Centaurus" y el VEC. En el GCLAC "Reyes Católicos II", estos vehículos se encuadran en el las Secciones Acorazadas y Ligero Acoradas de los Escuadrones respectivamente (Academia de Caballería, 2022). Este grupo cuenta también con vehículos tipo VERT y VAMTAC pertenecientes a las Secciones de Exploración y Vigilancia (SEV).

² Supervivencia: Capacidad de continuar la misión a pesar del número y diversidad de las agresiones a las que esté expuesto, mediante el empleo de una serie de medidas de protección tanto activas como pasivas (Academia General Militar, 2022a).



Figura 4: Esquema de la orgánica del GCLAC "Reyes Católicos" II.
Fuente: Academia de Caballería (ACAB)

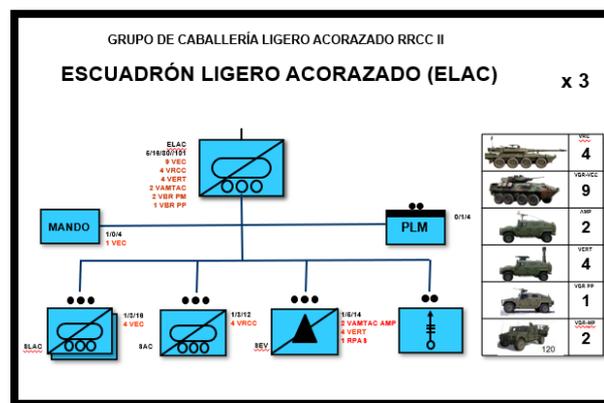


Figura 5: Esquema de la orgánica de un ELAC del Grupo RRCC II.
Fuente: Academia de Caballería (ACAB)

1.3 VRCC "Centauro"

El VRCC "Centauro", como sus siglas indican, pertenece a la familia de los Vehículos de Reconocimiento y Combate acorazados. Son un medio sobre ruedas 8x8 generalmente empleado en cometidos de seguridad táctica y reconocimiento. Fue inicialmente fabricado en Italia por el consorcio de empresas Iveco y OTO Melara (actual Leonardo). Iveco asumió el desarrollo de la barcaza y los sistemas de propulsión y OTO Melara se centró en la implementación de los sistemas de armas y la torre. El Ejército de Tierra español adquirió 22 vehículos en 1999 y posteriormente se sumaron a estos otros 62 en 2002. En esta segunda fase, se produjo una transferencia tecnológica que permitió a España fabricarlos de forma parcial y añadirle mejoras como una segunda ametralladora MG3 en la torre o una cámara térmica "Galileo" de segunda generación. Posteriormente en 2007, se adquirieron 4 vehículos de recuperación (Infodefensa, 2022).

La tripulación o equipo del VRCC "Centauro" se conforma por un jefe de vehículo, tirador, cargador y conductor. Aunque no se contempla en su orgánica, el vehículo puede transportar hasta cuatro exploradores en el compartimento trasero destinado a exploradores y munición. Sin embargo, para ello es necesario eliminar una o las dos santabárbaras de este compartimento con el evidente detrimento de la capacidad de combate (MADOC, 2015).

El "Centauro" presenta una considerable potencia de fuego gracias a su cañón de 105 mm que constituye su armamento principal y una buena movilidad en terreno de dificultad media o alta. Presenta además capacidad para franquear obstáculos, superar pendientes frontales y laterales y realizar vadeo de cursos de agua. Por otro lado, presenta un blindaje de tipo



convencional de acero con la posibilidad de acoplar blindaje reactivo Sabblir. El blindaje convencional base es capaz de soportar impactos de 25 mm en el glacis y de ametralladora del calibre 14,5 mm en los laterales a cierta distancia. Cuenta también con protección ante ataques de carácter NBQ (MADOC, 2015).

1.3.1 Elementos de observación

Al igual que ocurre con otros muchos vehículos de combate, una de las principales limitaciones del VRCC "Centaurus" es su capacidad de observación en ciertas zonas anexas al vehículo cuando este se encuentra en disposición de combate con escotillas cerradas. En determinadas situaciones tácticas, los diferentes periscopios panorámicos no son suficientes debido a que, a pesar de proporcionar un grado de visibilidad considerable a distancias medias, no la proporcionan en las inmediaciones del vehículo. Esto ocurre incluso con la capacidad de estabilización independiente de los periscopios del tirador o el jefe de vehículo. En este aspecto juega un papel fundamental el ángulo de depresión de los diferentes puestos tácticos que condicionan la visibilidad y crean una serie de áreas *muertas* de visión como las que se muestran en la siguiente figura. Las zonas no vistas o *muertas* según el puesto táctico están sombreadas.

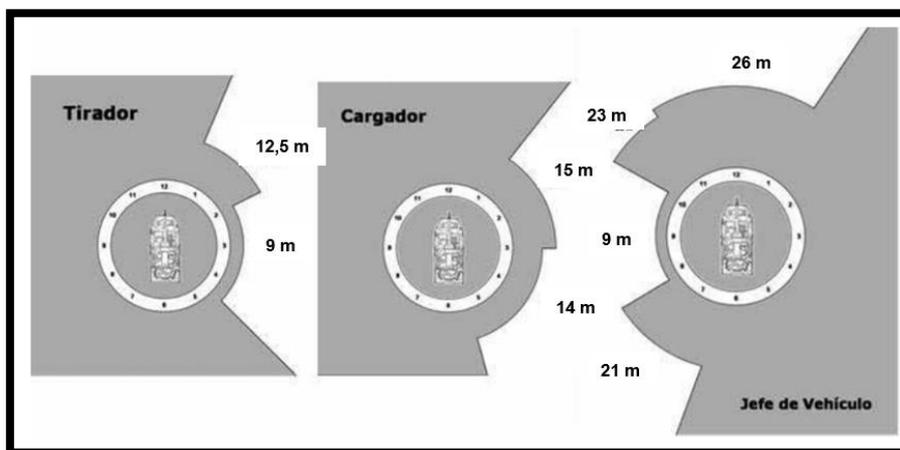


Figura 6: Esquema de zonas no vistas del VRCC "Centaurus".
Fuente: Manual "Tripulación del VRCC «Centaurus» "(MI-201). MADOC

Un ejemplo de la amenaza que esto conlleva sería, por ejemplo, la presencia de un individuo enemigo que se acerque a cualquiera de esas zonas marcadas en negro y adhiere algún tipo de carga explosiva al vehículo. En este caso, ningún miembro de la tripulación tendría capacidad de observar que acciones lleva a cabo este individuo. La escasa capacidad de observación también tiene una repercusión directa sobre la capacidad de maniobrabilidad del conductor en circunstancias como la de ir marcha atrás o a la hora de detectar posibles artefactos explosivos improvisados (IED) en las inmediaciones del VRCC "Centaurus". En el *Anexo I* se describen los elementos de observación y puntería del vehículo.

1.4 Conciencia situacional

Los aspectos anteriormente comentados muestran la necesidad de mejorar la "conciencia situacional" o *Situational Awareness* (SA) del VRCC "Centaurus". Esta se puede definir como la capacidad que posee la tripulación de un vehículo acorazado para comprender, percibir y anticiparse a los diversos factores y amenazas que caracterizan el entorno operativo en el que se combate (Guest, 2022). El jefe de vehículo debe tener ojos en la parte trasera y superior de su vehículo, así como en los laterales para que su tripulación pueda sobrevivir en los campos de batalla. Es por esto que cada vez se desarrollan más sensores con el objetivo de mejorar las capacidades de observación y protección de los medios acorazados. Sin embargo, y como ocurre en tantas ocasiones, cantidad no significa calidad, pues muchos sensores podrían llegar a



proporcionar mucha información que puede llegar a sobrepasar a la tripulación y provocar una especie de *infoxicación de combate*. Por esto, los sistemas de a bordo deben también, en la medida de lo posible, ser capaces de procesar y utilizar esta información para que el jefe decida y actúe lo antes posible.

Actualmente, los ejércitos más modernos del mundo son conscientes de la necesidad de mejorar la conciencia situacional y ejemplo de ello, es el desarrollo de nuevos sistemas de cámaras de conducción o sensores de monitorización del entorno operativo que están a la orden del día en industrias de defensa de países como Estados Unidos, Alemania, Israel o Reino Unido (Guest, 2022).

1.5 Estructura de la memoria

Este Trabajo de Fin de Grado está estructurado en cinco apartados claramente diferenciados.

En el primer apartado "Introducción", se contextualiza y se describen una serie de conceptos considerados clave para el entendimiento del proyecto.

En el segundo apartado, "Objetivos y Metodología", se define la finalidad del trabajo y se describen de forma teórica cada uno de los métodos aplicados en el desarrollo y análisis del proyecto.

El tercer apartado "Antecedentes y Marco Teórico", se realiza un análisis de la situación y estado actual de los conceptos principales que aborda el trabajo tanto en el ámbito nacional como internacional.

En el cuarto apartado, "Desarrollo. Análisis y Resultados", se describe cómo se ha aplicado la metodología ya explicada anteriormente y se analizan las principales lecciones aprendidas.

El quinto y último apartado es una recopilación de los principales resultados y conclusiones del proyecto.

Para finalizar la memoria, se incluyen las referencias bibliográficas y un conjunto de anexos para facilitar la comprensión y profundizar en los diferentes aspectos mencionados en el desarrollo del trabajo.



2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE

El propósito principal de la realización de este trabajo es proponer un sistema de cámaras de visión perimetral y acoplable en el vehículo VRCC "Centaurus" del Ejército de Tierra. Se busca con esto alcanzar una solución factible a los problemas de visibilidad en las proximidades que sufre el "Centaurus", al igual que otros muchos medios acorazados, en situaciones de combate en espacios confinados y en otras acciones diarias y rutinarias, como movimientos en base o aparcamientos. Esto permitiría a la tripulación, y en especial al jefe de vehículo, mejorar la seguridad inmediata, la alerta temprana y, en definitiva, mejorar el concepto de "conciencia situacional" en el campo de batalla, ya expuesto en apartados anteriores. Este trabajo podría servir como precedente para un posible futuro desarrollo, más sofisticado, por parte de la industria de Defensa española y como actualización de las capacidades de un "Centaurus" que amenaza con quedar progresivamente obsoleto respecto a otros vehículos similares de países de la OTAN.

Los objetivos intermedios e hitos principales para alcanzar tal objetivo son:

- Analizar las principales amenazas en el combate actual que supone una "conciencia situacional" débil por parte de un vehículo de combate.
- Describir las capacidades y limitaciones del VRCC "Centaurus" en lo que a "conciencia situacional" se refiere.
- Analizar y estudiar las prioridades y lecciones aprendidas por parte de tripulaciones de VRCC "Centaurus" del Grupo de Caballería "Reyes Católicos II" de la Legión.
- Determinar la ubicación óptima de las cámaras de visión alrededor del vehículo para el sistema a proponer.
- Determinar la ubicación óptima de los monitores de visualización de imágenes ofrecidas por las cámaras y establecer los puestos tácticos que deben tener acceso a estas.
- Analizar y comparar posibles modelos y alternativas de cámaras que conformen el sistema.
- Determinar un modelo de cámara que se ajuste a las características y requerimientos técnicos definidos mediante la metodología.

El alcance del proyecto es por tanto determinar, de entre varias posibles cámaras de visión perimetral y diferentes configuraciones, aquella que mejor se adapte a las necesidades planteadas. Para esto, solo se estudiarán y compararán dispositivos que provengan del mercado civil. Quedan por tanto excluidos los sistemas de visión perimetral ya desarrollados e implementados en otros vehículos militares extranjeros, dada la dificultad e imposibilidad de llevar a cabo un análisis real con servicios y productos de multinacionales extranjeras del ámbito de Defensa.

2.2 METODOLOGÍA

La metodología aplicada en el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado puede desglosarse en tres fases bien diferenciadas. En primer lugar, y con el objeto de estructurar el proyecto y esclarecer los objetivos y la planificación temporal del trabajo, se aplicarán conceptos como el *Project Charter* o el Diagrama de Gantt. A continuación, se optará por el empleo de métodos cualitativos para obtener información de diversas fuentes y expertos y determinar cuáles deben ser las características fundamentales de un sistema de cámaras de visión perimetral ideal para el VRCC "Centaurus". Estos métodos son: revisión bibliográfica, observación directa y entrevistas con grupos de expertos. Para recopilar toda esta información y ayudar en la toma de decisiones, se emplearán también métodos de carácter cuantitativo como la "Casa de la Calidad" o QFD (*Quality Function Deployment*), encuestas y estudios estadísticos de estas. Por último, para definir qué sistema de cámaras de visión perimetral es el más adecuado de entre varias



alternativas, se aplicará el método de Jerarquización Analítica AHP. Una vez finalizado el AHP, se realizará un análisis de sensibilidad que permite estudiar cómo podría cambiar la mejor alternativa en caso de modificaciones en los requerimientos o requisitos exigidos.

2.2.1 Planificación del proyecto

Project Charter

La realización del acta de constitución del proyecto o *Project Charter* permite, a grandes rasgos, planificar este Trabajo de Fin de Grado y deliberar si es factible, según las restricciones que se presenten. Este incluye principalmente una breve descripción del proyecto, los *stakeholders* o actores interesados, los objetivos a cumplir, posibles riesgos y los principales hitos que se deben alcanzar para hacer posible finalizarlo de forma fructífera y según lo estipulado (Sancho Val y Torralba García, 2023).

Diagrama de Gantt

Para materializar la planificación temporal del TFG se ha utilizado la herramienta de gestión de proyectos conocida como Diagrama de Gantt. Este consiste en un gráfico que permite visualizar de forma rápida e intuitiva la programación del trabajo y comprobar si se están cumpliendo los tiempos y principales hitos del mismo. Para ello, se emplean una serie de barras horizontales que muestran cada una de las etapas. La duración de estas fases queda también representada según la longitud que muestren las barras (Martins, 2022). En definitiva, el diagrama permite trazar el plan a seguir para el proyecto y comprobar que se está actuando según lo planeado y acordado. Para realizar este método se ha empleado el *software ProjectLibre*.

2.2.2 Revisión bibliográfica

Con el objeto de recopilar la información necesaria y relevante para la elaboración de este TFG, se ha recurrido a una serie de fuentes documentales y bibliográficas de diferentes características y origen que a continuación se citan:

- Servicio de documentación de la Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales (DIDOM): Se ha contactado y realizado una solicitud de información a este servicio del Ejército de Tierra para obtener información contrastada y de carácter militar acerca de los siguientes temas relacionados con este TFG.

- Arma acorazada/blindada y Caballería
- Combate en zonas urbanizadas
- Sensores y protección visual en vehículos acorazados y carros de combate
- Conciencia situacional en vehículos acorazados y carros de combate
- Sistemas de cámaras de visión perimetral en vehículos (civiles y/o militares)

- Manuales militares publicados por el Mando de Adiestramiento y Doctrina (MADOC) y consultados a través de la Intranet del Ejército de Tierra:

- MADOC. 2011. Empleo de las Fuerzas Terrestres (PD1-001). Ejército de Tierra.
- MADOC. 2015. Tripulación del VRCC «Centaurus» (MI-201). Ejército de Tierra.
- MADOC. 2019. Empleo de las Pequeñas Unidades de Caballería: Los Grupos (PD4-200). Ejército de Tierra.
- MADOC. 2019. Vehículo VAMTAC ST5 VERT Manual de Operador y Mantenimiento Primer Escalón. (MT-204). Ejército de Tierra.
- MADOC. 2020. Vehículo de Exploración y Reconocimiento Terrestre. (MI-208). Ejército de Tierra.
- MADOC. 2008. Carro de Combate LEOPARDO 2 E Manual de Tripulación y Mantenimiento de 1er Escalón. (MT6-049). Ejército de Tierra.

- Manuales académicos publicados en la Academia General Militar (AGM) y en la Academia de Caballería (ACAB):



- Academia de Caballería, Departamento de Ciencia Militar. 2022. La Organización de la Caballería.
- Academia General Militar. Departamento de Técnica Militar. 2022. Asignaturas 4º Curso «Sistemas de Armas de Caballería I» (AGM-TM-401) y «El Combate de la Caballería»
 - Trabajos de Fin de Grado relacionados con el tema de estudio.
 - Revistas técnicas de empresas y multinacionales del ámbito de defensa sobre productos y servicios que ofrecen en relación al tema de estudio. Algunos ejemplos de estas corporaciones son: Bae Systems, Indra, Escribano Mechanical & Engineering o Hensoldt.
 - Artículos de investigación y especializados en la materia. Por ejemplo, artículos publicados en la revista de seguridad y defensa europea acerca del concepto de "conciencia situacional".

2.2.3 Grupo de expertos

Con el objeto de recopilar información proveniente de fuentes experimentadas y tratar de sintetizar y simplificar las opiniones, se ha optado por generar un grupo de expertos sobre la materia. Al personal que forma parte de este, se le han realizado una serie de pequeñas y periódicas entrevistas que han permitido extraer importantes conclusiones y constituir la base de conocimiento para la materialización de los siguientes métodos aplicados. Para esto, se han distinguido entre los dos tipos de expertos que a continuación se citan:

Expertos de perfil generalista: Destacan por su experiencia en los aspectos tácticos y en el conocimiento de las capacidades VRCC "Centaurus".

1. Capitán Jefe de Escuadrón en el Grupo de Caballería Ligero Acorazado "Reyes Católicos" II de la Legión.
2. Teniente con experiencia como Jefe de Sección Acorazada y Jefe de Escuadrón accidental en el Grupo de Caballería Ligero Acorazado "Reyes Católicos" II de la Legión.
3. Sargento Jefe de Pelotón en Sección Acorazada perteneciente al Grupo de Caballería Ligero Acorazado "Reyes Católicos" II de la Legión.

Expertos de perfil técnico: Destacan por su conocimiento especializado en cuestiones de mantenimiento y en los diferentes sistemas del VRCC "Centaurus".

1. Sargento Primero especialista en electrónica y telecomunicaciones del segundo escalón de mantenimiento.
2. Cabo encuadrado en Escuadrón Ligero Acorazado (ELAC) del Grupo de Caballería "Reyes Católicos" II de la Legión, con una dilatada experiencia en la conducción y empleo del VRCC "Centaurus".

2.2.4 Encuestas y análisis estadístico de los resultados

Con el objeto de recopilar información especializada, se ha recurrido a una serie de encuestas a cuadros de mando (oficiales y suboficiales) y personal de tropa del Grupo de Caballería "Reyes Católicos" II de la Legión (principalmente conductores). Con esto se ha buscado conocer y discernir, entre otros, cuáles son las principales amenazas que perciben ante una débil "conciencia situacional", aspectos a mejorar en este ámbito en el "Centaurus" y se han ido perfilando también las principales características o requisitos del sistema de cámaras de visión perimetral a implementar. Estos criterios extraídos se utilizarán posteriormente en el método de Jerarquización Analítica AHP. Para la realización de las encuestas se ha recurrido a la aplicación digital online *QuestionPro*.

Una vez realizadas todas las encuestas, se ha realizado un estudio estadístico de los resultados también mediante la aplicación *QuestionPro*. Esta permite visualizar y comparar estos resultados y, en definitiva, facilita la obtención de conclusiones.



2.2.5 Observación directa

El autor de este Trabajo de Fin de Grado ha tenido la posibilidad de realizar sus prácticas externas en el Grupo de Caballería "Reyes Católicos" II de la Legión. Esto ha permitido experimentar en primera persona con el vehículo VRCC "Centaurus", participar en actividades de instrucción y adiestramiento y otras de carácter rutinario, como en el mantenimiento de los vehículos. Además de presenciar las limitaciones y capacidades del "Centaurus" en lo referido a "conciencia situacional", se ha realizado un estudio con material proporcionado por la unidad para determinar los siguientes aspectos:

- Ubicación óptima de las cámaras de visión alrededor del vehículo.

- Ubicación óptima de los monitores de visualización de las imágenes proporcionadas por las cámaras de visión.

2.2.6 Despliegue de la Función Calidad QFD (Quality Function Deployment) o "Casa de la Calidad"

Para conocer las características fundamentales que debe de tener un sistema de cámaras de visión perimetral idóneo para el VRCC "Centaurus", se aplicará el método de "Despliegue de la Función Calidad" QFD. Esta metodología de gestión de la calidad permite desarrollar productos y servicios que se adapten lo máximo posible a las necesidades de los usuarios. Para ello, se emplean una serie de matrices que traducen las necesidades del cliente en requisitos o especificaciones concretas del diseño del nuevo producto (Yepes Piqueras, 2016). Los pilares elementales de este método matemático son (Sancho et al. 2021):

- Implementar la calidad desde el inicio del proyecto
- Establecer ventajas competitivas
- Reducir el número de cambios y de fallos para mejorar la eficacia y reducir costes
- Mejorar la eficiencia mediante la jerarquización de tareas

Por tanto, la "Casa de la Calidad" ofrece (Jimeno, 2012):

- La perspectiva del usuario y los requisitos a cumplir
- Características predefinidas y priorizadas del producto
- La evaluación del estado del producto propio frente a la competencia y la definición de aspectos a mejorar en la competitividad

Las fases del QFD son las siguientes (Sancho et al. 2021):

1. Definición de los "Qué".

Los "Qué" son aquellas características que los clientes esperan del producto o servicio en desarrollo. Para esto, se utilizará la información recabada previamente mediante las encuestas y las entrevistas a los miembros del grupo de expertos.

2. Análisis de los "Qué".

Una vez definidos, es necesario ponderar y clasificarlos según su importancia en una escala del 1 al 5 (5= muy importante, 1=nada importante).

3. Definición de los "Cómo".

Posteriormente, se definen los requisitos necesarios para que el producto pueda satisfacer los "Qué" previamente definidos y se materializan los "Cómo".

4. Análisis de los "Cómo": Dirección de mejora.

En esta fase, mediante la dirección de mejora, se determina la orientación demandada de cada "Cómo" (más es mejor, menos es mejor o neutro). Por ejemplo, en el caso de un teléfono móvil, más duración de la batería es mejor, pero un mayor tiempo de carga completa es peor.



5. Relación entre los "Cómo": Matriz de correlación.

Mediante esta matriz triangular, se estudia si un requisito afecta positivamente, de forma neutra o negativamente sobre otro. Por ejemplo, en el caso del teléfono móvil, una mayor duración de la batería podría afectar de forma negativa al peso de este.

6. Relación entre los "Qué" y "Cómo": Matriz de relaciones.

En esta fase, se relacionan los "Qué" con los diferentes "Cómo" y se analiza como repercuten unos sobre otros. De esta forma los "Qué" quedan ligados a uno o varios "Cómo" y se transforman los aspectos más cualitativos de los primeros en otros cuantitativos para los segundos.

7. Evaluación competitiva de mercado.

En esta fase se analiza el estado del producto o servicio propio y se compara con la situación de la competencia.

8. Estrategia.

Esta etapa se caracteriza por definir un objetivo a cada "Qué" y calcular su ratio de mejora. Además, se determina el concepto de "argumento de venta", las ponderaciones absolutas y relativas, y finalmente se obtiene el orden de importancia para los "Qué". Esto último permite priorizar y descartar características.

9. Evaluación competitiva técnica.

Se calcula principalmente la ponderación absoluta y relativa de cada "Cómo" y se establece el orden de importancia de estos.

10. Objetivo técnico y Dificultad objetivo.

Por último, y a partir de los valores previamente obtenidos, se establecen los valores a alcanzar para cada "Cómo" y se cuantifica la dificultad para alcanzar cada uno de estos objetivos en una escala del 0 al 10 (0=muy asequible, 10=extremadamente complejo). Para aplicar esta metodología, se hará uso de una plantilla de la "Casa de la Calidad" obtenida a través del sitio web *QFD Online*.

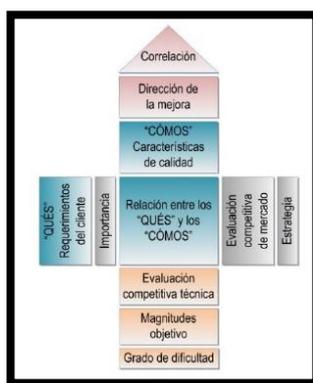


Figura 7: Esquema-resumen del método de la "Casa de la Calidad" o QFD.
Fuente: Asignatura Calidad 21/22 Centro Universitario de la Defensa (CUD)

2.2.7 Método de jerarquización analítica AHP/Analytic Hierarchy Process

Ante la necesidad de determinar qué tipo de cámara de visión cumple con las necesidades planteadas y recopiladas mediante las encuestas y entrevistas al personal del Grupo "Reyes Católicos" II de la Legión, se ha decidido hacer uso del método de jerarquización analítica o Proceso de Análisis Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP). Este fue desarrollado por el profesor Thomas L. Saaty a finales de la década de los 60 y principios de los 70 y quedó plasmado en su obra *The Analytic Hierarchy Process* de 1980 (Saaty, 1980). Surgió ante la necesidad de



dar respuesta a problemas y tomar decisiones en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y, actualmente, se ha convertido en uno de los más usados en numerosos campos y sectores.

Este método matemático permite seleccionar la mejor alternativa o solución a un problema atendiendo a un conjunto de criterios y subcriterios claramente jerarquizados. Estos deben ser relevantes y estar claramente definidos y diferenciados (Yepes Piqueras, 2018). Para esto es fundamental el conocimiento y la experiencia de un grupo de actores o expertos cercanos a la temática en cuestión.

Por otro lado, el AHP permite considerar datos tanto cuantitativos como cualitativos. Estos últimos suelen no emplearse en otros análisis debido a la dificultad para ser cuantificados, a pesar de su importancia en la resolución de muchos problemas. Por tanto, este método permite estructurar un problema de forma jerárquica y gráfica para organizar y descomponer la información. Además, permite analizar cómo afectan a la alternativa final las posibles modificaciones en los diferentes niveles o criterios (Hurtado y Bruno, 2005). Como ya indicó Saaty en su obra, "se trata de desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de los subproblemas en una conclusión" (Saaty, 1980).

Los fundamentos del método AHP son los siguientes (Hurtado y Bruno, 2005):

- Representación de un problema según una serie de objetivos, criterios, subcriterios y alternativas (modelo jerárquico)
- Priorización de elementos del modelo jerárquico
- Comparación de los elementos del modelo entre pares (por ejemplo, entre dos criterios)
- Evaluación de los elementos según diferentes "pesos" o ponderaciones
- Priorización de alternativas atendiendo a los "pesos" establecidos
- Síntesis: Ofrece, de forma resumida, una ordenación de alternativas según las prioridades

Algunas de las principales ventajas del AHP frente a otros métodos son (Hurtado y Bruno, 2005):

- Base matemática
- Mide criterios cuantitativos y cualitativos bajo una escala común
- Incluye la opinión de grupos de expertos o de interés
- Permite llevar a cabo análisis de sensibilidad
- Intuitivo y fácil empleo

El método AHP se divide en las siguientes fases (Ruiz López, 2023):

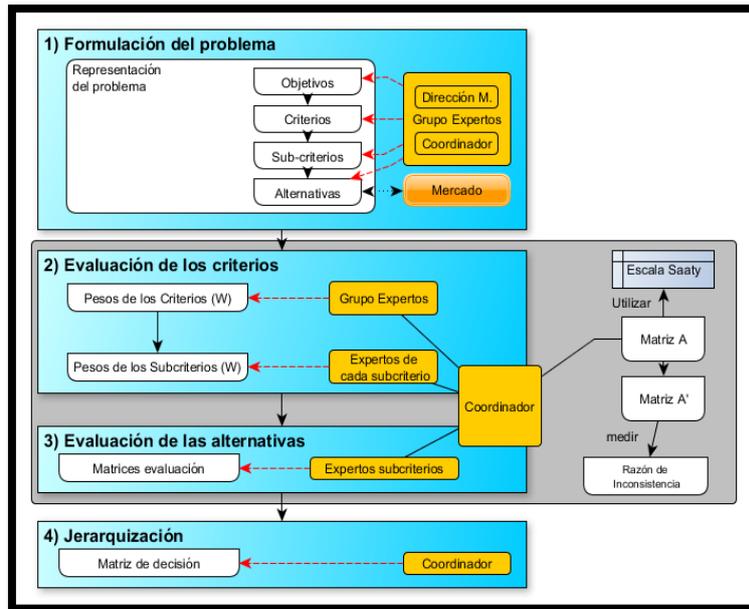


Figura 8: Esquema-resumen del método AHP.

Fuente: Proporcionada por el Coronel D. Carlos Luis Ruiz López

1. Formulación del problema.

En esta etapa se establecen los objetivos, criterios, subcriterios y posibles alternativas del problema, con la participación del grupo de expertos. Tras esto, se conforma un árbol de jerarquías que permite representar gráficamente el sistema. En este, los criterios varían de lo más general a lo más particular mediante los subcriterios, que se encuentran en un nivel inferior.

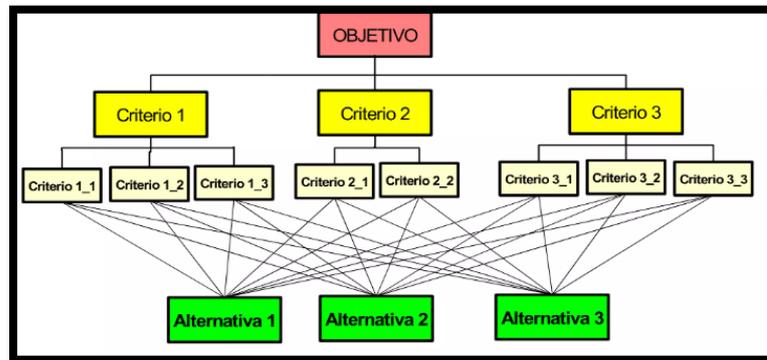


Figura 9: Ejemplo del esquema de un árbol de jerarquías para el método AHP.

Fuente: Página web Slideshare

2. Evaluación de los criterios.

Los miembros del grupo de expertos establecen la ponderación de los criterios y subcriterios. Para ello se emplean cuestionarios basados en la escala fundamental de preferencias por pares de Saaty. Para facilitar el entendimiento de esta escala, y tal como indica la siguiente tabla, se procede a explicar un ejemplo empleando dos criterios supuestos A y B. Si a la hora de evaluar dos criterios, un miembro del grupo de expertos considera que el criterio A es más importante o preferible que B, esto se traducirá en que el valor del criterio A respecto del de B es cinco a uno, es decir, cinco veces más importante.



Tabla 1: Escala de preferencias por pares de Saaty.
Fuente: Tabla modelo proporcionada por el Coronel D. Carlos Luis Ruiz López

Comentario	Definición	Valor	Valor
		A/B	B/A
Ambos criterios tienen la MISMA importancia/preferencia	Igual importancia/ preferencia	1	1
A es LIGERAMENTE MÁS importante/preferible que B	Importancia/ preferencia moderada	3	1/3
A es MÁS importante/preferible que B	Importancia/ preferencia grande	5	1/5
A es MUCHO MÁS importante/preferible que B	Importancia/ preferencia muy grande	7	1/7
A es EXTREMADAMENTE MÁS importante/preferible que B	Importancia/ preferencia extrema	9	1/9

Con esto, cada miembro del grupo de expertos establece su jerarquía propia y en fases sucesivas el método las combina mediante el promedio geométrico (Saaty, 1980). Como resultado se obtienen las matrices de evaluación de los criterios y de los subcriterios. En esta fase es de suma importancia tener en cuenta el concepto de Razón de Inconsistencia (RI). Esta mide el grado de coherencia a la hora de determinar la importancia relativa de los criterios dos a dos. La consistencia se rige por los principios de proporcionalidad y transitividad. Esto se traduce en que si, por ejemplo, en un caso supuesto, un criterio A es más importante que otro B ($A > B$), y a su vez B es más importante que C ($B > C$), A será más importante que C ($A > B > C$). En este caso, se considera razonable una RI menor del 10% (depende del orden de la matriz de evaluación en cuestión). En caso de que el grado de inconsistencia sea inaceptable, se debe reconsiderar y modificar los juicios sobre las comparaciones realizadas antes de continuar con el proceso (Saaty 1994).

3. Evaluación de las alternativas

En esta etapa se realiza la comparación de las diferentes alternativas según cada uno de los subcriterios establecidos. Como producto de esto se obtiene una matriz de evaluación por cada comparación efectuada.

4. Jerarquización

En esta última fase se determina la alternativa más favorable mediante una matriz de decisión.

Para realizar el método AHP en este TFG, se ha utilizado el software de código abierto PriEst (Priority Estimation Tool) que permite realizar los cálculos matemáticos del proceso de forma simple e intuitiva.

2.2.8 Análisis de sensibilidad. Resultados AHP

Mediante la realización de un análisis de sensibilidad, se puede estudiar como afectarían posibles modificaciones en la importancia de los criterios preestablecidos a la ordenación de las alternativas resultante del método AHP. Esto permite dar respuesta a cuestiones que comiencen de la siguiente forma: ¿Qué ocurre si...? Este estudio es de gran utilidad ya que los problemas de este tipo suelen tener un carácter dinámico y estar sujetos a cambios en su entorno que deben ser revisados y considerados para posibles reordenaciones futuras (Hurtado y Bruno, 2005). Para realizar este análisis, se ha utilizado también el *software* de código abierto PriEst.



3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

En este apartado, una vez explicado el concepto de “conciencia situacional” en medios acorazados, se analizan los principales y más novedosos sistemas que han sido implementados y se están desarrollando por las industrias de defensa de todo el mundo para progresar en este aspecto. De igual forma, se explican las implementaciones que mejoran la *situational awareness* (SA) en vehículos del Ejército de Tierra de España y que suponen el punto de partido para futuros desarrollos.

3.1 Ejércitos extranjeros

Sistema IVAS (Integrated Visual Augmentation System)- EEUU

El Sistema Integrado de Aumento Visual (IVAS) es un casco de realidad aumentada que la empresa americana Microsoft ha desarrollado para el Ejército de los EEUU. El sistema lleva en proceso de pruebas desde el año 2019 y fue concebido inicialmente para unidades de infantería, sin embargo, sus grandes capacidades han hecho que empiecen a probarse también en unidades mecanizadas. El IVAS comprende un conjunto de cámaras de alta calidad que ofrecen ayudas a la navegación, visión nocturna y térmica e información táctica en tiempo real a los soldados, como posiciones enemigas y obstáculos.

El primer vehículo en el cual se ha probado e implementado ha sido el vehículo de transporte blindado de personal 8x8 “Stryker”. El IVAS permite integrar las cámaras ya existentes en este con las de visión nocturna y diurna que proporciona el sistema alrededor del vehículo. Algunas de sus ventajas son la posibilidad de que la tripulación obtenga un mapa táctico de su área de misión, visibilidad 360º, mayor capacidad para detectar IEDs, verificación de otros vehículos y ayuda al mando, así como control en el movimiento y despliegue de este tipo de unidades (Coats, 2022).



Figura 10: Miembros del ejército americano experimentado con el sistema IVAS.

Fuente: Página web del US ARMY

Sistema BattleView 360 SA- UK

El BattleView 360 SA es un sistema desarrollado por la compañía británica Bae Systems que, como su propio nombre indica, permite mejorar las capacidades de “conciencia situacional” de vehículos terrestres. Consiste en un monóculo acoplado al casco de los tripulantes que permite ver a través de sus vehículos en tiempo real con una vista 360º del espacio circundante al vehículo. Proporciona además un mapa digital que permite a los jefes de vehículo transmitir órdenes e instrucciones a su tripulación y a otros vehículos, distinguir entre fuerzas enemigas y amigas y establecer itinerarios ocultos de las vistas y del fuego enemigo. En caso de unidades mecanizadas con vehículos de transporte de personal o vehículos de combate de infantería (VCI), existe la posibilidad de que el elemento a pie se comunique también con el vehículo a través del propio sistema. Por otro lado, BattleView 360 SA ofrece una pantalla táctil para



optimizar la recepción de información y la toma de decisiones del jefe de vehículo (Bae Systems, 2023).

El sistema ha sido ya integrado y probado en medios como el CV90 (vehículo de combate de infantería del ejército sueco), el Bradley IFV (vehículo de combate de infantería y caballería americano) o incluso en vehículos aéreos no tripulados (UAV).



Figura 11: Captura de pantalla de la información ofrecida a través de los monitores por el sistema BattleView 360 SA. Fuente: Página web de la empresa desarrolladora Bae Systems.

Sistema SETAS (See Through Armour System)- Alemania

SETAS es un sistema creado por la corporación multinacional alemana Hensoldt que permite obtener una visión 360° del campo de batalla que rodea a una larga variedad de vehículos de ruedas y cadenas. Su conjunto integrado de cámaras y los módulos que se implementan en los cascos de la tripulación permiten obtener visión en tiempo real y de forma ininterrumpida con una excelente calidad de imagen. Algunas de las principales y más novedosas capacidades de SETAS respecto a otros sistemas de SA, son el uso de inteligencia artificial, realidad aumentada y las cámaras CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Estas últimas suponen una importante novedad ya que permiten al sistema reconocer formas humanas en el entorno y proporcionar información, como la distancia a la que se encuentra un posible enemigo. SETAS destaca además por su unidad central de procesamiento de imágenes que permite recopilar e integrar la información de los múltiples sensores en una única vista de todo el entorno del vehículo (Hensoldt, 2023).

El sistema ya ha sido probado en el vehículo de combate de infantería británico FV510 Warrior. SETAS es por todo esto un sistema innovador con una gran proyección a medio y largo plazo y de los más avanzados actualmente en el mercado.

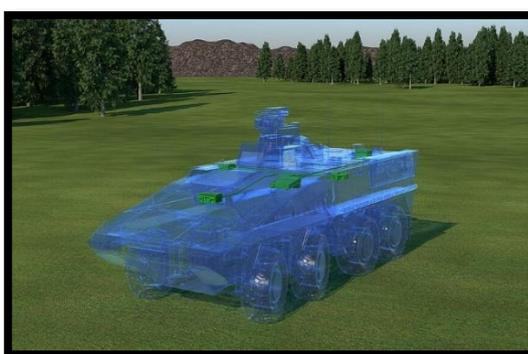


Figura 12: Imagen virtual que representa la ubicación de cámaras del sistema SETAS sobre un vehículo acorazado. Fuente: Página web de la empresa desarrolladora Hensoldt.

Sistema IronVision – Israel

El sistema de mejora de conciencia situacional IronVision, fue creado por la empresa de materiales electrónicos israelí Elbit Systems tras aplicar en vehículos la tecnología aeroespacial HMD de visualización montada en casco, ya empleada anteriormente en aviones de combate. IronVision permite ver a través del blindaje del vehículo y proporciona una monitorización de 360°



mediante una pantalla acoplada en el casco de la tripulación. Además, el sistema presenta los datos e imágenes en alta resolución mediante un monitor para el jefe de vehículo y el conductor.

Este display permite complementar esta información con la de los sistemas de armas, sistemas de mando y control y la de medios UAV (Elbit Systems, 2023).

Otra interesante innovación del sistema es el algoritmo de corrección de distorsión visual que permite reducir el mareo y la fatiga visual del usuario durante el día y la noche. La capacidad de realidad aumentada permite también emplear este sistema como método de instrucción y entrenamiento. Para ello, es necesario incorporar el software de entrenamiento de realidad aumentada ARTIST desarrollado de igual forma por Elbit Systems. Gracias a este, es posible crear diferentes situaciones tácticas simuladas para que la tripulación pueda instruirse tanto en el manejo del propio IronVision como en su aplicación directa en el combate.

En junio del año 2019, el Ejército de Tierra español llevó a cabo un periodo de pruebas en las instalaciones de la Base del Goloso (Madrid), en coordinación con Elbit Systems (Ejército de Tierra, 2019). El sistema IronVision fue instalado en el VCI "Pizarro" y personal del Regimiento de Infantería "Asturias" 31 pudo experimentar in situ las grandes capacidades que aporta esta tecnología (Grupo Edefa SA, 2019).



Figura 13: Sistema IronVision implementado en el VCI "Pizarro".
Fuente: Página web Infodefensa.com

3.2 Ejército de Tierra español

Sistema VTC-DUAL

VTC-DUAL, diseñado por la empresa española *Escribano Mechanical and Engineering*, comprende un conjunto de sensores electro-ópticos integrados en forma de cámara de conducción para diferentes vehículos de combate. El sistema ya ha sido probado e implementado en el VCI "Pizarro" del Ejército de Tierra español, y se espera que finalmente se instale en un total de 83 vehículos (Carrasco, 2021). El sistema se compone de una cámara dual delantera (visible o infrarroja IR) y otra infrarroja en la parte trasera. La visible puede detectar a un individuo a 780 metros, mientras que la IR lo hace a unos 250 metros. La información y el video en tiempo real que proporcionan las citadas cámaras son visualizados por el conductor a través de un monitor resistente al polvo, al agua y temperaturas extremas de poco más de ocho pulgadas. El sistema destaca además por su fácil mantenimiento y la capacidad de acoplarse en multitud de vehículos gracias a su diseño modular (Escribano Mechanical & Engineering, 2023). El sistema VTC-DUAL, a día de hoy, ofrece la tecnología más avanzada en lo referente a conciencia situacional en vehículos y carros de combate en el Ejército de Tierra.



Figura 14: Cámara del sistema VTC-DUAL implementada en el glacis del VCI "Pizarro".
Fuente: Página web de la empresa desarrolladora *Escribano Mechanical and Engineering*.

Cámaras de ayuda a la conducción

El carro de combate por excelencia de las unidades de caballería e infantería del Ejército de Tierra español es el "Leopardo" 2E. Este cuenta con una cámara de visión trasera que permite al conductor del carro tener mayor facilidad para realizar maniobras marcha atrás y tener mayor visibilidad. Para ello, este posee un pequeño monitor en la cámara de conducción para visualizar esa imagen (MADOC, 2008). Aunque sea exclusivamente en la parte trasera de la barcaza, esto permite mejorar ligeramente la capacidad de conciencia situacional del "Leopardo".

Un sistema similar es el que posee el Vehículo de Exploración y Reconocimiento Terrestre (VERT), en dotación en las Secciones de Vigilancia (SEV) de los Grupos de Caballería. Mediante una cámara trasera y una pantalla, el conductor tiene visión sobre la parte posterior de su vehículo y puede alternar, si así lo desea, entre una imagen de luz visible o infrarroja (MADOC, 2019). Además, el VERT incorpora otra cámara frontal infrarroja que proporciona visibilidad tanto al jefe de vehículo como al conductor mediante sus respectivos terminales o monitores (MADOC, 2020).



Figura 15: Cámara trasera del VERT. Fuente: *Elaboración propia*.

Sistema de misión-VCR 8X8 DRAGÓN

El innovador vehículo de combate sobre ruedas VCR 8x8 "Dragón" del Ejército de Tierra contará con un avanzado sistema de conciencia situacional desarrollado por la multinacional española Indra. Este forma parte del sistema de misión del vehículo y permitirá a su tripulación tener una gran capacidad de visión del campo de batalla gracias a un conjunto de sensores que se sitúan alrededor de la barcaza del "Dragón". La información proporcionada por este se procesa a través de algoritmos específicos para crear una imagen completa 360° en tiempo real que se visualiza a través de monitores en el interior del vehículo. De la misma forma, se dotará al 8x8 de varias cámaras que conformarán un sistema de ayuda a la conducción mediante el cual facilitar la labor del conductor en terrenos difíciles y espacios con visibilidad reducida (Indra Systems, 2023).



4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Planificación del proyecto: Resultados.

4.1.1 Project Charter.

El Acta de Constitución del proyecto o Project Charter permite esbozar y resumir previamente como se va a realizar un proyecto y sus características principales. Para este Trabajo de Fin de Grado, "Implementación de un sistema de cámaras de visión perimetral en el vehículo VRCC "Centaurus", se han definido los siguientes objetivos reflejados en el Project Charter (ver *Anexo II*):

Objetivo principal: Determinar de entre varias posibles cámaras de visión perimetral y diferentes configuraciones, aquella que mejor se adapte a las necesidades del VRCC "Centaurus".

Objetivos secundarios:

- Conocer las principales amenazas que supone una "conciencia situacional" débil por parte de un vehículo de combate.
- Describir las capacidades y limitaciones del VRCC "Centaurus" en lo que a "conciencia situacional" se refiere.
- Analizar y estudiar las prioridades y lecciones aprendidas por parte de tripulaciones de VRCC "Centaurus" del Grupo de Caballería "Reyes Católicos II" de la Legión.
- Determinar la ubicación óptima de las cámaras de visión alrededor del vehículo para el sistema que se propone.
- Determinar la ubicación óptima de los monitores de visualización de imágenes ofrecidas por las cámaras y establecer los puestos tácticos que deben tener acceso a estas.
- Analizar y comparar posibles modelos y alternativas de cámaras que conformen el sistema.
- Determinar un modelo de cámara que se ajuste a las características y requerimientos técnicos definidos mediante la metodología.

Para cumplir con los objetivos citados, se han definido los siguientes hitos que permiten estructurar temporalmente la realización del trabajo:

Entregables / Hitos:		Fecha
M0	Planificación del proyecto	05/06/2023
M1	Revisión bibliográfica	02/07/2023
M2	Realización de apartados de la memoria del proyecto: <i>Introducción, Objetivos y Alcance, Metodología y Antecedentes y Marco Teórico</i>	03/09/2023
M3	Incorporación al Grupo de Caballería "Reyes Católicos II" de la Legión (prácticas externas)	04/09/2023
M4	Realización de actividades de observación directa, encuestas, entrevistas con grupos de expertos y desarrollo del método de la "Casa de la Calidad" o QFD	01/10/2023
M5	Aplicación del Método de jerarquización analítica AHP	08/10/2023
M6	Realización de Análisis de Sensibilidad	14/10/2023
M7	Realización de apartados de la memoria del proyecto: <i>Análisis y Resultados y Conclusiones</i>	23/10/2023
M8	Finalización de la memoria del proyecto	31/10/2023
M9	Entrega de la memoria del proyecto	01/11/2023

Figura 16: Hitos del proyecto reflejados en el Project Charter. Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar también de este Proyecto Charter, la definición de los actores interesados o *stakeholders*. Se han incluido, entre otros, aquellas unidades de Caballería del Ejército de Tierra que cuentan con el vehículo VRCC "Centaurus" en dotación como el Regimiento de Caballería "España" 11, el Regimiento de Caballería "Farnesio" 12, el Regimiento de Caballería "Lusitania" 8 y el Grupo de Caballería "Reyes Católicos II" de la Legión (unidad donde se han realizado las actividades de investigación de este TFG).

Por último, son de considerado interés la definición de las posibles oportunidades derivadas de la realización de este proyecto:



- Implementar un sistema de cámaras que permita ser acoplable en otros medios acorazados y blindados del Ejército de Tierra además del propio VRCC "Centaurus".
- Remarcar, teniendo en cuenta las tendencias del combate moderno, la importancia de mejorar las capacidades de "conciencia situacional" de los vehículos.

Para la consulta de más detalles acerca del *Project Charter*, ver *Anexo II*.

4.1.2 Diagrama de Gantt

Los hitos definidos previamente mediante el Project Charter se han trasladado al *software ProjectLibre*. Este permite generar la planificación temporal de forma visual e intuitiva a través de la siguiente información:

- Nombre de los hitos.
- Duración de los hitos.
- Fechas de inicio y fin y la duración del periodo temporal que cubre cada hito.
- Hitos predecesores.

Como resultado, se ha obtenido el siguiente diagrama de Gantt:

	📌	Nombre	Duración	Inicio	Terminado	Predecesores
1	✔	Planificación del Proyecto	15 days	22/05/23 8:00	5/06/23 17:00	
2	✔	Revisión bibliográfica	27 days	6/06/23 8:00	2/07/23 17:00	1
3	✔	Realización de apartados ...	64 days	3/07/23 8:00	4/09/23 17:00	2
4	✔	Incorporación al Grupo de ...	0 days	5/09/23 8:00	5/09/23 8:00	3
5	✔	Realización de actividades ...	27 days	5/09/23 8:00	1/10/23 17:00	4
6	✔	Aplicación del Método de j...	7 days	2/10/23 8:00	8/10/23 17:00	5
7	✔	Realización de Análisis de ...	6 days	9/10/23 8:00	14/10/23 17:00	6
8	✔	Realización de apartados ...	9 days	15/10/23 8:00	23/10/23 17:00	7
9	✔	Finalización de la memoria ...	8 days	24/10/23 8:00	31/10/23 17:00	8
10	✔	Entrega de la memoria del ...	0 days	1/11/23 8:00	1/11/23 8:00	9

Figura 17: Tabla descriptiva de los hitos en el Diagrama de Gantt.
Fuente: Elaboración propia empleando el software ProjectLibre.

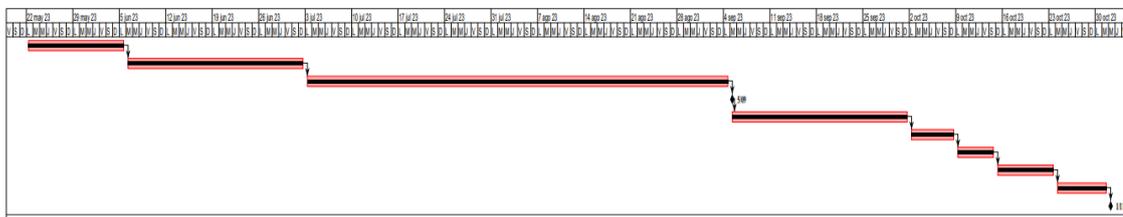


Figura 18: Diagrama de Gantt. Fuente: Elaboración propia empleando el software ProjectLibre.

4.2 Encuestas y análisis estadísticos: Resultados.

A partir de la información recabada mediante la revisión bibliográfica y una vez definidas las capacidades y limitaciones del VRCC "Centaurus" en el aspecto de la "conciencia situacional" (ver apartado 1. Introducción), se han realizado una serie de breves encuestas a personal del Grupo de Caballería "Reyes Católicos" II de la Legión, con el objeto de obtener información concreta sobre diferentes aspectos relacionados con este proyecto.

Con el objetivo de acotar y clasificar la información a obtener, se ha decidido diferenciar entre dos tipos de encuestados: conductores y jefes de vehículo del VRCC "Centaurus". Para ello, se han elaborado dos encuestas distintas en algunas cuestiones que permiten obtener información variada y especializada de ambos grupos. Cabe mencionar también, que se ha considerado como requisito para realizarlas el haber ocupado o estar actualmente ocupando alguno de estos puestos tácticos. Por otro lado, se ha empleado la aplicación digital online QuestionPro para elaborar y difundir estas encuestas. Los enlaces a estas se difundieron al personal objetivo a través de los jefes de escuadrón del Grupo de Caballería "Reyes Católicos" II de la Legión. Para ver las encuestas completas, ver *Anexo III*.



4.2.1 Encuesta a conductores:

Como puede apreciarse en la figura, la encuesta para los conductores del VRCC "Centaurus" fue iniciada por 17 individuos y realizada completamente por 11, lo que se traduce en un porcentaje de cumplimentación del 64.7%.

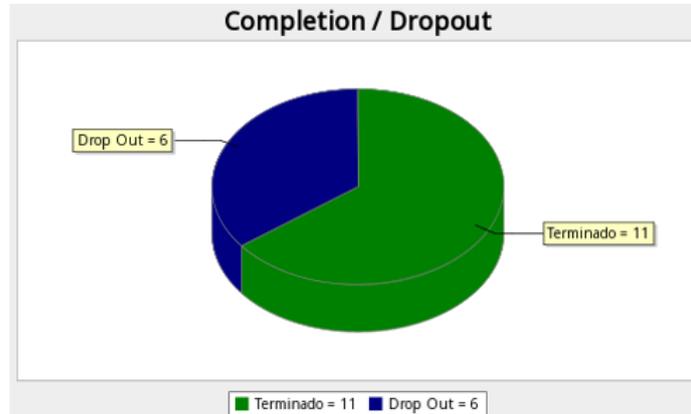


Figura 19: Gráfico circular del número de respuestas en la encuesta de los conductores.
Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.

Algunas de las principales conclusiones y aspectos interesantes son los siguientes:

"Mala" valoración de las condiciones de visibilidad del VRCC "Centaurus" en sus zonas aledañas en situación de combate

La segunda pregunta de la encuesta de conductores refleja como casi el 55% del personal encuestado considera como "mala" la visibilidad del "Centaurus" durante el combate, idea que sostiene la necesidad de mejorar esta evidente carencia para la supervivencia de la tripulación.

Q2. - En la perspectiva de su puesto táctico, ¿cómo valora la visibilidad del VRCC "Centaurus" en sus zonas más próximas o aledañas en situaciones de combate?

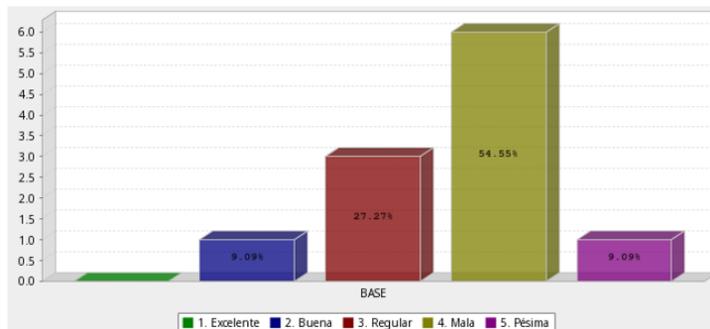


Figura 20: Resultados de la pregunta número dos de la encuesta a conductores.
Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.

Desconocimiento del concepto de "conciencia situacional" en un vehículo de combate

Un 69% de los conductores no conoce ni sabría definir lo que implica el concepto de "conciencia situacional". Este dato, como se verá a continuación, difiere bastante del obtenido de los jefes de vehículo, donde a la mayoría sí que le resulta familiar. Esto podría encontrar justificación en que, al ser un concepto puramente táctico, no se considera tan importante su conocimiento para desempeñar el puesto de conductor, pero sí que es estudiado o al menos explicado a los cuadros de mando.



Q3. - ¿Conoce el concepto de "conciencia situacional" en vehículos de combate?

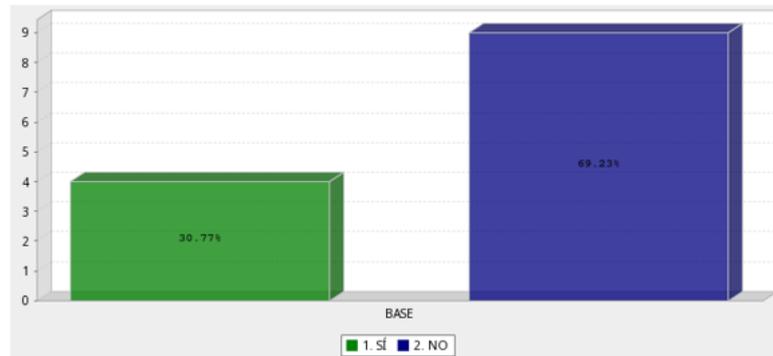


Figura 21: Resultados pregunta número tres de la encuesta a conductores.
Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.

Las zonas consideradas más vulnerables son las partes izquierda, derecha y trasera pero, a poder ser, sería de utilidad implementar cámaras de visión en todos los ángulos posibles

Mediante la cuestión número siete, un 45.45% de los encuestados sostiene que las partes más vulnerables del "Centaurus" son la izquierda, la derecha y la trasera. Así mismo, y a través de la pregunta número nueve, la mayoría esclarece que, si fuese posible, optaría por tener visibilidad en las partes ya mencionadas y además también en la delantera, con el objeto de tener visibilidad 360°.

Q7. - ¿Qué zona muerta de visión del "Centaurus" considera más peligrosa o vulnerable en situaciones de combate?

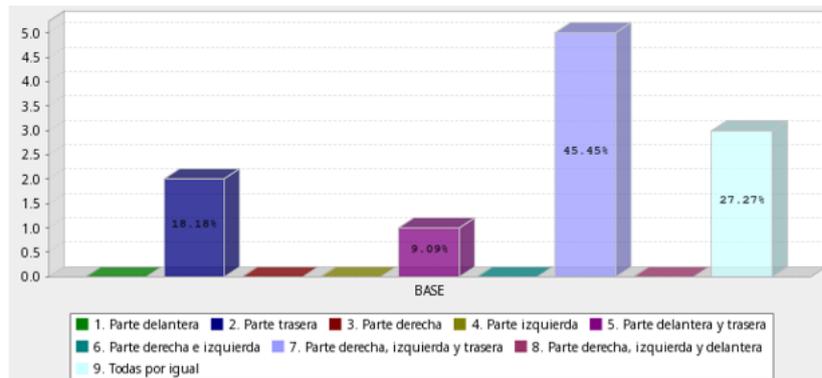


Figura 22: Resultados de la pregunta siete de la encuesta a conductores.
Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.

Características ideales de las cámaras de un sistema de visión perimetral para el VRCC "Centaurus":

1. Visión nocturna (72.73%)
2. Posibilidad de zoom (54.55%)
3. Posibilidad de giro e inclinación (54.55%)
4. Conexión por cable a monitor (por ejemplo, un dispositivo tipo Tablet) (54.55%)

Los conductores encuestados eligieron las capacidades mencionadas de entre las mostradas en la siguiente figura, como posibles características de una cámara de visión que cumpla con sus requisitos.



Q8. - ¿De las siguientes funcionalidades o características técnicas de una cámara de visión, escoja las cuatro que considere más útiles para mejorar la “conciencia situacional” del VRCC “Centauro”?

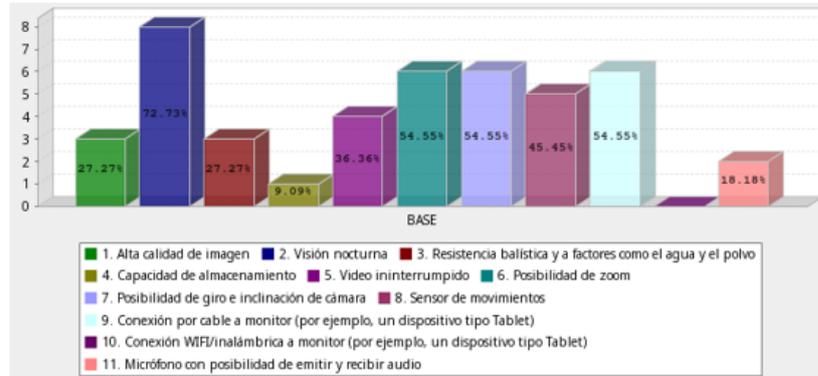


Figura 23: Resultados de la pregunta número ocho de la encuesta a conductores. Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.

4.2.2 Encuesta a jefes de vehículo

La encuesta para los jefes de vehículo del VRCC “Centauro” fue iniciada por 19 individuos y realizada completamente por 13, lo que se traduce en un porcentaje de cumplimentación del 68.42%.

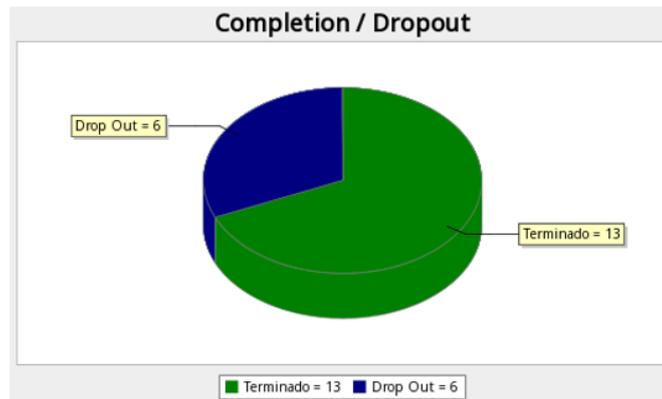


Figura 24: Gráfico circular del número de respuestas en la encuesta de jefes. Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.

La mayoría de jefes de vehículo conoce el “concepto de conciencia situacional” pero reconoce que las capacidades del VRCC “Centauro” en este aspecto son “malas”

El 78.57% de los encuestados está familiarizado con la “conciencia situacional” en vehículos de combate y un 70% considera que las capacidades del “Centauro” en este ámbito son “malas”.



Q3. - ¿Conoce el concepto de "conciencia situacional" en vehículos de combate?

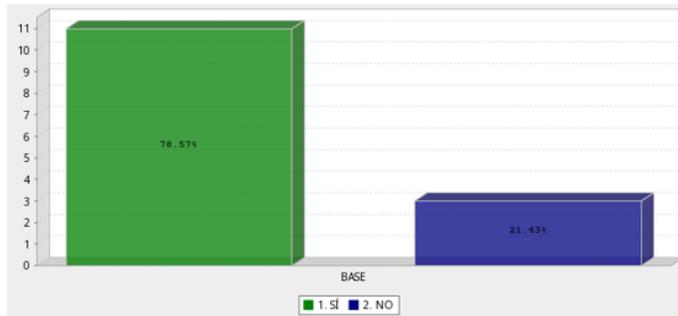


Figura 25: Resultados pregunta número tres de la encuesta a jefes.
Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.

Q4. - Si a la pregunta anterior respondió SÍ, valore a continuación las capacidades de "conciencia situacional" que considera que posee el "Centauro".

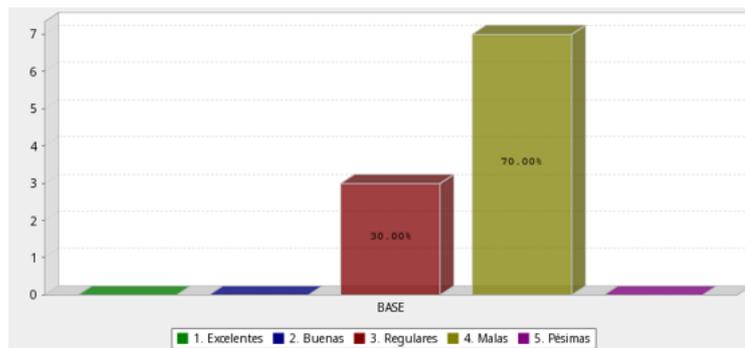


Figura 26: Resultados pregunta número cuatro de la encuesta a jefes.
Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.

El "Centauro" no está capacitado para ser empleado en situaciones de combate en espacios confinados

En torno a un 84% de los jefes de vehículo sostiene que el VRCC "Centauro" está poco o nada capacitado para ser empleado en espacios confinados o zonas urbanizadas.

Q5. - ¿Considera que el VRCC "Centauro" tiene las capacidades y medios necesarios para ser empleado en combate en zonas urbanizadas o espacios confinados?

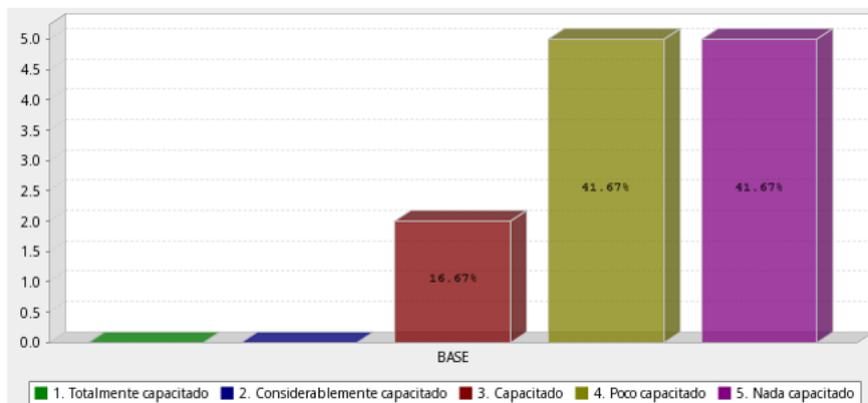


Figura 27: Resultados pregunta número cinco de la encuesta a jefes.
Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.



Las zonas “muertas” de visión más vulnerables del VRCC “Centauro” son la izquierda, la derecha y la trasera.

Un 38.46% de los encuestados opina que las partes derecha, izquierda y trasera son las más peligrosas. Por otro lado, un 23.08% sostiene que la única zona “muerta” vulnerable es la trasera.

Q7. - ¿Qué zona muerta de visión del “Centauro” considera más peligrosa o vulnerable en situaciones de combate?

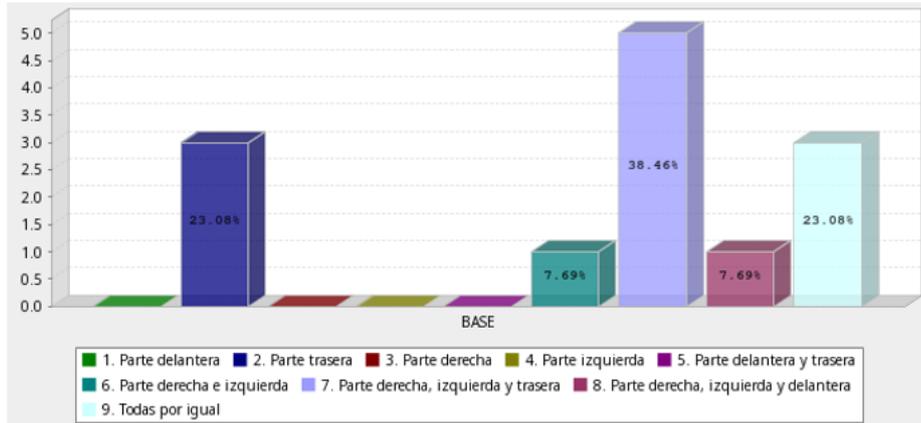


Figura 28: Resultados pregunta número siete de la encuesta a jefes.
Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.

Características ideales de las cámaras de un sistema de visión perimetral para el VRCC “Centauro”:

1. Visión nocturna (84.62%)
2. Posibilidad de giro e inclinación (53.85%)
3. Video ininterrumpido (53.85%)
4. Conexión por cable a monitor (por ejemplo, un dispositivo tipo Tablet) (46.15%)

Q8. - ¿De las siguientes funcionalidades o características técnicas de una cámara de visión, escoja las cuatro que considere más útiles para mejorar la “conciencia situacional” del VRCC “Centauro”?

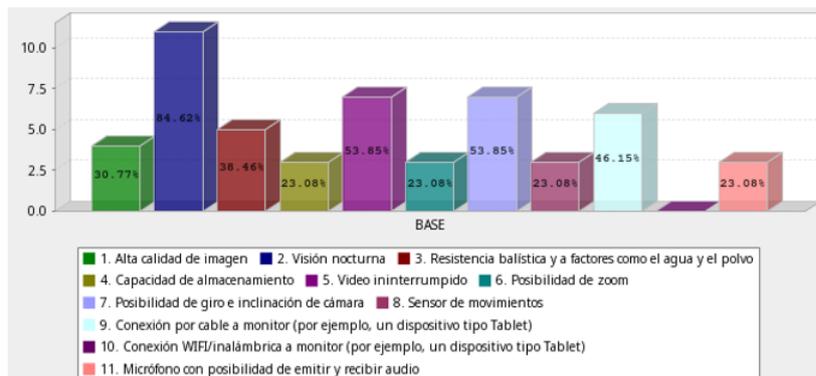


Figura 29: Resultados pregunta número ocho de la encuesta a jefes.
Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.

Un sistema de cámaras de visión perimetral tendría una repercusión notable en la posible sustitución o reducción de personal a pie (elemento de seguridad próxima) del VRCC “Centauro” en combate en espacios confinados



Un 38.46% de los jefes de vehículo considera que un sistema de visión perimetral tendría una repercusión notable en el combate en espacios confinados, y casi un 77% opina que al menos tendría una repercusión positiva en la reducción del personal a pie como elemento de seguridad próxima.

Q11. - ¿Considera que un sistema de cámaras de visión perimetral puede facilitar los cometidos del puesto táctico de conductor en situaciones de combate?

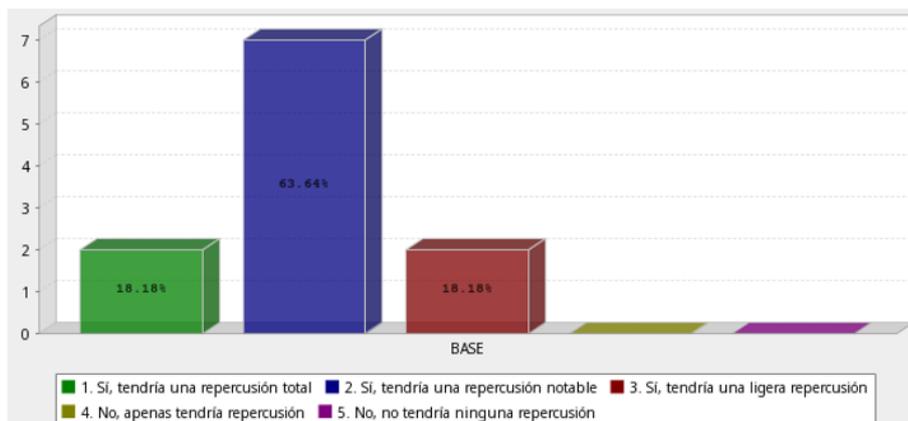


Figura 30: Resultados pregunta número once de la encuesta a jefes.
Fuente: Elaboración propia empleando el software QuestionPro.

4.2.3 Conclusiones generales de las encuestas

Las opiniones comunes y genéricas obtenidas de la realización de las encuestas han sido extraídas a través de los patrones observados en las respuestas tanto de los conductores como de los jefes de vehículo. Las principales consideraciones son:

- Es necesario mejorar las condiciones de visibilidad del VRCC "Centaurus" en sus zonas *muertas* aledañas. Esto se materializa en una "conciencia situacional" escasa o débil.
- Las zonas *muertas* más vulnerables y peligrosas son las partes derecha, izquierda y trasera. Se deduce la necesidad de mejorar la visibilidad en estas áreas.
- El VRCC "Centaurus" no está actualmente capacitado para combatir eficazmente en espacios confinados.
- Un sistema de cámaras de visión perimetral en el "Centaurus" podría reducir el elemento de seguridad a pie en el combate en espacios confinados.
- Las características idóneas y principales para una cámara de un posible sistema de visión perimetral en el VRCC "Centaurus" son: capacidad de visión nocturna, zoom, rotación e inclinación y conexión por cable a un monitor o pantalla.
- Un sistema de cámaras de visión perimetral en el "Centaurus" podría reducir los accidentes y facilitar los movimientos del vehículo en el ámbito rutinario.

4.3 Observación directa y grupo de expertos: Resultados.

La realización de las prácticas externas en el Grupo de Caballería "Reyes Católicos" II de la Legión ha permitido llevar a cabo una serie de actividades de experimentación y observación con el VRCC "Centaurus" con el objeto de extraer conclusiones de utilidad para el desarrollo de este proyecto. De igual forma, el contacto directo con el personal de la unidad ha permitido obtener información y opiniones experimentadas que han sido recogidas para estudiar los siguientes aspectos relativos a un sistema de cámaras de visión perimetral:

- Ubicación óptima de las cámaras de visión alrededor del vehículo.
- Ubicación óptima de los monitores de visualización de las imágenes proporcionadas por las cámaras de visión.



4.3.1 Ubicación de las cámaras de visión

El objetivo principal de esta fase es determinar qué posiciones o partes del VRCC "Centauro" son las más oportunas para intentar cubrir el mayor ángulo de visión de las zonas próximas al vehículo por parte de la tripulación, siendo la situación ideal una cobertura 360°. Para esto, se ha contado con el material proporcionado por el primer y segundo escuadrón del Grupo de Caballería "Reyes Católicos" II de la Legión que a continuación se cita:

- 2 vehículos VRCC "Centauro"
- Conos de señalización
- Cinta aislante
- Cinta de balizaje
- Cámara *GoPro Hero5 Session*

Al material citado se suma un teléfono móvil dispuesto por el autor de este TFG y varios conductores y personal variado del Grupo de Caballería que ha ayudado en la realización de las actividades a continuación detalladas.

Para llevar a cabo este análisis, se colocó el vehículo VRCC "Centauro" en un espacio considerablemente amplio y se realizaron una serie de tomas con las cámaras del teléfono móvil y la GoPro para probar las angulaciones más interesantes y cubrir el perímetro del vehículo. De igual forma, se consultó con miembros del grupo de expertos (subgrupo de perfil generalista) y se estudiaron las partes externas del "Centauro" para conocer cuáles podían ser ubicaciones prohibitivas o imposibles por su función o localización (partes externas de la barcaza del "Centauro" en *Anexo V*). A continuación, se detalla el estudio realizado en cada una de las partes o sectores del vehículo:

Parte trasera

Para la parte trasera se determinaron inicialmente tres posibles ubicaciones para la cámara: Zona A, Zona B y Zona C. Una vez definidas estas zonas, se colocaron los conos a diferentes distancias y se realizaron fotografías para determinar qué ubicación cubría un sector mayor y de forma más eficiente para la seguridad próxima del VRCC "Centauro". Para más detalle, ver tabla comparativa en *Anexo IV*.



*Figura 31: Parte trasera del "Centauro" donde se indican posibles ubicaciones para la cámara.
Fuente: Elaboración propia.*

Finalmente, tras recopilar las opiniones de los expertos de perfil generalista, se ha determinado que la zona más favorable es la A. Esto se debe a que, al estar en una ubicación a mayor altura permite barrer un sector más amplio. Por otro lado, al estar situada justo encima del portón trasero, no se ve afectada por ningún elemento de la barcaza e incluso tampoco se vería perjudicada por el movimiento de la torre. La zona B, en torno al bulón de remolque, tiene como principales inconvenientes su reducido ángulo de visión y la posibilidad de que personal al desembarcar obstruya o golpee el dispositivo en cuestión, con el evidente perjuicio para este.



Por otro lado, la zona C próxima al teléfono exterior, se descarta al mostrar un sector de visión demasiado lateral, creando una pequeña zona *muerta* de visión en el lado opuesto de su ubicación.

En la siguiente imagen se muestra como quedaría una posible cámara ubicada en la zona A, empleando en este caso la cámara GoPro.



Figura 32: Parte trasera del "Centauro" con cámara GoPro acoplada en posición óptima.
Fuente: Elaboración propia.

Lateral izquierdo

Para el lateral izquierdo se determinaron igualmente tres posibles ubicaciones para la cámara: Zona A, Zona B y Zona C. Una vez definidas estas zonas, se ha procedido de forma similar al apartado anterior. Para más detalle, ver tabla comparativa en *Anexo IV*.



Figura 33: Lateral izquierdo del "Centauro" donde se indican posibles ubicaciones para la cámara.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, tras recopilar las opiniones de los expertos de perfil generalista, se ha determinado que la zona más favorable es la C. Al ubicarse una posible cámara acoplada a la caja de almacenaje del equipo de repostaje, esta no se vería afectada por ningún otro elemento de la barcaza y ofrecería imágenes de un sector considerablemente amplio, siendo ligeramente enfocada hacia la zona delantera del vehículo. La zona A se descarta principalmente al ser una ubicación demasiado cercana a la salida de aireación del alojamiento de las baterías y viéndose perjudicada por la colocación del lote zapador del vehículo. Además, esta ubicación implicaría que la cámara sobrepasara ligeramente el gálibo en anchura del "Centauro", circunstancia no recomendable que justifica aún más su descarte. La zona B se rechaza al ofrecer un sector de visión reducido y con poca capacidad de angulación.

En la siguiente imagen se muestra como quedaría una posible cámara ubicada en la zona C, empleando en este caso la cámara GoPro.



Figura 34: Lateral izquierdo del "Centaurus" con cámara GoPro acoplada en posición óptima.
Fuente: Elaboración propia.

Lateral derecho

Para el lateral derecho se determinaron igualmente tres posibles ubicaciones para la cámara: Zona A, Zona B y Zona C. Una vez definidas estas zonas, se ha procedido de forma similar a los apartados anteriores. Para más detalle, ver tabla comparativa en Anexo IV.



Figura 35: Lateral derecho del "Centaurus" donde se indican posibles ubicaciones para la cámara.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, tras recopilar las opiniones de los expertos de perfil generalista, se ha determinado que la zona más favorable es la C. Al ubicarse una posible cámara acoplada al lado de la argolla de izado, esta no se vería afectada por ningún otro elemento de la barcaza y ofrecería imágenes de un sector considerablemente amplio, siendo ligeramente enfocada hacia la zona delantera del vehículo. La zona A se descarta principalmente al ser una ubicación demasiado cercana a la salida de aireación del alojamiento de las baterías y viéndose perjudicada por la colocación del lote zapador del vehículo. Además, esta ubicación implicaría que la cámara sobrepasara ligeramente el gálibo en anchura del "Centaurus", circunstancia no recomendable que justifica su descarte. La zona B se rechaza al ofrecer un sector de visión reducido y con poca capacidad de angulación, y por encontrarse demasiado cerca de la salida de la bomba de achique trasera.

En la siguiente imagen se muestra como quedaría una posible cámara ubicada en la zona C, empleando en este caso la cámara GoPro.



Figura 36: Lateral derecho del "Centaurus" con cámara GoPro acoplada en posición óptima.
Fuente: Elaboración propia.

Parte delantera

A pesar de ser considerado el sector menos vulnerable del VRCC "Centaurus", se ha realizado el mismo análisis en la parte delantera del vehículo para intentar cubrir el mayor sector posible de visibilidad en torno a este.

Para la parte delantera se determinaron igualmente tres posibles ubicaciones para la cámara: Zona A, Zona B y Zona C. Una vez definidas estas zonas, se ha procedido de forma similar a los apartados anteriores. Cabe destacar que las zonas B y C requerirían evidentemente de dos cámaras, una en cada posición señalada, para obtener una imagen centrada. Para más detalle, ver tabla comparativa en *Anexo IV*.

Finalmente, tras recopilar las opiniones de los expertos de perfil generalista, se ha determinado que la zona más favorable es la C. Al ubicarse las cámaras en torno a la cubierta protectora de los faros de luz de carretera, estas estarían considerablemente protegidas de los agentes externos, podrían aprovecharse las conexiones de los faros para conectarse a los monitores, y ofrecen un sector conjunto notablemente amplio. Las zonas A y B se descartan ya que, pese a ofrecer un sector más amplio que la zona C, están demasiado expuestas a factores como el agua, el polvo y el barro al no tener ningún tipo de cobertura y situarse en la parte más frontal del glacis.

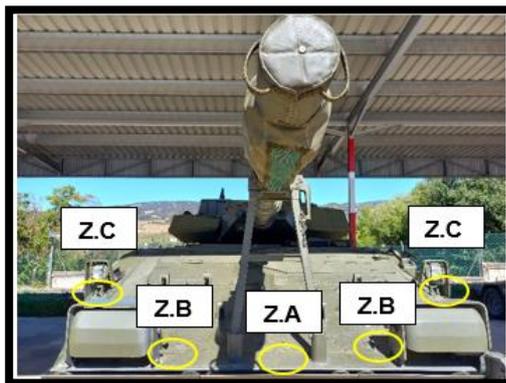


Figura 37: Parte delantera del "Centaurus" donde se indican posibles ubicaciones para la cámara.
Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente imagen se muestra como quedaría una posible cámara ubicada en la zona C, empleando en este caso la cámara GoPro.



Figura 38: Faro de luz delantera izquierda del "Centaurus" con cámara GoPro acoplada en posición óptima. Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Ubicación de los monitores de visualización

Atendiendo a los resultados obtenidos en las encuestas y a las opiniones de los expertos, se ha determinado que los puestos tácticos del VRCC "Centaurus" que deben tener acceso al sistema de cámaras de visión perimetral deben ser: el conductor y el jefe de Vehículo. A continuación, se exponen las ubicaciones óptimas de los posibles monitores, el tipo de monitor en cuestión y sus posibles conexiones.

Monitor del conductor

Tras realizar un análisis de la cámara de conducción, se ha determinado que lo más óptimo sería ubicar el monitor mediante un pequeño soporte plegable acoplado por debajo del periscopio izquierdo y ligeramente colocado encima del panel de instrumentos indicadores. De esta forma, el conductor podría acceder a este en cualquier momento, no perdería excesiva visión del resto de elementos de la cámara de conducción y tendría el monitor considerablemente centrado para tener una conciencia espacial más óptima entre la imagen y su posición en el vehículo.

En cuanto al monitor en cuestión, con el objeto de reducir costes y apostar por material en dotación, se ha considerado el monitor de control VDO implementado en el VERT (MADOC, 2019b). Sería de utilidad aplicar un sistema de conexiones similar a este donde, en el caso de este proyecto y a diferencia del VERT (solo tiene cámara trasera), se conectarían dos cámaras delanteras, dos laterales y una trasera. Sería de igual forma interesante emplear un sistema de cableado de las cámaras delanteras similar al que emplean los faros de luz de carretera. Estas conclusiones fueron extraídas de las opiniones de los expertos de perfil técnico. Para ver el sistema de conexiones del monitor VDO del VERT, puede consultarse el *Anexo VI*.



Figura 39: Ubicación óptima del monitor en la cámara de conducción. Fuente: Elaboración propia.

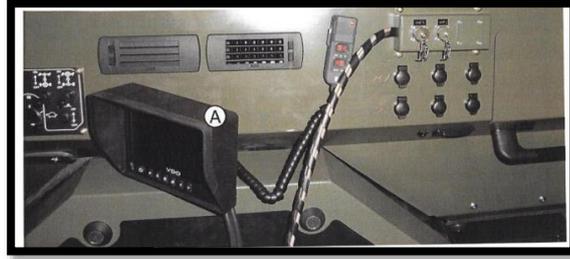


Figura 40: Monitor VDO del VERT. Fuente: Manual del VERT.

Monitor del jefe de vehículo

Dado el poco espacio disponible con el que cuenta el jefe de vehículo en su puesto táctico, se ha determinado que lo más eficiente es aprovechar el terminal BMS de su puesto para tener acceso, a través de este también, a las imágenes proporcionadas por las cámaras del sistema de visión perimetral. El cableado entre las cámaras y el monitor deben pasar por el elemento del sistema eléctrico del VRCC "Centauro" conocido como anillo colector. Este emplea un conjunto de anillos rozantes para permitir las conexiones entre la barcaza y la torre y que estas conexiones no se vean afectadas por el movimiento rotatorio de esta última (MADOC, 2003). Estas conclusiones fueron igualmente extraídas de las opiniones de los expertos de perfil técnico.



Figura 41: Ubicación del terminal del BMS en el puesto del jefe de vehículo. Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Esquema del sistema de cámaras de visión perimetral planteado

La siguiente figura muestra un esquema del sistema de cámaras de visión perimetral planteado para mejorar la visibilidad de las zonas anexas al vehículo VRCC "Centauro" y por ende mejorar su conciencia situacional. Se distinguen los siguientes elementos:

- Planta del VRCC "Centauro" con medidas en milímetros.
- Ubicación de las cámaras marcadas con rectángulos.
 - Cámaras 1 y 2 en color azul: Cámaras delanteras.
 - Cámaras 3 y 4 en color gris: Cámaras laterales.
 - Cámara 5 en color negro: Cámara trasera.
- Ubicación de los monitores marcados con rectángulos.
 - Monitor A en color verde: Monitor del conductor.
 - Monitor B en color verde: Monitor del jefe de vehículo.
- Sector perimetral completo del VRCC "Centauro" en color rojo (6000 milímetros, 6 metros)
- Sectores de visión de las cámaras: Triángulos en color amarillo.

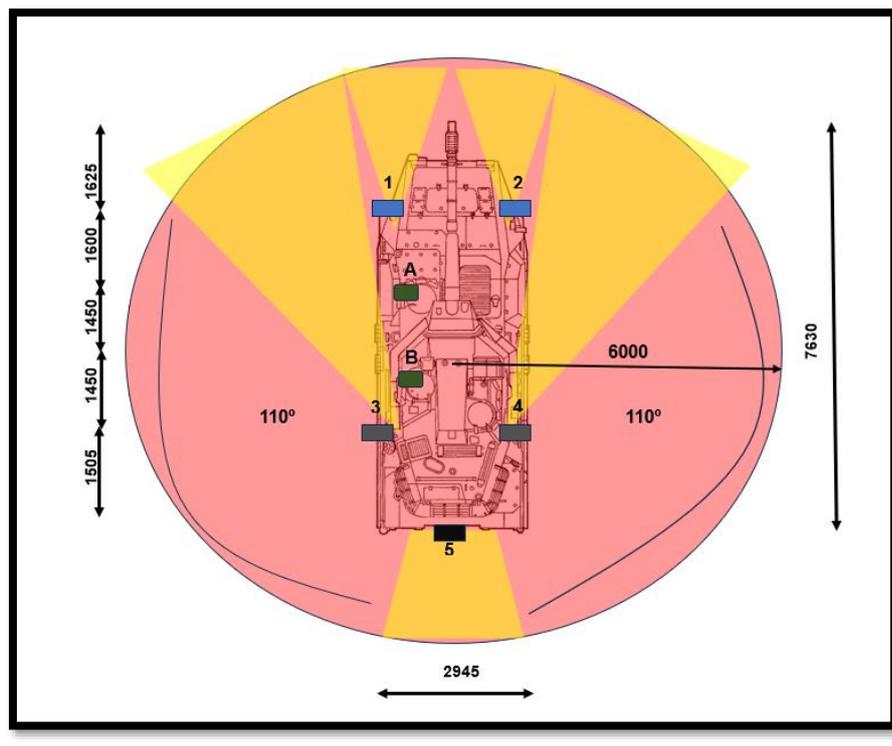


Figura 42: Esquema del sistema de cámaras propuesto. Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, una vez descrito el esquema, puede afirmarse que implementando las cámaras propuestas se podría cubrir un sector de visibilidad de unos 140° . Esto se traduce en una cobertura perimetral de casi el 40%. De esta forma, las zonas muertas del "Centaurus" en un radio de 6 metros ocuparían 220° .

4.4 Despliegue de la Función Calidad QFD (Quality Function Deployment): Resultados.

Una vez recogidas y recopiladas las principales características y requerimientos técnicos de las cámaras que deben constituir el sistema de visión perimetral, se ha empleado el método conocido como "Casa de la Calidad" o QFD. Esto ha permitido acotar estas características y priorizarlas según las necesidades descritas a través de las encuestas y entrevistas realizadas a los miembros del grupo de expertos. Ver plantilla de la "Casa de la Calidad" en *Anexo VII*.

Fase 1. Definición de los "Qué".

Se han considerado las siguientes características:

- Que permita visión nocturna
- Con posibilidad de inclinar y girar la imagen
- Con conexión por cable a dispositivo tipo monitor
- Que permita video de forma ininterrumpida
- Que proporcione una alta calidad de imagen
- Que permita almacenar las imágenes y video
- Que permita emitir y recibir audio

Fase 2. Análisis de los "Qué".

Aplicando la escala del 1 al 5 (5= muy importante, 1=nada importante) se han ponderado los diferentes "Qué". Se ha calificado con una mayor valoración a los siguientes requisitos: proporcionar visión nocturna (5), poder ser conectado a un dispositivo tipo monitor (5), tener



capacidad de inclinación y giro de la imagen proporcionada (4) y proporcionar una alta calidad de imagen (4).

Fase 3. Definición de los "Cómo".

Se han considerado los siguientes requerimientos técnicos:

- Visibilidad infrarroja o similar.
- Lente rotatoria.
- Entradas y conexiones variadas para cableado.
- Voltaje de entre 12-24 V. Tensión eléctrica soportada por el dispositivo y compatible con el sistema eléctrico del VRCC "Centauro" (24V). Se considera aceptable un voltaje de 12V debido a que, aunque se requeriría un convertidor, es muy común en gran cantidad de dispositivos.
- Dispositivo de grabación y monitorización.
- Resolución del monitor.
- Memoria interna.
- Micrófono dual (emisión y recepción).

Fase 4. Análisis de los "Cómo": Dirección de mejora.

Se ha considerado la regla "más es mejor" en los siguientes "Cómo":

- Visibilidad infrarroja o similar (más visibilidad)
- Lente rotatoria (mayor capacidad de angulación)
- Entradas y conexiones variadas para cableado (más entradas)
- Resolución del monitor (mayor resolución)
- Memoria interna (mayor capacidad)

Fase 5. Relación entre los "Cómo": Matriz de correlación.

Se han aplicado los siguientes razonamientos:

- Tener posibilidad de soportar un voltaje de 12-24V está relacionado y afecta positivamente a la necesidad de contar con entradas y conexiones variadas para el cableado.
- Contar con una memoria interna está relacionado y afecta muy positivamente a la capacidad de grabar y monitorizar.

Fase 6. Relación entre los "Qué" y "Cómo": Matriz de relaciones.

Se ha considerado la siguiente escala para analizar la repercusión entre cada "Qué" y cada "Cómo":

- Relación fuerte: *Strong Relationship*
- Relación moderada: *Moderate Relationship*
- Relación débil: *Weak Relationship*
- Sin relación notable

Fase 7. Evaluación competitiva de mercado.

Se ha decidido no realizar esta fase del método ya que el sistema a implementar no cuenta actualmente con una competencia real en el marco del Ejército de Tierra español. Esto se traduce en que, como se ha explicado anteriormente, existen vehículos con cámaras de visión trasera, pero su finalidad está enfocada principalmente a factores como la ayuda a la conducción y no al amplio concepto de la "conciencia situacional". Además, al estar el sistema de este proyecto constituido por cámaras civiles, no se considera equiparable a sistemas desarrollados por las industrias de Defensa internacionales. La decisión de no realizar esta parte del proceso no altera los resultados ni el objetivo de determinar las características consideradas como fundamentales para el sistema de visión perimetral del "Centauro".



Fases 8 y 9. Estrategia y Evaluación.

Los cálculos derivados de estas fases son realizados automáticamente por el software de *QFD Online*. Los resultados y conclusiones serán analizados más adelante.

Fase 10. Objetivo técnico y Dificultad objetivo.

Para la definición del "Objetivo técnico" se han empleado valores medios y magnitudes relativamente asequibles, dada la disponibilidad en el mercado. Por ejemplo, el valor mínimo establecido para la resolución de la imagen proporcionada es de 300 ppp (puntos por pulgada).

De igual forma, se han considerado como requerimientos más complicados de alcanzar los siguientes que se citan:

- Micrófono dual (emisión y recepción)
- Dispositivo de grabación y monitorización
- Lente rotatoria
- Memoria interna

Una vez finalizado el método, y atendiendo a los valores resultantes de la ponderaciones absoluta y relativa, se considera que los requerimientos más importantes a tener en cuenta para las cámaras que conforman el sistema son:

- Visión nocturna
- Entradas y conexiones variadas para cableado
- Resolución del monitor
- Lente rotatoria

Las cámaras y dispositivos de grabación propuestos y analizados a partir de este punto cumplirán al menos tres de los cuatro requisitos mencionados superando el valor límite establecido.

4.5 Método de jerarquización analítica AHP/Analytic Hierarchy Process: Resultados.

El método AHP ha permitido seleccionar de entre tres alternativas o cámaras de visión, aquella que mejor se adapta y cumple con los requisitos y características previamente definidas. A continuación, se detalla cómo se ha procedido en cada una de las partes o fases en las que se divide esta metodología.

Fase 1. Formulación del problema.

Se han considerado tres cámaras de visión disponibles en el mercado civil como alternativas posibles para el sistema de visión perimetral del "Centaurus". Para su elección, se han tenido en cuenta las características y funcionalidades prioritarias derivadas de métodos anteriores. Las alternativas han sido:

Alternativa A. Cámara marca PODOFO

Alternativa B. Cámara marca LAMPA

Alternativa C. Cámara marca OBEST.

Para consultar las características técnicas de las cámaras citadas en detalle, ver *Anexo IX*.

A continuación, se describen los criterios y subcriterios establecidos a partir de las opiniones recabadas de los miembros del grupo de expertos y las actividades de observación directa descritas en apartados anteriores.

Criterio 1. Funcionalidades: Características y capacidades básicas que deben ofrecer cada una de las alternativas propuestas. Subcriterios:

1.1 Visión nocturna: Capacidad para ver en situaciones de iluminación deficiente.



1.2 Calidad de imagen: Resolución de la imagen digital proporcionada por el sistema.

1.3 Grado de rotación e inclinación: Capacidad para modificar el ángulo de visión y enfoque de las cámaras analizadas.

Criterio 2. Características: Propiedades físicas cuantificables de cada una de las alternativas propuestas. Subcriterios:

2.1 Dimensiones: Espacio medible ocupado por las cámaras analizadas.

2.2 Adaptabilidad: Capacidad de las cámaras analizadas para adecuarse e integrarse en el VRCC "Centauro" (por ejemplo, que las cámaras tengan una forma adecuada para acoplarse a la barcaza del vehículo).

2.3 Resistencia a agentes externos: Respuesta de las cámaras analizadas ante agresiones como el viento, el agua y el polvo.

Criterio 3. Adquisición: Aspectos relacionados con la obtención por parte del Ejército de Tierra de cada una de las alternativas propuestas. Subcriterios:

3.1 Coste: Precio de las cámaras analizadas.

3.2 Proveedor: Aspectos como la disponibilidad de las cámaras, la reputación de las empresas que las ofrecen y la capacidad del Ejército de Tierra para adquirirlas.

El árbol de jerarquías que resumen y representa de forma gráfica los elementos seleccionados se encuentra en el *Anexo VIII*.

Fase 2. Evaluación de los criterios.

Para establecer la ponderación de los criterios, se realizaron entrevistas a cada uno de los miembros del grupo de expertos. Estos rellenaron el cuestionario de preguntas disponible en el *Anexo VIII*, basado en la escala fundamental de preferencias por pares de Saaty explicada en el segundo apartado de esta memoria. Una vez recopiladas las ponderaciones, se obtuvo la siguiente matriz de evaluación de criterios.

	Funcionalidades	Características	Ad	
Funcionalidades	1	5	9	Ψ 0
Características	0,2	1	3	O 0,511
Adquisición	0,111	0,333	1	L 0
				CR 0,025
				CM 0,4

Figura 43: Matriz de evaluación de criterios del método AHP.
Fuente: Elaboración propia empleando el software PriEst.

vector	method
0,751	EV
0,178	
0,07	

Figura 44: Ponderaciones de los criterios obtenidos en el método AHP.
Fuente: Elaboración propia empleando el software PriEst.

Como se comentó anteriormente, se han considerado consistentes aquellas valoraciones con una razón de inconsistencia RI o CR inferior al 10%. En el caso de la matriz de evaluación de criterios, la razón tiene un valor aceptable de 0,025.



Como puede apreciarse, el criterio más valorado ha sido las "Funcionalidades" de las cámaras con una ponderación de 0,751. A este le suceden las "Características" (0,178) y el criterio "Adquisición" (0,07).

Para los subcriterios se ha procedido de igual forma, pero en este caso se aplicó el cuestionario correspondiente, también reflejado en el *Anexo VIII*. A continuación, se muestra la matriz de evaluación de los subcriterios correspondientes al criterio "Funcionalidades".

	Visión nocturna	Calidad de imagen	
Visión nocturna		3	Ψ 0
Calidad de imagen	0,333		Θ 0,511
Grado de rotación	0,2	1	L 0
			CR 0,025
			CM 0,4

Figura 45: Matriz de evaluación de subcriterios correspondiente al criterio "Funcionalidades". Fuente: Elaboración propia empleando el software Priest.

Judgments		Preferences	
Show results for:	<input type="radio"/> Options	<input checked="" type="radio"/> Sub-Criteria	Elicit
vector			method
0,659	0,185	0,156	EV

Figura 46: Ponderaciones de los subcriterios correspondientes al criterio "Funcionalidades". Fuente: Elaboración propia empleando el software PriEst.

Como resultado, han obtenido mayor valoración los siguientes subcriterios:

- Funcionalidades: Visión nocturna (0,659)
- Características: Resistencia a agentes externos (0,747)
- Adquisición: Proveedor (0,875)

Fase 3. Evaluación de las alternativas

Para facilitar la comparación de las alternativas según cada uno de los subcriterios establecidos, además del cuestionario disponible en el *Anexo VIII*, se empleó una tabla comparativa de las tres cámaras que resume las características y funcionalidades básicas de los modelos analizados (*Anexo IX*). Como resultado se obtuvieron nueve matrices de evaluación de alternativas. Para facilitar la comprensión, se van a proceder a explicar tres tablas correspondientes a un subcriterio de cada criterio.

- Criterio Funcionalidades. Subcriterio Visión Nocturna: En base a este subcriterio, han obtenido mayor valoración los modelos de PODOFO y OBEST. Esto se debe a que ofrecen una tecnología de visión nocturna conocida como *StarLight*, considerada más novedosa y avanzada que la clásica visión infrarroja (IR).
- Criterio Características. Subcriterio Resistencia a agentes externos: En base a este subcriterio, ha obtenido mayor valoración el modelo LAMPA, pues es resistente a un mayor número de factores y a un intervalo de temperaturas extremas considerable en comparación con los otros dos modelos.
- Criterio Adquisición. Subcriterio Coste: En base a este subcriterio, se han priorizado las alternativas según su coste medio en el mercado. El modelo que presenta un precio más asequible corresponde a la marca OBEST.

A continuación, se muestra la matriz de evaluación de alternativas respecto al subcriterio "Resistencia a agentes externos". Para consultar el resto de matrices, están disponibles en el *Anexo VIII*



	PODOFO	LAMPA	OBEST
PODOFO		0,111	0,333
LAMPA	9		5
OBEST	3	0,2	

Ψ 0

Θ 0,511

L 0

CR 0,025

CM 0,4

Figura 47: Matriz de evaluación alternativas respecto al subcriterio "Resistencia a agentes externos". Fuente: Elaboración propia empleando el software PriEst.

vector	method
0,751	EV
0,178	
0,07	

Figura 48: Ponderaciones de las alternativas respecto al subcriterio "Resistencia a agentes externos". Fuente: Elaboración propia empleando el software PriEst.

Fase4. Jerarquización

En la última fase, se obtiene como producto una matriz de decisión. En esta puede observarse, a modo de resumen, los criterios y subcriterios (fase 1), las ponderaciones asignadas a cada uno de los anteriores (fase 2) y finalmente las valoraciones de las alternativas según cada uno de los criterios y subcriterios (fase 3).

Para materializar la jerarquización se debe realizar la multiplicación de los pesos de cada criterio por el peso de la alternativa para ese criterio y posteriormente sumar los diferentes valores. Estos resultados aparecen en la matriz indicados en color naranja y en negrita. Para facilitar la comprensión de este cálculo matemático, a continuación, se detalla como ejemplo la operación para determinar la ponderación final de la alternativa PODOFO:

- Alternativa PODOFO: $(0,75 \times 0,41) + (0,18 \times 0,09) + (0,07 \times 0,07) = 0,33$

Tabla 2: Matriz de decisión del método AHP. Fuente: Elaboración propia.

Criterios y Subcriterios	Ponderaciones o Pesos	Alternativas		
		PODOFO	LAMPA	OBEST
Funcionalidades	0,75	0,41	0,08	0,50
- Visión nocturna	0,66	0,45	0,09	0,45
- Calidad de imagen	0,19	0,47	0,07	0,47
- Grado de rotación e inclinación	0,16	0,18	0,07	0,75
Características	0,18	0,09	0,6	0,32
- Dimensiones	0,12	0,18	0,07	0,75
- Adaptabilidad	0,13	0,09	0,24	0,67
- Resistencia a agentes externos	0,75	0,07	0,75	0,18
Adquisición	0,07	0,07	0,34	0,59
- Coste	0,88	0,07	0,28	0,65
- Proveedor	0,13	0,07	0,79	0,15
		0,33	0,22	0,45

La alternativa que ha obtenido una mayor valoración según la metodología aplicada es la cámara de la marca OBEST (0,45).



Conclusiones del método de jerarquización analítica AHP

- El criterio más determinante, y que ha obtenido una mayor valoración, ha sido "Funcionalidades" con una notable ventaja respecto al resto (0,751).
- Los subcriterios que han obtenido una mayor valoración son: "Visión nocturna", "Resistencia a agentes externos" y "Proveedor".
- La alternativa más valorada ha sido OBEST (0,45), seguida de PODOFO (0,33) y LAMPA (0,22).
- La alternativa más valorada OBEST ha obtenido las ponderaciones más altas en cada uno de los criterios, siendo de especial importancia su notable superioridad en el criterio "Funcionalidades".

4.6 Análisis de sensibilidad: Resultados.

Mediante el empleo del software PriEst, se ha obtenido la siguiente gráfica que muestra los resultados obtenidos en el apartado anterior del método AHP de forma visual.

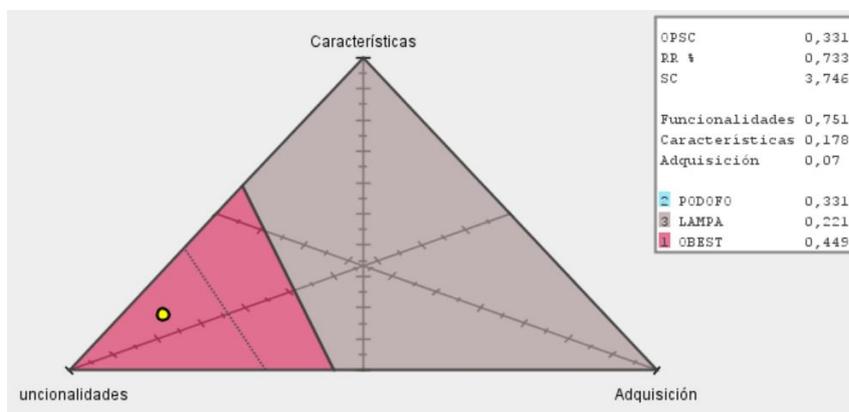


Figura 49: Gráfica de resultados del método AHP.
Fuente: Elaboración propia empleando el software PriEst.

El punto amarillo señala las ponderaciones de la alternativa más valorada (OBEST, 0,449). Aplicando las herramientas de análisis de sensibilidad, se ha estudiado como puede variar la alternativa más óptima modificando el peso de los criterios y subcriterios previamente establecidos.

Análisis 1. Modificación del peso de los criterios.

En este primer análisis se han modificado el valor de los criterios. Los nuevos valores son:

- Funcionalidades: 0,488 (reducción de un 26.3%)
- Características: 0,256 (aumento de un 7.8%)
- Adquisición: 0,255 (aumento de un 18.5%)

Estos nuevos valores (punto verde de la gráfica) modifican el resultado final de forma determinante y provocan que sea indistinto elegir entre las cámaras LAMPA y PODOFO, ya que ambas opciones obtienen una ponderación similar (en torno al 0,38). En este caso, ambas alternativas podrían considerarse óptimas y aceptables.

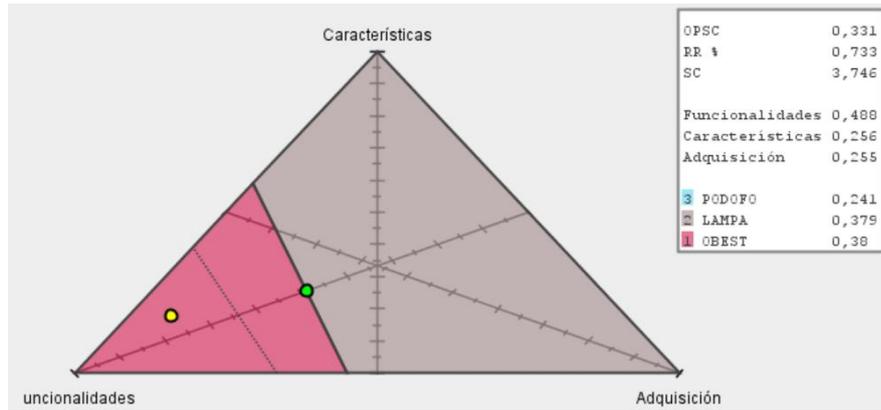


Figura 50: Resultados análisis de sensibilidad modificando el peso de criterios.
Fuente: Elaboración propia empleando el software PriEst.

Análisis 2. Modificación del criterio con mayor valoración

En este análisis se ha estudiado cómo varía la mejor alternativa si se modifica el criterio considerado como más valorado llevándolo a un valor considerablemente elevado para aumentar el contraste entre las alternativas. Concretamente, se ha modificado el criterio "Funcionalidades" por el de "Características" como el más ponderado y se le ha dado una ponderación cercana a 0,9 (punto verde en la gráfica).

Estos nuevos valores modifican la mejor alternativa, siendo ahora el modelo LAMPA el más óptimo con una ponderación de 0,58. Le sucede el modelo de OBEST y finalmente el ofrecido por PODOFO.

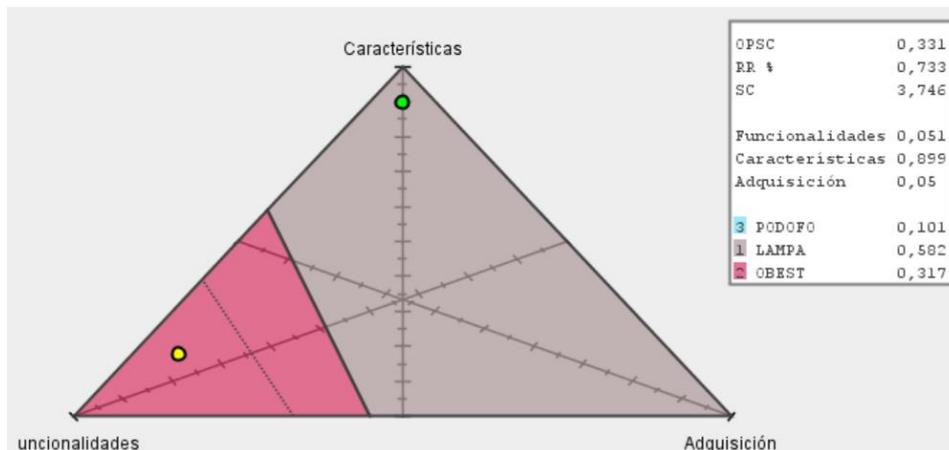


Figura 51: Resultado análisis de sensibilidad según el criterio con mayor valoración.
Fuente: Elaboración propia empleando el software PriEst.



5 CONCLUSIONES

La realización de este Trabajo de Fin de Grado ha permitido constatar la necesidad imperante de actualizar las capacidades del VRCC "Centaurus" en cuanto a "conciencia situacional" se refiere. El vehículo debe mejorar su visibilidad en sus zonas aledañas y tener un control mayor del entorno que le rodea para adaptarse a situaciones de combate en espacios de tamaño cada vez más reducido y que requiere el empleo de personal a pie. Actualmente, existen una serie de zonas *muertas* de visibilidad que suponen un riesgo real para la supervivencia de la tripulación.

Para tratar de paliar esta situación, este proyecto propone un sistema de visión perimetral para el "Centaurus" compuesto principalmente por cámaras y monitores de visualización. Además de mejorar la "conciencia situacional", permitiría reducir accidentes, facilitar los movimientos rutinarios del vehículo y reducir ligeramente el elemento de seguridad a pie en situaciones de combate en espacios confinados.

El sistema propuesto estaría constituido por un total de cinco cámaras (dos en la parte frontal, dos en los laterales y una en la parte trasera) y dos monitores, a los que tendrían acceso los puestos del conductor y del jefe de vehículo. El diseño permitiría una cobertura perimetral del 40% y reduciría las zonas no visibles a un sector total de 220° en un radio de seis metros alrededor del vehículo. A pesar de no alcanzar la cobertura plena, ofrecería una visión notable de sus inmediaciones.

La metodología aplicada y sus resultados han permitido determinar las características y requerimientos técnicos ideales de las cámaras que conformarían el sistema. Estas son:

- Capacidad de visión nocturna para operar en ambientes de iluminación deficiente.
- Contar con suficientes entradas y conexiones para el cableado que permitan conectar el sistema eficientemente, especialmente las cámaras con los monitores.
- Ofrecer una resolución de imagen de alta calidad.
- Capacidad de modificar el ángulo de visión mediante algún tipo de lente rotatoria.

Finalmente, se propone de igual forma un modelo concreto de cámara que cumple con los requisitos adquiridos para conformar el sistema propuesto. Este es ofrecido por la marca de dispositivos OBEST y se postula como la mejor alternativa propuesta dadas su alta valoración en cuanto a funcionalidades se refiere. La metodología ha permitido dictaminar que criterios de decisión como las características físicas de la cámara y los aspectos de adquisición de esta, no son tan importantes. Cabe mencionar que las necesidades y preferencias del personal experto están sujetas siempre a modificaciones, lo que implicaría cambios en las alternativas y variar el resultado del modelo considerado como más óptimo y eficaz.

Aunque el sistema planteado emplea únicamente dispositivos provenientes del mercado civil, el desarrollo de este proyecto podría servir como precedente para el desarrollo de un sistema que permitiera la cobertura 360° del perímetro del VRCC "Centaurus" por parte de la industria de Defensa nacional. Además, puede remarcar la necesidad de modernizar capacidades de "conciencia situacional" y ser referencia para el diseño de otros sistemas similares en el resto de vehículos en dotación de las unidades del Ejército de Tierra.



6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Academia de Caballería (2022). *La Organización de la Caballería*. Departamento de Ciencia Militar.

Academia General Militar (2022a). *Asignatura 4º Curso «Sistemas de Armas de Caballería I» (AGM-TM-401)*. Departamento de Técnica Militar ed.

Academia General Militar (2022b). *Combate en Zonas Urbanizadas. Asignatura 4º Curso «El Combate de la Caballería»*.

Bae Systems. (2023). BattleView 360. *Bae Systems Web Page*. Disponible en: <https://www.baesystems.com/en/feature/cutting-edge-technology-so-soldiers-can-see-through-vehicles> [Accedido: 6 agosto 2023].

Carrasco, B. (2021). Escribano presenta las nuevas cámaras de conducción del vehículo Pizarro del Ejército español. *InfoDefensa.com*. 27 septiembre. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3209699/escribano-presenta-nuevas-camaras-conduccion-vehiculo-pizarro-ejercito-espanol> [Accedido: 6 agosto 2023].

Coats, C. (2022). *Soldiers test integrated augmented reality tech with Stryker vehicles*. Disponible en: https://www.army.mil/article/259714/soldiers_test_integrated_augmented_reality_tech_with_stryker_vehicles [Accedido: 6 agosto 2023].

Ejército de Tierra. (2019). *Sistema Iron Vision*. Disponible en: https://ejercito.defensa.gob.es/estructura/briex_2035/male/sistema_iron_vision.html [Accedido: 6 agosto 2023].

Elbit Systems. (2023). *IronVision*. Disponible en: <https://elbitsystems.com/product/ironvision/> [Accedido: 6 agosto 2023].

Escribano Mechanical & Engineering. (2023). *VTC-DUAL*. Disponible en: <https://www.emes.com/driving-cameras/?lang=es> [Accedido: 6 agosto 2023].

Grupo Edefa SA. (2019). *El Ejército de Tierra evalúa el sistema Iron Vision en un Pizarro*. Disponible en: <https://www.defensa.com/espana/ejercito-tierra-evalua-sistema-iron-vision-pizarro> [Accedido: 6 agosto 2023].

Guest, T. (2022). All-Seeing Situational Awareness. *European Security and Defence*. 6 febrero. Disponible en: <https://euro-sd.com/2022/02/articles/exclusive/25211/all-seeing-situational-awareness/> [Accedido: 27 julio 2023].

Hensoldt. (2023). *SETAS - See Through Armour System*. Disponible en: <https://www.hensoldt.net/products/optronics/setas-see-through-armour-system-for-armoured-vehicles/> [Accedido: 6 agosto 2023].

Hurtado, T. y Bruno, G. (2005). El Proceso de análisis jerárquico (AHP). En: *El Proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores: aplicación en la selección del proveedor para la Empresa Gráfica Comercial MyE S.R.L.* Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas. Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/monografias/basic/toskano_hg/toskano_hg.htm [Accedido: 16 agosto 2023].

Indra Systems. (2023). *Sistema de misión de Indra en VCR 8x8*. Disponible en: <https://www.indracompany.com/es/platforms> [Accedido: 6 agosto 2023].

Infodefensa. (2022). Los blindados Centauro y los vehículos Vamtac, bases del renovado Regimiento de Caballería España del Ejército de Tierra. *La Razón*. Disponible en:



<https://www.larazon.es/espana/20221206/4ioxbvwtqfblgdgk5d7e6brgvcy.html#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%20las%20unidades,un%20ca%C3%B1%C3%B3n%20de%20105%20mm.>
[Accedido: 27 julio 2023].

Jimeno, J. (2012). *Despliegue de la función calidad (QFD): Guía de uso. Para qué sirve el QFD y cómo realizarlo*. Disponible en: <https://www.pdcahome.com/1932/qfd-despliegue-calidad/>
[Accedido: 26 septiembre 2023].

MADOC. (2003). *MANUAL TÉCNICO VEHÍCULO DE RECONOCIMIENTO Y COMBATE (VRC-105) «CENTAURO» MANUAL DE TRIPULACIÓN. (MT6-035)*. Ejército de Tierra ed.

MADOC. (2008). *Carro de Combate LEOPARDO 2 E Manual de Tripulación y Mantenimiento de 1er Escalón. (MT6-049)*. Ejército de Tierra ed.

MADOC. (2011). *Empleo de las Fuerzas Terrestres (PD1-001)*. Ejército de Tierra.

MADOC. (2015). *Tripulación del VRCC «Centaurus» (MI-201)*. Ejército de Tierra.

MADOC. (2019a). *Empleo de las Pequeñas Unidades de Caballería: Los Grupos (PD4-200)*. Ejército de Tierra.

MADOC. (2019b). *Vehículo VAMTAC ST5 VERT Manual de Operador y Mantenimiento Primer Escalón. (MT-204)*. Ejército de Tierra ed.

MADOC. (2020). *Vehículo de Exploración y Reconocimiento Terrestre. (MI-208)*. Ejército de Tierra.

Martins, J. (2022). *Diagrama de Gantt*. Disponible en: <https://asana.com/es/resources/gantt-chart-basics> [Accedido: 16 agosto 2023].

Ruiz López, C. (2023). *Manual de Usuario del Programa Ayuda a la Decisión AHP*. Zaragoza: Centro Universitario de la Defensa (CUD).

Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.

Saaty, T.L. (1994). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory With the Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications.

Sancho, J., Jiménez, R., Pascual, J., Torralba, M. y Cajal, C. (2021). *Planificación de la Calidad*. En: *Asignatura Centro Universitario de la Defensa (CUD). Calidad*. Zaragoza: CUD.

Sancho Val, J. y Torralba García, M. (2023). *Gestión de la Integración. Asignatura Oficina de Proyectos*.

Sullivan, M. (1996). *Trigonometry*. 1.ª ed. Hall, P. ed.

Yepes Piqueras, V. (2016). *QFD: Despliegue de la Función Calidad*. *Universidad Politécnica de Valencia*. 26 octubre. Disponible en: victoryepes.blogs.upv.es/ Buscar: [Accedido: 26 septiembre 2023].

Yepes Piqueras, V. (2018). *Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)*. *Universidad Politécnica de Valencia*. 27 noviembre. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/> [Accedido: 16 agosto 2023].



7 ANEXOS



ANEXO I

ELEMENTOS DE OBSERVACIÓN Y PUNTERÍA DEL VRCC "CENTAURO"

JEFE DE VEHÍCULO	
<i>1 periscopio panorámico con estabilización independiente (PERI)</i>	
Capacidad	Día/noche (IL)
Campo de visión cenital	De -10° a $+60^{\circ}$
Tipo de visión	Binocular
Aumentos	2,5x o 10x
Amplitud de campo en 2,5x	20°
Amplitud de campo en 10x	5°
Sistema de limpieza	Limpiaparabrisas
1 monitor repetidor de la cámara térmica	
4 Periscopios de visión panorámica:	
Campo de visión	$>180^{\circ}$ desde 4,6 m
Filtro láser para emisiones de	1.064 nm
TIRADOR	
<i>1 periscopio con estabilización independiente (PT)</i>	
Capacidad	Día/noche (CT)
Campo de visión cenital	De -6° a $+15^{\circ}$
Tipo de visión	Monocular
Rango del telémetro láser	De 250 m. a 10.000 m
Precisión del telémetro láser	± 10 m
<i>1 telescopio auxiliar de puntería:</i>	
Estadías para puntería	MG-HEAT-APFSDS-ROMP
CARGADOR	
<i>5 periscopios de visión panorámica</i>	
Campo de visión	$>150^{\circ}$ desde 4,6 m
Filtro láser	Para emisiones de 1.064 nm
CONDUCTOR	
<i>3 periscopios de conducción diurna:</i>	
Sistema de limpieza	Con agua y aire a presión
1 gafas de visión nocturna	



ANEXO II

METODOLOGÍA APLICADA EN LA PLANIFICACIÓN TEMPORAL



PROJECT CHARTER

ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO (PROJECT CHARTER)			
			
Título:	Implementación de un sistema de cámaras de visión perimetral en el VRCC "Centaurus" del Ejército de Tierra	Fecha:	28/06/2023
Project Manager:	Enrique EliceGUI Bonill	Lugar:	Ronda (Málaga)
Recursos personal:	<ul style="list-style-type: none"> - Investigación, estudio y realización de la memoria del proyecto (Enrique EliceGUI Bonill) - Apoyo logístico y asesoramiento (personal del Grupo de Caballería "Reyes Católicos II" de la Legión) 		
Equipo de proyecto:	Enrique EliceGUI Bonill (Jefe de Proyecto)		
Stakeholders:	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo de Caballería "Reyes Católicos II" de la Legión - Regimiento de Caballería "España" 11 - Regimiento de Caballería "Farnesio" 12 - Regimiento de Caballería "Lusitania" 8 - Academia General Militar (AGM) - Academia de Caballería (ACAB) - Empresa Escribano Mechanical & Engineering - Mando de Adiestramiento y Doctrina (MADOC) - Inspección General del Ejército de Tierra (IGE) - Ejército de Tierra (ET) - Ministerio de Defensa (MINISDEF) 		
Descripción general del proyecto:			
<ul style="list-style-type: none"> - Proyecto: Implementación de un sistema de cámaras de visión perimetral y acoplable en el vehículo VRCC "Centaurus" del Ejército de Tierra. - Misión: Alcanzar una solución factible a los problemas de visibilidad en las proximidades que sufre el "Centaurus" en situaciones de combate en espacios confinados y en otras acciones diarias y rutinarias, como movimientos en base o aparcamientos. Esto permitirá a la tripulación mejorar la seguridad inmediata, la alerta temprana y, en definitiva, mejorar el concepto de "conciencia situacional" en el campo de batalla. - Visión: Servir como precedente para un posible futuro desarrollo, más sofisticado, por parte de la industria de defensa española y como actualización de las capacidades de un "Centaurus" que amenaza con quedar progresivamente obsoleto respecto a otros vehículos similares de países de la OTAN. 			
Business case:			
<ul style="list-style-type: none"> - Motivo de desarrollo de Proyecto La visibilidad que ofrece el VRCC "Centaurus" de sus zonas aledañas en situaciones de combate, especialmente en espacios confinados, es bastante limitada. Esto puede suponer una gran amenaza para la supervivencia de la tripulación en este tipo de situaciones y demuestra que el VRCC "Centaurus" necesita modernizar sus capacidades para adaptarse a las actuales tendencias y características del combate. Concretamente, esta actualización permitirá mejorar el concepto conocido como "conciencia situacional" de un vehículo, que permite a su tripulación conocer que está ocurriendo en su entorno más inmediato y actuar de forma más eficiente a las posibles amenazas. - Rentabilidad social El desarrollo del proyecto, además de la ya comentada mejora de la supervivencia del "Centaurus", permitirá a las unidades de Caballería del Ejército de Tierra adquirir unas capacidades de "conciencia situacional" a la vanguardia en el conjunto de los países de la OTAN y podrá servir como precedente para otro tipo de desarrollos similares en vehículos ya sean futuros o actualmente en dotación en las unidades. - Posicionamiento en el mercado Los principales países que han implantado sistemas para mejorar la "conciencia situacional" en sus medios de combate son: Estados Unidos, Reino Unido, Alemania e Israel. Empresas y corporaciones como Bae Systems, Hensoldt, Elbit Systems e incluso Microsoft han diseñado dispositivos de reconocida calidad y a la vanguardia en la industria de defensa internacional. De igual forma, empresas como Indra y Escribano Mechanical & Engineering han implementado sistemas propios en vehículos del Ejército de Tierra de España que se han consolidado como punto de partida para futuros desarrollos. 			
Objetivos y requisitos del proyecto:			
<ul style="list-style-type: none"> - Objetivo principal: Determinar de entre varias posibles cámaras de visión perimetral y diferentes configuraciones, aquella que mejor se adapte a las necesidades del VRCC "Centaurus". - Objetivos secundarios: <ol style="list-style-type: none"> 1. Conocer las principales amenazas que supone una "conciencia situacional" débil por parte de un vehículo de combate. 2. Describir las capacidades y limitaciones del VRCC "Centaurus" en lo que a "conciencia situacional" se refiere. 3. Analizar y estudiar las prioridades y lecciones aprendidas por parte de tripulaciones de VRCC "Centaurus" del Grupo de Caballería "Reyes Católicos II" de la Legión. 4. Determinar la ubicación óptima de las cámaras de visión alrededor del vehículo para el sistema que se propone. 5. Determinar la ubicación óptima de los monitores de visualización de imágenes ofrecidas por las cámaras y establecer los puestos tácticos que deben tener acceso a estas. 6. Analizar y comparar posibles modelos y alternativas de cámaras que conformen el sistema. 7. Determinar un modelo de cámara que se ajuste a las características y requerimientos técnicos definidos mediante la metodología. - Requisitos: Ante la dificultad e imposibilidad de llevar a cabo un análisis real con productos de empresas tanto nacionales como extranjeras del ámbito de defensa, sólo se analizarán dispositivos que provengan del mercado civil. 			

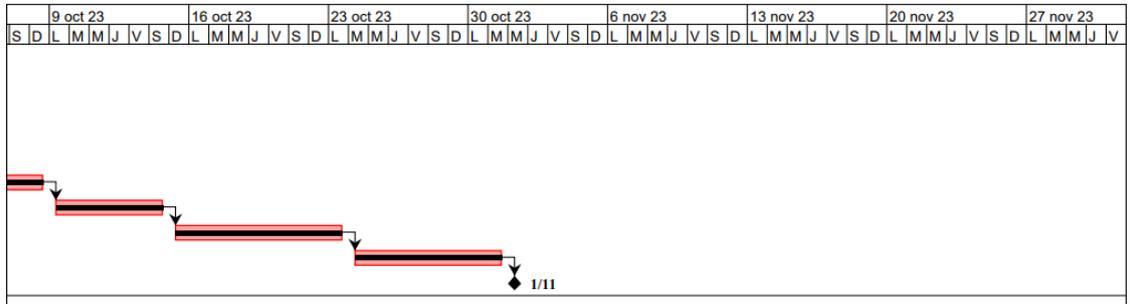
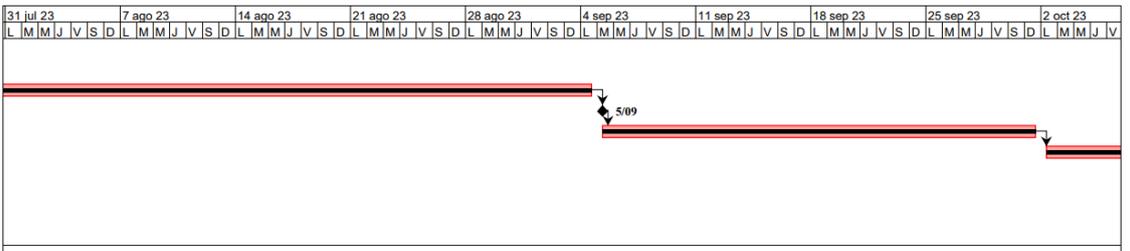
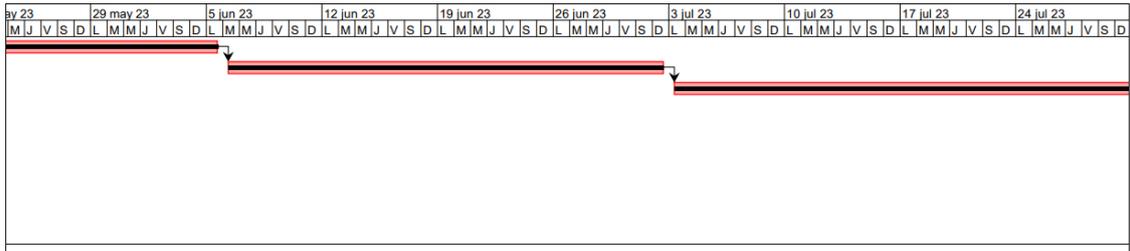


Entregables / Hitos:		Fecha
M0	Planificación del proyecto	05/06/2023
M1	Revisión bibliográfica	02/07/2023
M2	Realización de apartados de la memoria del proyecto: <i>Introducción, Objetivos y Alcance, Metodología y Antecedentes y Marco Teórico</i>	03/09/2023
M3	Incorporación al Grupo de Caballería "Reyes Católicos II" de la Legión (prácticas externas)	04/09/2023
M4	Realización de actividades de observación directa, encuestas, entrevistas con grupos de expertos y desarrollo del método de la "Casa de la Calidad" o QFD	01/10/2023
M5	Aplicación del Método de jerarquización analítica AHP	08/10/2023
M6	Realización de Análisis de Sensibilidad	14/10/2023
M7	Realización de apartados de la memoria del proyecto: <i>Análisis y Resultados y Conclusiones</i>	23/10/2023
M8	Finalización de la memoria del proyecto	31/10/2023
M9	Entrega de la memoria del proyecto	01/11/2023
Riesgos de alto nivel:		
<p>Amenazas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Limitaciones técnicas en cuanto a la viabilidad de ubicar los monitores en el interior del vehículo. - Limitaciones técnicas para conectar eficientemente las cámaras de visión perimetral con el monitor, a ubicar en el interior del vehículo. - Ausencia de los expertos en la temática durante el periodo de las prácticas externas realizadas en el Grupo de Caballería "Reyes Católicos II" de la Legión. - Obtener unos resultados escasos y poco representativos de las encuestas realizadas al personal del Grupo de Caballería "Reyes Católicos II" de la Legión. <p>Oportunidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Implementar un sistema de cámaras que permita ser acoplable en otros medios acorazados y blindados del Ejército de Tierra además del propio VRCC "Centaurus". - Resaltar, teniendo en cuenta las tendencias del combate moderno, la importancia de mejorar las capacidades de "conciencia situacional" de los vehículos. 		
Aprobación y firma:		Fecha
Coronel Carlos Luis Ruiz López		22/05/2023



DIAGRAMA DE GANTT

	📌	Nombre	Duración	Inicio	Terminado	Predecesores	Nombres del Recurso	22 m				
								V	S	D	L	M
1	✓	Planificación del Proyecto	15 days	22/05/23 8:00	5/06/23 17:00							
2	✓	Revisión bibliográfica	27 days	6/06/23 8:00	2/07/23 17:00	1						
3	✓	Realización de apartados ...	64 days	3/07/23 8:00	4/09/23 17:00	2						
4	✓	Incorporación al Grupo de ...	0 days	5/09/23 8:00	5/09/23 8:00	3						
5	✓	Realización de actividades ...	27 days	5/09/23 8:00	1/10/23 17:00	4						
6	✓	Aplicación del Método de j...	7 days	2/10/23 8:00	8/10/23 17:00	5						
7	✓	Realización de Análisis de ...	6 days	9/10/23 8:00	14/10/23 17:00	6						
8	✓	Realización de apartados ...	9 days	15/10/23 8:00	23/10/23 17:00	7						
9	✓	Finalización de la memoria ...	8 days	24/10/23 8:00	31/10/23 17:00	8						
10	✓	Entrega de la memoria del ...	0 days	1/11/23 8:00	1/11/23 8:00	9						

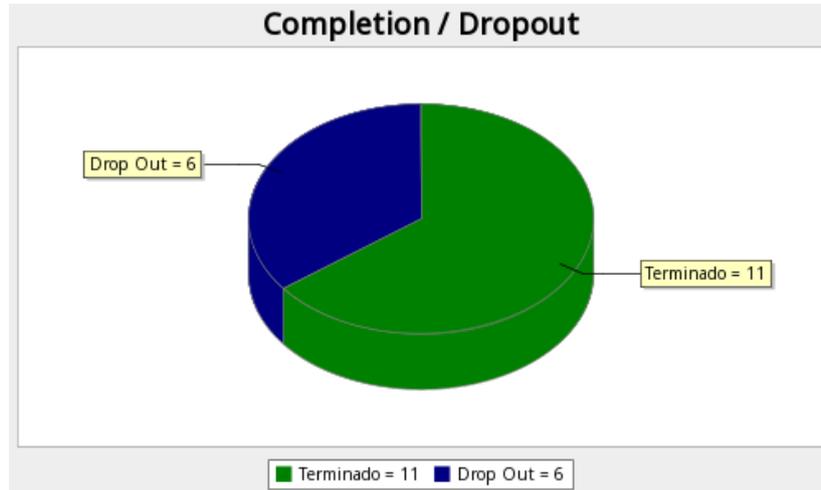




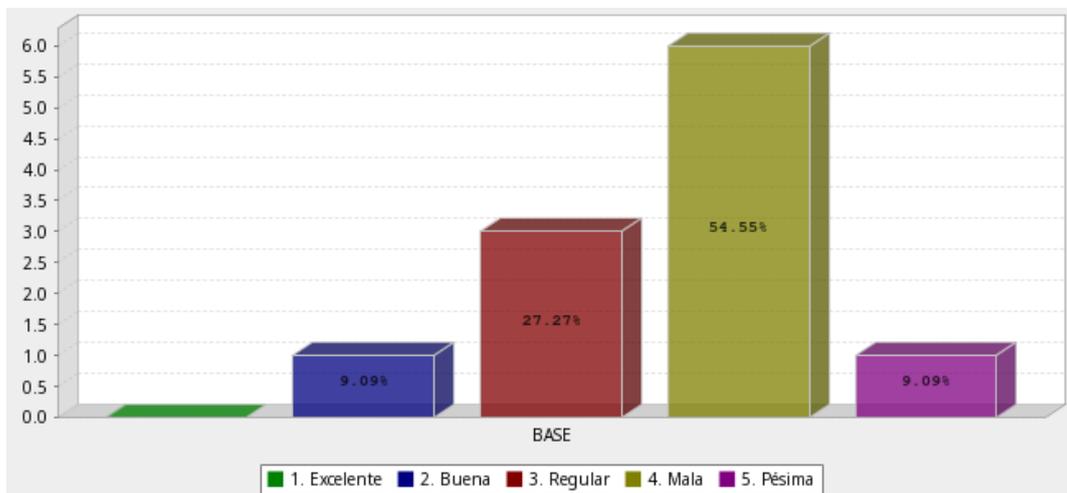
ANEXO III

ENCUESTA CONDUCTORES Y JEFES DE VEHÍCULO: RESULTADOS

ENCUESTAS CONDUCTORES RESULTADO

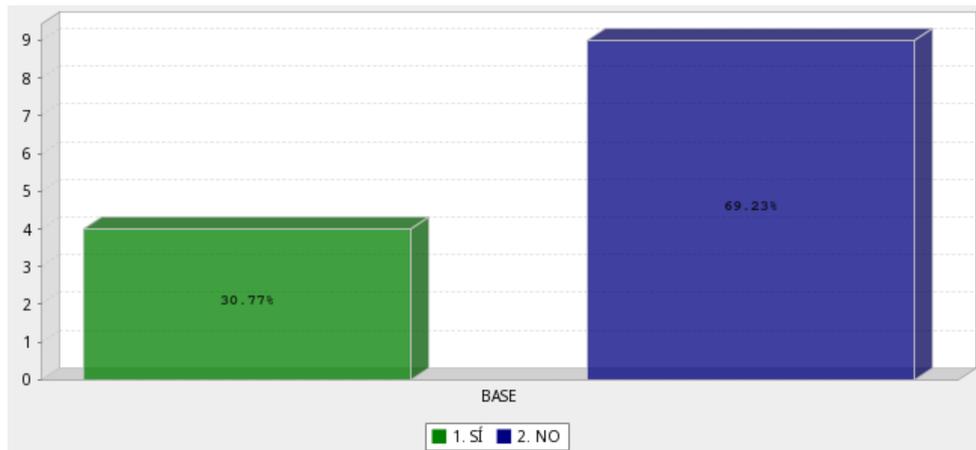


Q2. - En la perspectiva de su puesto táctico, ¿cómo valora la visibilidad del VRCC "Centauro" en sus zonas más próximas o aledañas en situaciones de combate?

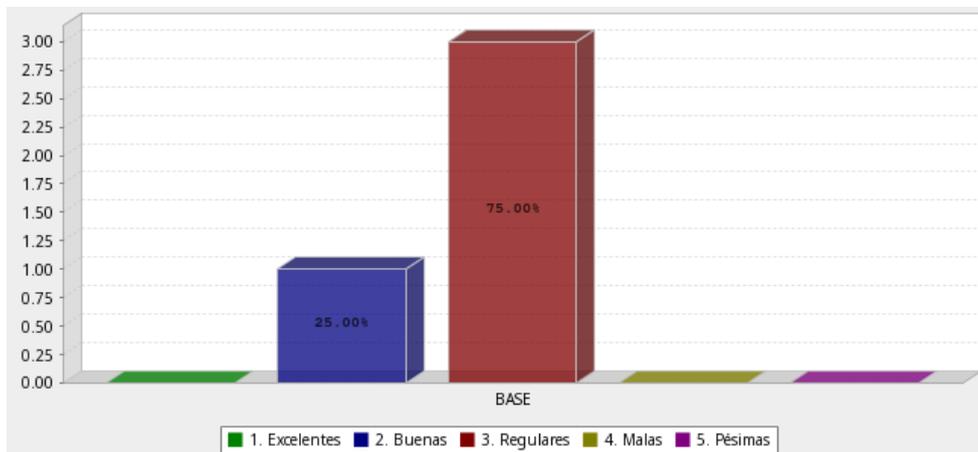




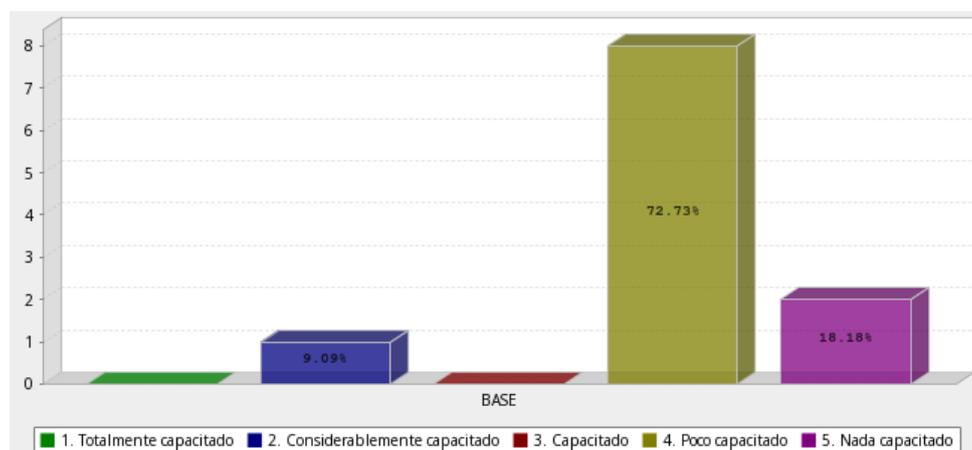
Q3. - ¿Conoce el concepto de “conciencia situacional” en vehículos de combate?



Q4. - Si a la pregunta anterior respondió SÍ, valore a continuación las capacidades de “conciencia situacional” que considera que posee el “Centauro”.

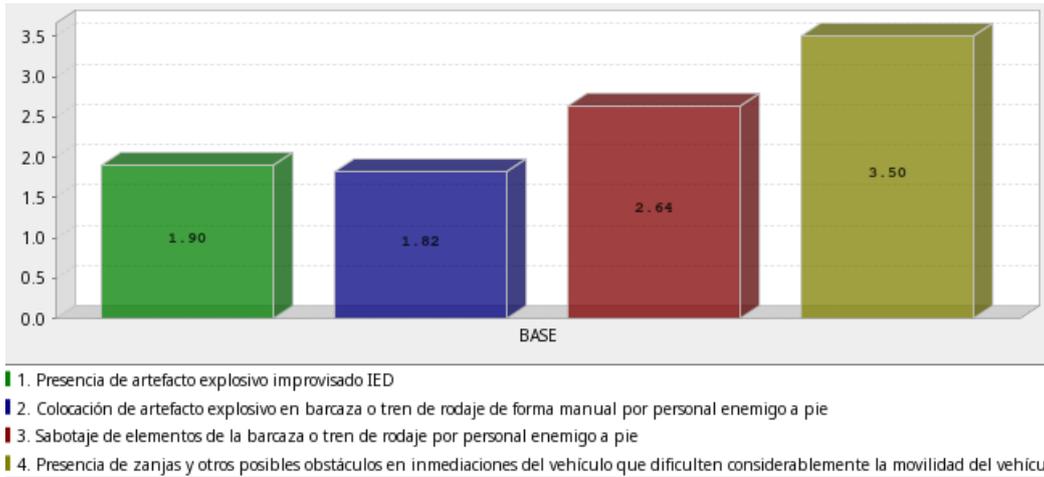


Q5. ¿Considera que el VRCC “Centauro” tiene las capacidades y medios necesarios para ser empleado en combate en zonas urbanizadas o espacios confinados?

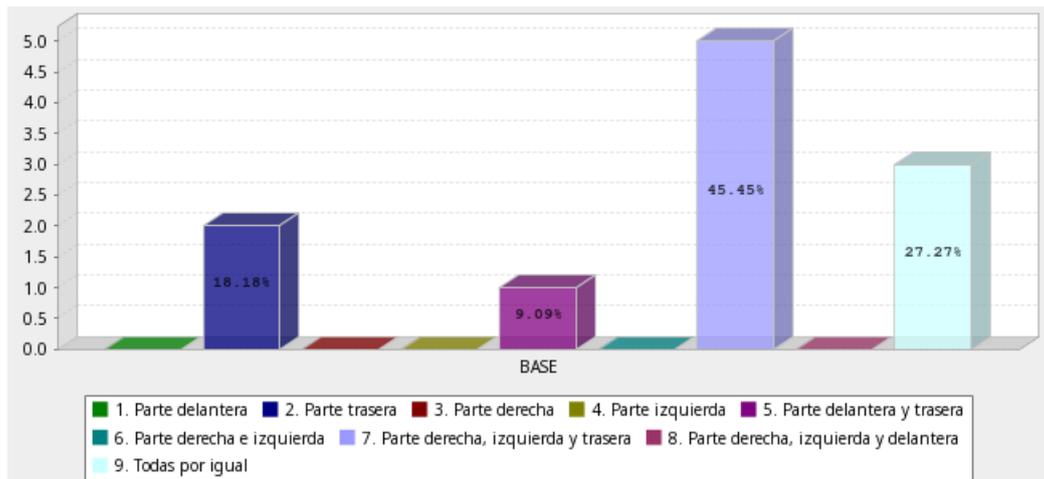




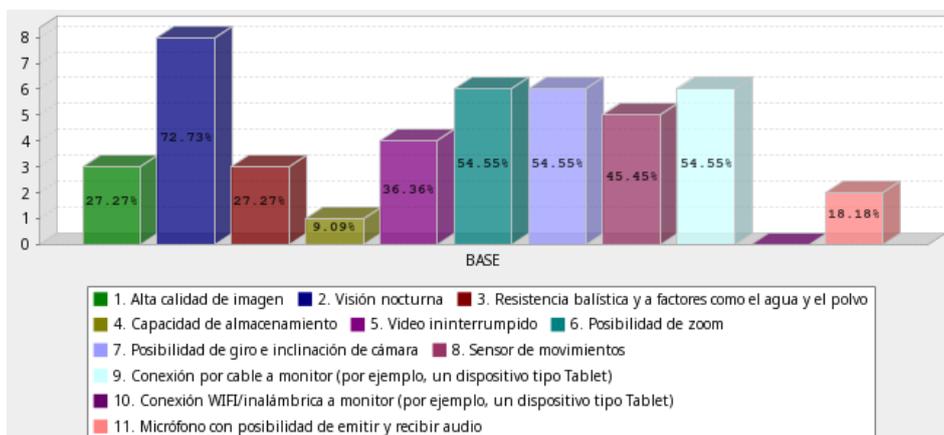
Q6. - Clasifique las siguientes posibles amenazas para el vehículo VRCC "Centaurus" de mayor a menor peligrosidad para la supervivencia del vehículo y su tripulación.



Q7. - ¿Qué zona muerta de visión del "Centaurus" considera más peligrosa o vulnerable en situaciones de combate?

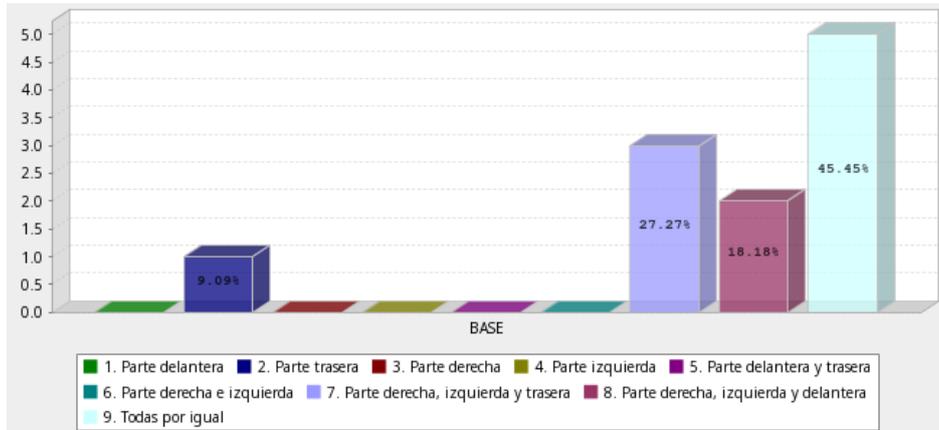


Q8. - ¿De las siguientes funcionalidades o características técnicas de una cámara de visión, escoja las cuatro que considere más útiles para mejorar la "conciencia situacional" del VRCC "Centaurus"?

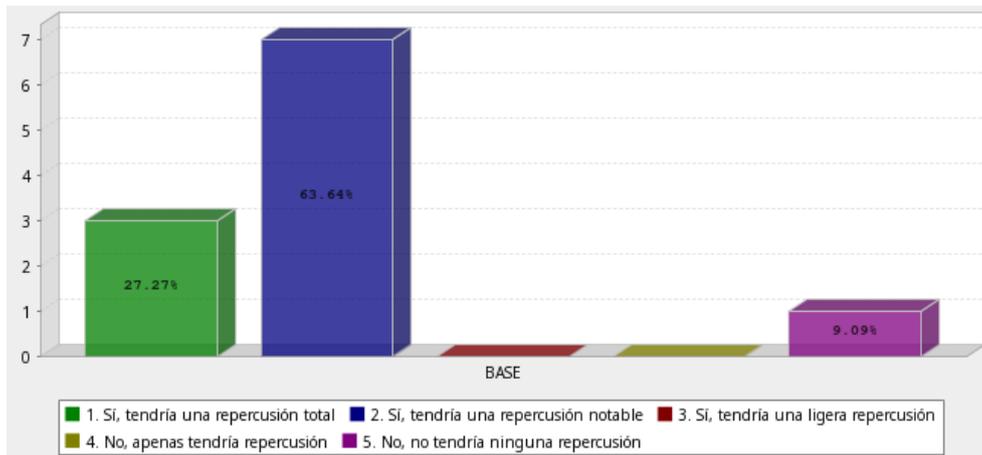




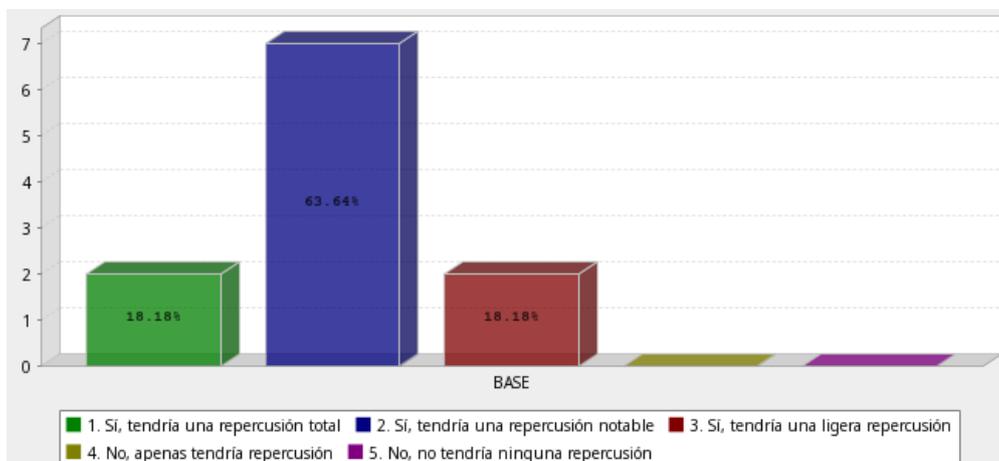
Q9. - Si tuviese la posibilidad de tener visibilidad sobre el área próxima de los diferentes lados del vehículo, ¿cuál/les elegiría?



Q10. - ¿Considera que un sistema de cámaras de visión perimetral puede reducir los accidentes y facilitar los movimientos del ámbito rutinario del VRCC "Centauro"?

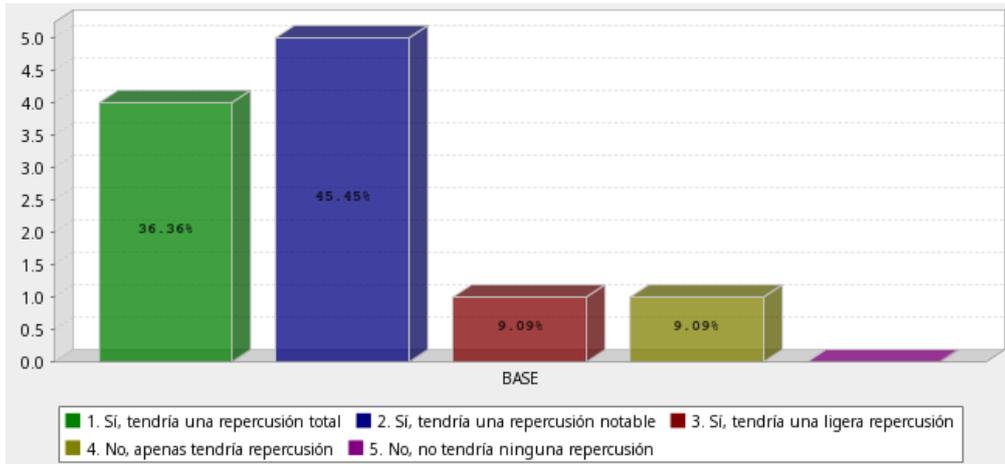


Q11. - ¿Considera que un sistema de cámaras de visión perimetral puede facilitar los cometidos del puesto táctico de conductor en situaciones de combate?

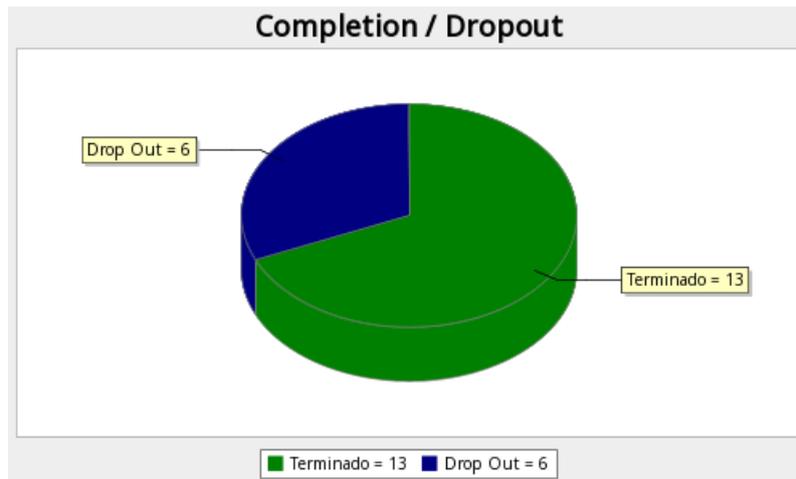




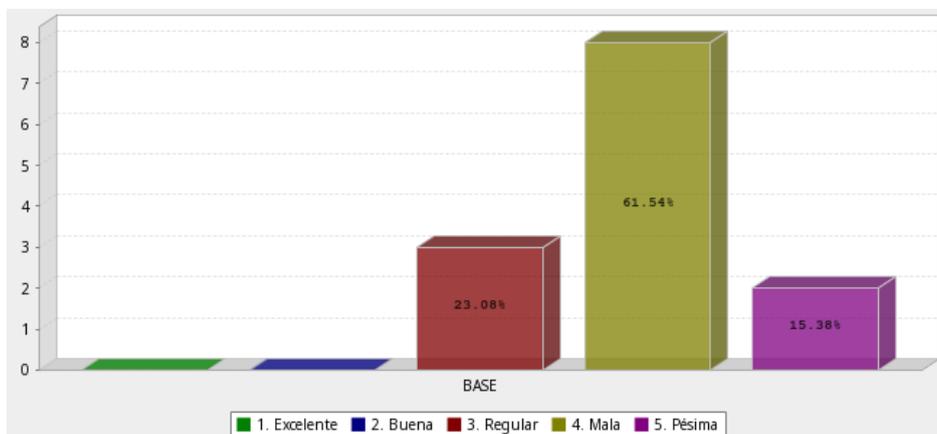
Q12. - ¿Considera que un sistema de cámaras de visión perimetral puede facilitar maniobras marcha atrás, por ejemplo, a la hora de estacionar el vehículo?



ENCUESTAS JEFES DE VEHÍCULO RESULTADOS

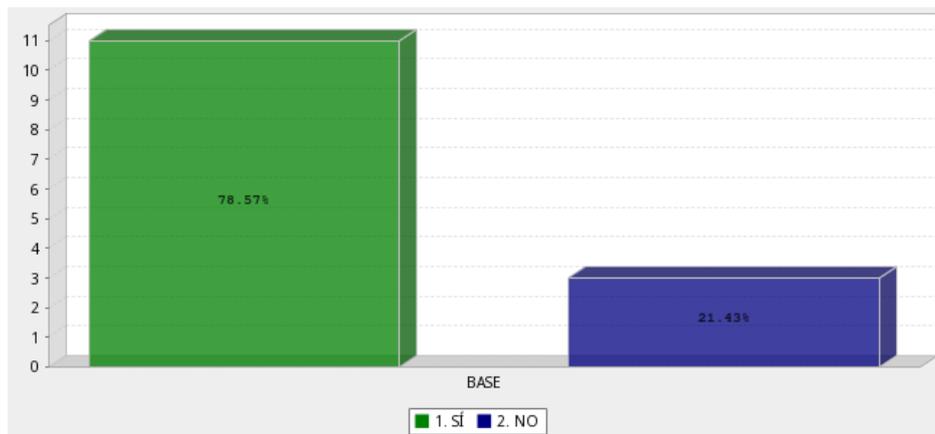


Q2. ¿Cómo valora la visibilidad del VRCC "Centauro" en sus zonas más próximas o aledañas en situaciones de combate?

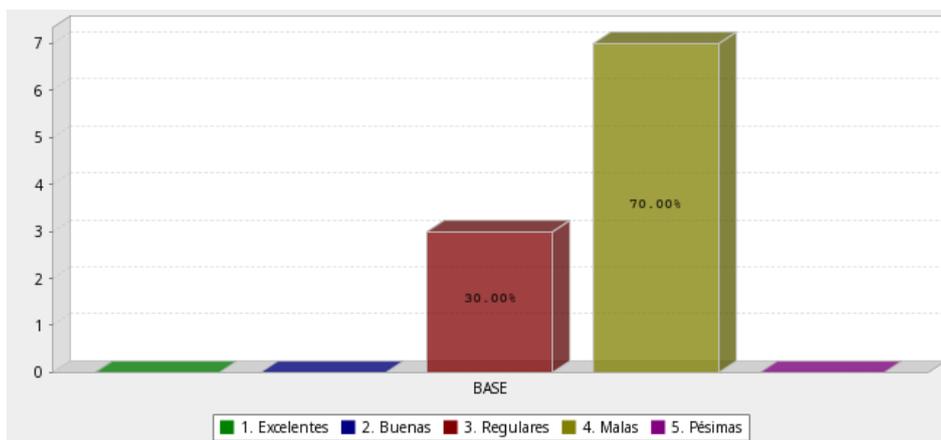




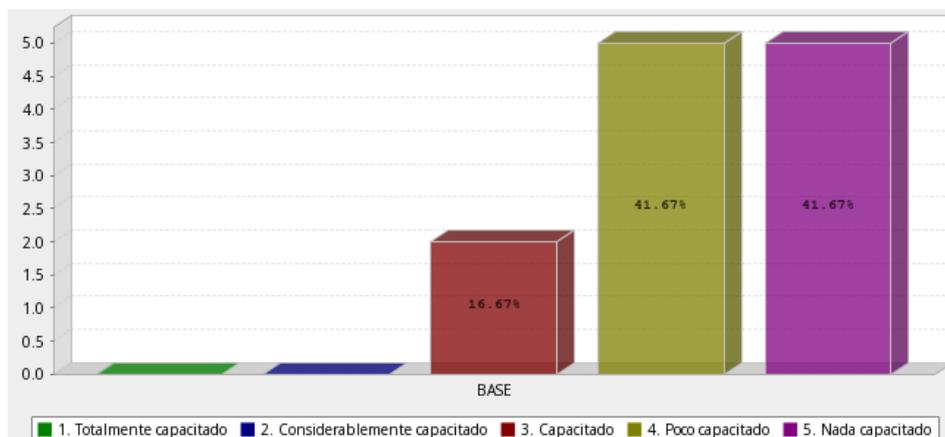
Q3. - ¿Conoce el concepto de “conciencia situacional” en vehículos de combate?



Q4. - Si a la pregunta anterior respondió SÍ, valore a continuación las capacidades de “conciencia situacional” que considera que posee el “Centauro”.

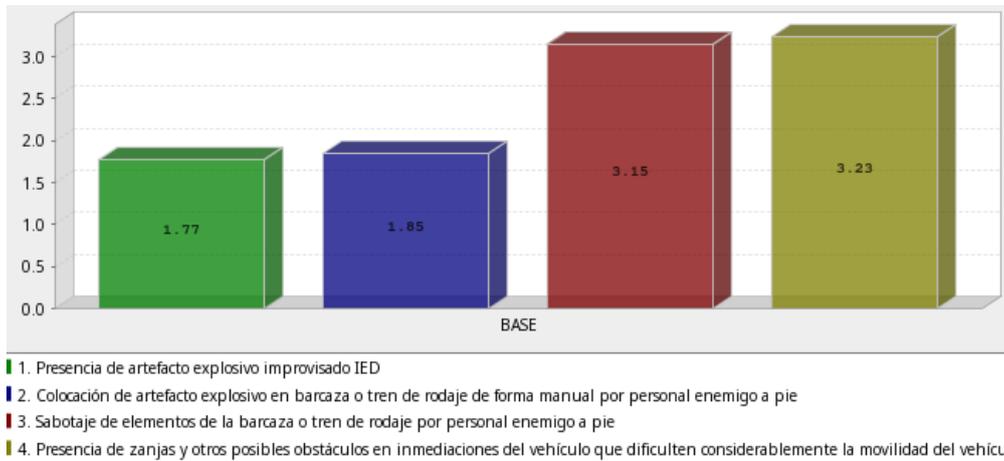


Q5. - ¿Considera que el VRCC “Centauro” tiene las capacidades y medios necesarios para ser empleado en combate en zonas urbanizadas o espacios confinados?

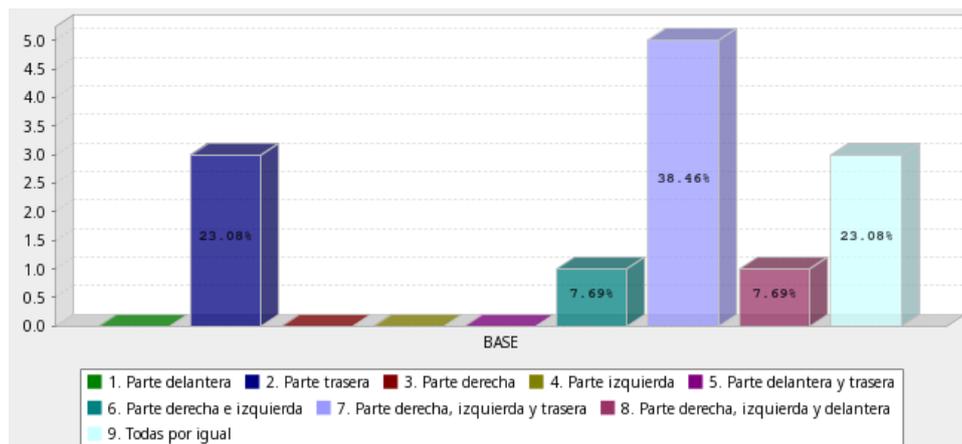




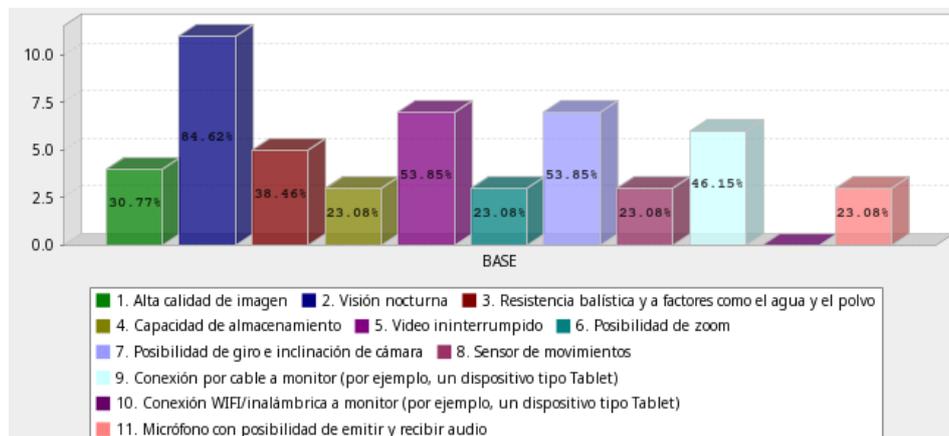
Q6. Clasifique las siguientes posibles amenazas para el vehículo VRCC "Centaurus" de mayor a menor peligrosidad para la supervivencia del vehículo y su tripulación.



Q7. - ¿Qué zona muerta de visión del "Centaurus" considera más peligrosa o vulnerable en situaciones de combate?

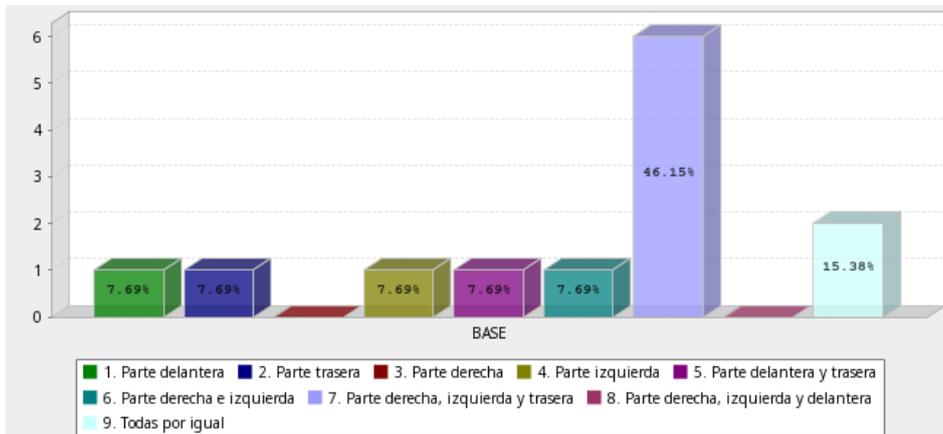


Q8. - ¿De las siguientes funcionalidades o características técnicas de una cámara de visión, escoja las cuatro que considere más útiles para mejorar la "conciencia situacional" del VRCC "Centaurus"?

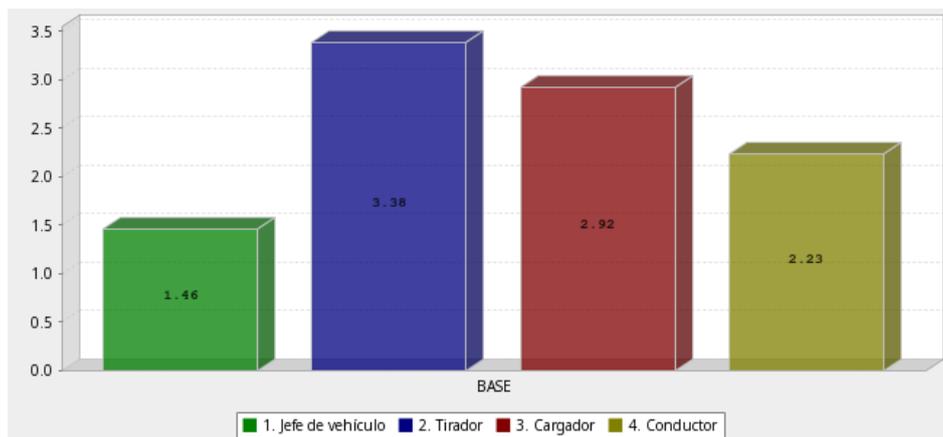




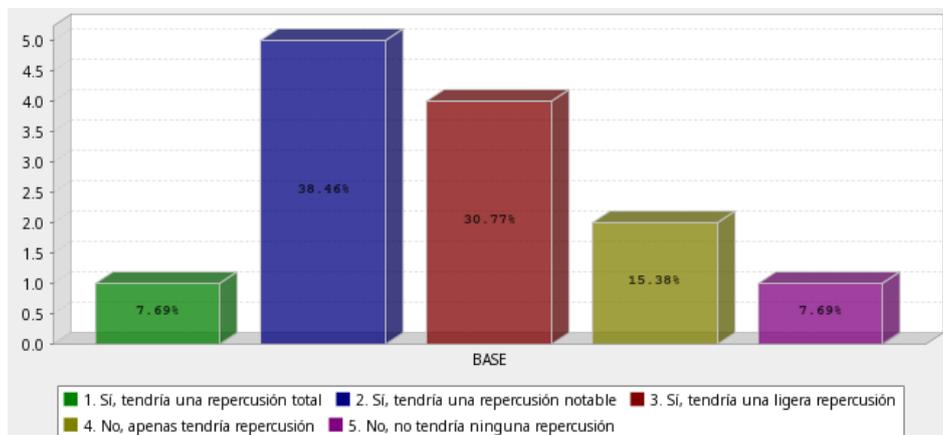
Q9. - Si tuviese la posibilidad de tener visibilidad sobre el área próxima de los diferentes lados del vehículo, ¿cuál/les elegiría?



Q10. - En caso de poseer un sistema de cámaras de visión perimetral, ordene del 1 al 4 los siguientes puestos tácticos según la preferencia de acceso al sistema que considere más oportuna (siendo 1 la preferencia principal y 4 el menos relevante)

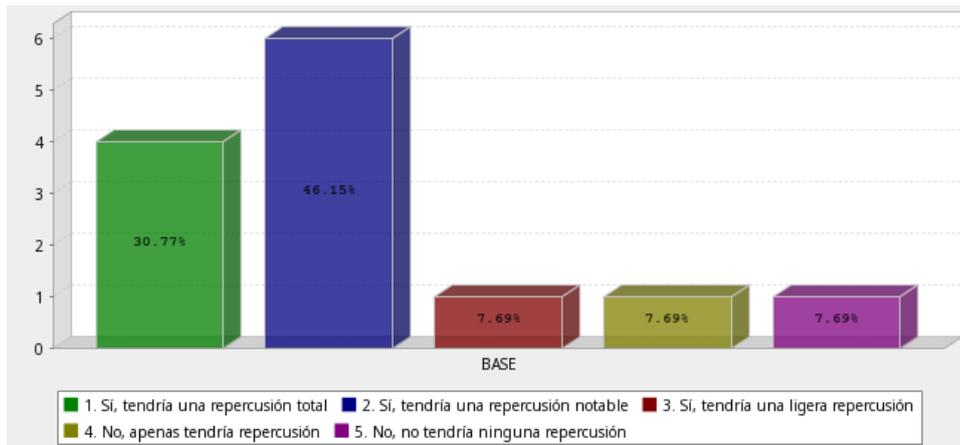


Q11. - ¿Considera que un sistema de cámaras de visión perimetral puede sustituir o reducir la necesidad de personal a pie (elemento de seguridad próxima) del VRCC "Centaurus" en combate en espacios confinados?





Q12. - ¿Considera que un sistema de cámaras de visión perimetral puede reducir los accidentes y facilitar los movimientos del ámbito rutinario del VRCC "Centauro"?





ANEXO IV

TABLA PARA COMPARACIÓN DE ZONAS ÓPTIMAS

ZONA TRASERA	Posición a 2 m	Posición a 4 m
Posición A		
Posición B		
Posición C		
LATERAL IZQUIERDO	Posición a 2 m	Posición a 5 m
Posición A		
Posición B		



Posición C		
LATERAL DERECHO	Posición a 2 m	Posición a 5 m
Posición A		
Posición B		
Posición C		
PARTE DELANTERA	Posición a 5 m	Posición a 20 m
Posición A		

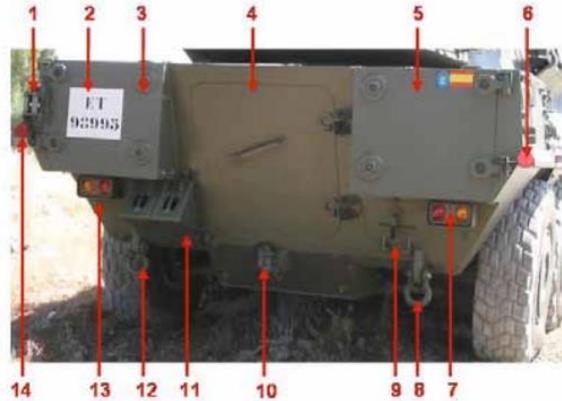


<p>Posición B</p>		
<p>Posición C</p>		



ANEXO V

ELEMENTOS EXTERNOS BARCAZA VRCC "CENTAURO"



- | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 Rodillos de paso del cabrestante | 8 Gancho de remolque |
| 2 Matrícula | 9 Teléfono exterior |
| 3 Caja de baterías izquierda | 10 Bulón de remolque |
| 4 Portón posterior | 11 Calzos |
| 5 Caja de baterías derecha | 12 Gancho de remolque |
| 6 Catadióptrico | 13 Grupo óptico trasero izquierdo |
| 7 Grupo óptico trasero derecho | 14 Catadióptrico |

Figura 3.8.–Vista trasera

VISTA LATERAL IZQUIERDO

- 1 Caja de almacenaje
- 2 Tapa escotilla del conductor
- 3 Asa de sujeción
- 4 Polea guía del cabrestante
- 5 Asa de sujeción
- 6 Eslinga de remolque
- 7 Polea guía del cabrestante
- 8 Tapa de acceso al cabrestante
- 9 Salida aireación alojamiento de baterías
- 10 Luz de gálbo
- 11 Argolla de izado
- 12 Caja almacenaje equipo de repostaje
- 13 Etribo de acceso al vehículo
- 14 Etribo de acceso al vehículo
- 15 Tirador emergencia sistema C/I.
- 16 Luz de gálbo
- 17 Polea guía del cabrestante
- 18 Argolla de izado
- 19 Luz de dirección



Figura 3.10.–Vista lateral izquierda



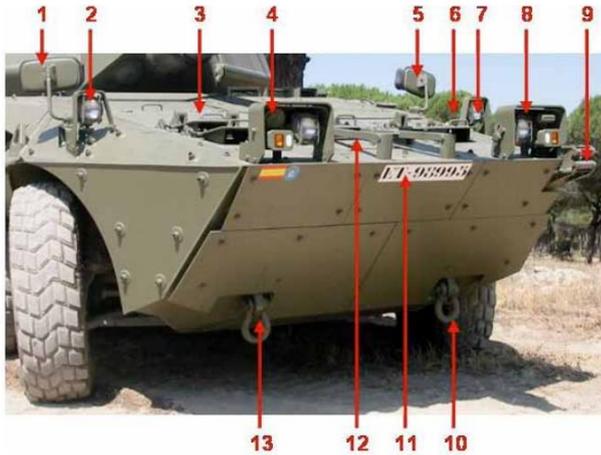
VISTA LATERAL DERECHO

- 1 Salida aireación alojamiento de baterías
- 2 Alojamiento equipo filtrado NBQ
- 3 Salida partículas gruesas sistema NBQ
- 4 Eslinga de remolque
- 5 Asa de sujeción
- 6 Boca de llenado depósitos de combustible
- 7 Asa de sujeción
- 8 Salida de los gases de escape y aire refrigeración.
- 9 Luz de dirección
- 10 Estribo de acceso al vehículo
- 11 Estribo de acceso al vehículo
- 12 Salida bomba de achique trasera
- 13 Argolla de izado
- 14 Luz de gálibo
- 15 Argolla de izado
- 16 Salida bomba de achique delantera
- 17 Entrada aire sistema NBQ



Figura 3.9.-Vista lateral derecho

VISTA DELANTERA



- 1 Retrovisor derecho
- 2 Faro luz carretera derecho
- 3 Tapas de ventilación del motor
- 4 Grupo óptico delantero derecho
- 5 Retrovisor izquierdo
- 6 Tapa de ventilación del motor
- 7 Faro luz carretera izquierdo
- 8 Grupo óptico delantero izquierdo
- 9 Rodillos de paso del cabrestante
- 10 Gancho de remolque
- 11 Matricula en blindaje espaciado
- 12 Soporte del cañón
- 13 Gancho de remolque

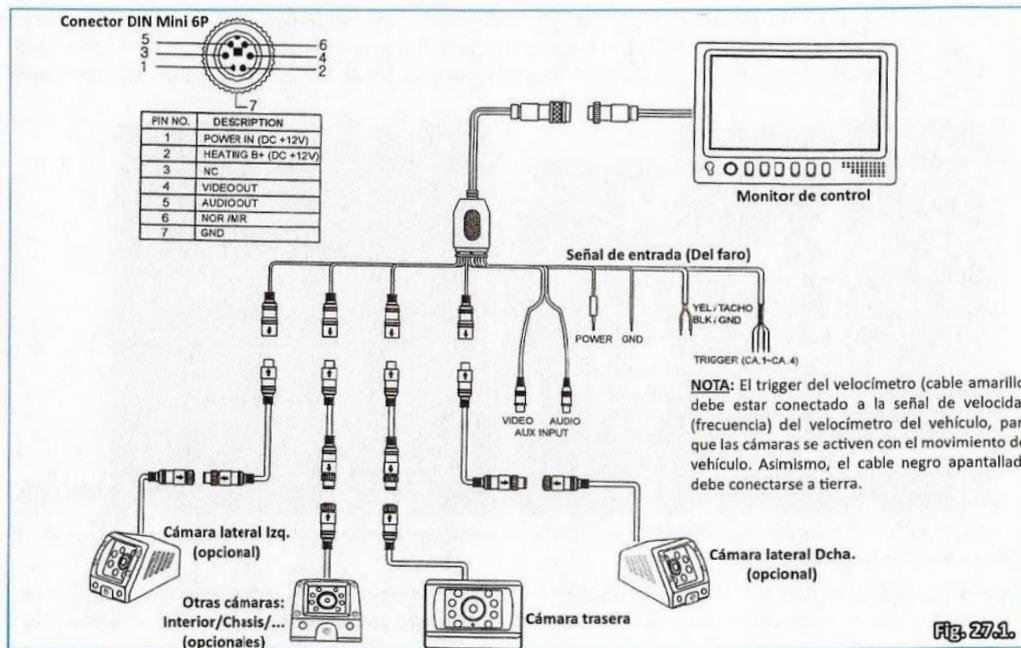
Figura 3.7.-Vista delantera



Anexo VI

SISTEMA DE CONEXIONES DEL MONITOR VDO DEL VERT

27.1.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA - CONEXIONES



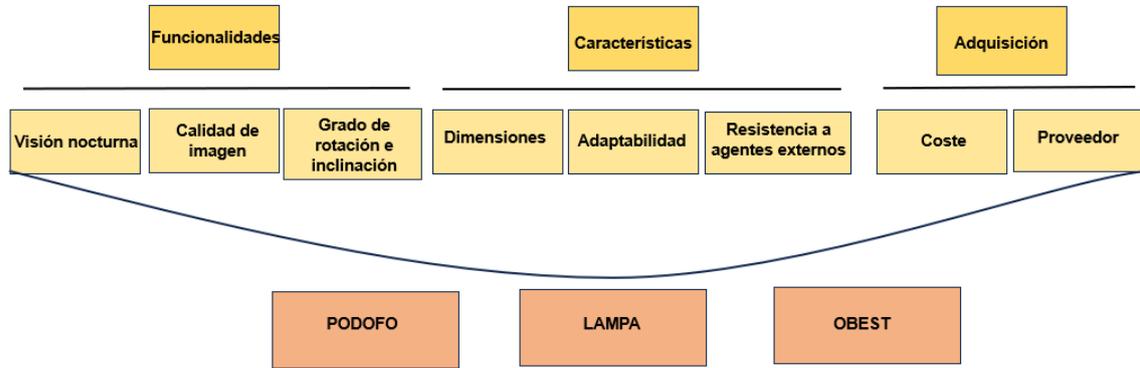


ANEXO VIII

MÉTODO AHP



ÁRBOL DE JERARQUÍAS





CUESTIONARIOS

EVALUACIÓN DE CRITERIOS MÉTODO AHP

Escala de Saaty

Comentario	Definición	Valor A/B	Valor B/A
Ambos criterios tienen la MISMA importancia/preferencia	Igual importancia/preferencia	1	1
A es LIGERAMENTE MÁS importante/preferible que B	Importancia/preferencia moderada	3	1/3
A es MÁS importante/preferible que B	Importancia/preferencia grande	5	1/5
A es MUCHO MÁS importante/preferible que B	Importancia/preferencia muy grande	7	1/7
A es EXTREMADAMENTE MÁS importante/preferible que B	Importancia/preferencia extrema	9	1/9

Funcionalidades	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Características
Observaciones:										

Funcionalidades	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Adquisición
Observaciones:										

Características	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Adquisición
Observaciones:										



2. EVALUACIÓN DE SUBCRITERIOS MÉTODO AHP

Escala de Saaty

Comentario	Definición	Valor A/B	Valor B/A
Ambos criterios tienen la MISMA importancia/preferencia	Igual importancia/preferencia	1	1
A es LIGERAMENTE MÁS importante/preferible que B	Importancia/preferencia moderada	3	1/3
A es MÁS importante/preferible que B	Importancia/preferencia grande	5	1/5
A es MUCHO MÁS importante/preferible que B	Importancia/preferencia muy grande	7	1/7
A es EXTREMADAMENTE MÁS importante/preferible que B	Importancia/preferencia extrema	9	1/9

2.1 Funcionalidades

Visión nocturna	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Calidad de imagen
Observaciones:										

Visión nocturna	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Grado de rotación e inclinación
Observaciones:										

Calidad de imagen	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Grado de rotación e inclinación
Observaciones:										



2.2 Características

Dimensiones	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Adaptabilidad
Observaciones:										

Dimensiones	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Resistencia a agentes externos
Observaciones:										

Adaptabilidad	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Resistencia a agentes externos
Observaciones:										

2.3 Adquisición

Coste	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Proveedor
Observaciones:										



3. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS FRENTE A SUBCRITERIOS MÉTODO AHP

Escala de Saaty

Comentario	Definición	Valor A/B	Valor B/A
Ambos criterios tienen la MISMA importancia/preferencia	Igual importancia/preferencia	1	1
A es LIGERAMENTE MÁS importante/preferible que B	Importancia/preferencia moderada	3	1/3
A es MAS importante/preferible que B	Importancia/preferencia grande	5	1/5
A es MUCHO MÁS importante/preferible que B	Importancia/preferencia muy grande	7	1/7
A es EXTREMADAMENTE MÁS importante/preferible que B	Importancia/preferencia extrema	9	1/9

3.1 Subcriterio Visión Nocturna

Podofa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Lampa
Observaciones:										

Podofa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obest
Observaciones:										

Lampa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obest
Observaciones:										



3.2 Subcriterio Calidad de Imagen

Podofa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Lampa
Observaciones:										

Podofa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obest
Observaciones:										

Lampa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obest
Observaciones:										

3.3 Subcriterio Grado de Inclinación y Rotación

Podofa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Lampa
Observaciones:										



Podofa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obest
Observaciones:										

Lampa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obest
Observaciones:										

3.4 Subcriterio Dimensiones

Podofa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Lampa
Observaciones:										

Podofa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obest
Observaciones:										

Lampa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obest
Observaciones:										



3.5 Subcriterio Adaptabilidad

Podofa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Lampa
Observaciones:										

Podofa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obest
Observaciones:										

Lampa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obest
Observaciones:										



3.6 Subcriterio Resistencia a agentes externos

Podofa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Lampa
Observaciones:										

Podofa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obest
Observaciones:										

Lampa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obest
Observaciones:										

3.7 Subcriterio Coste

Podofa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Lampa
Observaciones:										



Podofa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obest
Observaciones:										

Lampa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obest
Observaciones:										

3.8 Subcriterio Proveedor

Podofa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Lampa
Observaciones:										

Podofa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obest
Observaciones:										

Lampa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Obest
Observaciones:										



MATRICES RESULTANTES DEL MÉTODO AHP

CAPTURAS DE PANTALLA MÉTODO AHP APLICACIÓN PRIEST

Definición de problema. Pantalla inicial

Matriz de evaluación de criterios

	Funcionalidades	Características	Ad
Funcionalidades		5	9
Características	0,2		3
Adquisición	0,111	0,333	

vector	method
0.751	Ev



Matrices de evaluación de subcriterios

Funcionalidades

	Visión nocturna	Calidad de imagen
Visión nocturna		3
Calidad de imagen	0,333	
Grado de rotación	0,2	1

vector	method
0,850	Ev

	Visión nocturna	Calidad de imagen
Visión nocturna	3	5
Calidad de imagen		1
Grado de rotación	1	



Características

The screenshot shows the software interface with several panels. On the left, the 'Criteria' panel lists 'Funcionalidades' (Vision nocturna, Calidad de imagen, Grado de rotación) and 'Características' (Dimensiones). The 'Judgments' panel shows a comparison matrix for 'Dimensiones', 'Adaptabilidad', and 'Resistencia a agentes externos'. The 'Stimuli' panel lists 'Dimensiones', 'Adaptabilidad', and 'Resistencia a agentes externos'. The main 'Principal View' shows a network diagram with three nodes: 'Dimensiones' (blue), 'Resistencia a agentes externos' (red), and 'Adaptabilidad' (grey), connected by lines.

	Dimensiones	Adaptabilidad
Dimensiones	1	7
Adaptabilidad	1/7	1
Resistencia a agentes externos	5	5

This screenshot provides a detailed view of the 'Judgments' and 'Preferences' panels. The 'Judgments' table shows pairwise comparisons between 'Dimensiones', 'Adaptabilidad', and 'Resistencia a agentes externos'. The 'Preferences' panel on the right displays various statistical values.

	Dimensiones	Adaptabilidad	Resistencia a agentes externos
Dimensiones	1	0,143	0,143
Adaptabilidad	7	1	0,2
Resistencia a agentes externos	7	5	1

Preferences values:

- Ψ 0
- Θ 0,336
- L 0
- CR 0,011
- CM 0,286

This screenshot shows the software interface with the 'Criteria' panel on the left, the 'Judgments' panel in the middle, and the 'Principal View' on the right. The 'Judgments' panel shows a vector of values: 0,747, 0,134, 0,119. The 'Principal View' shows a network diagram with three nodes: 'Dimensiones' (blue), 'Resistencia a agentes externos' (red), and 'Adaptabilidad' (grey), connected by lines.

vector	method
0,747	EV

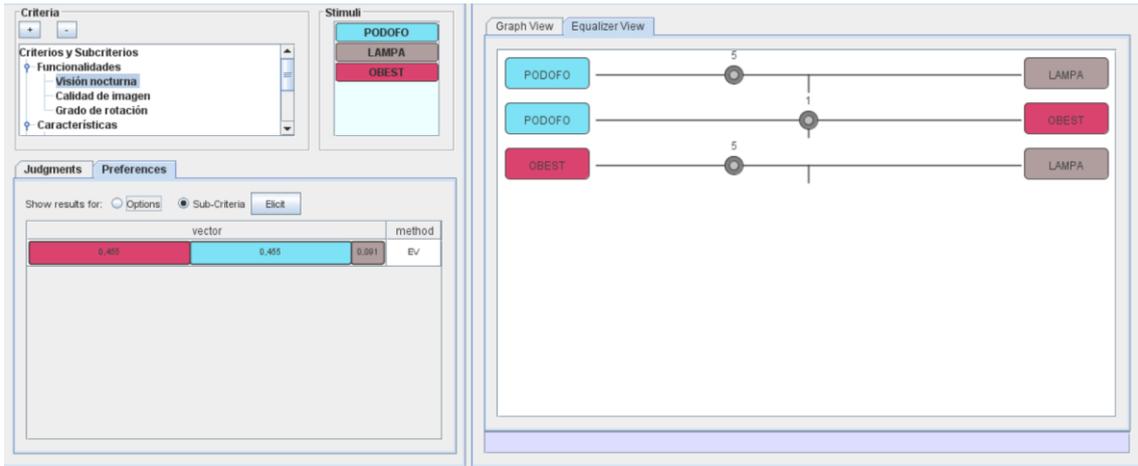


Adquisición

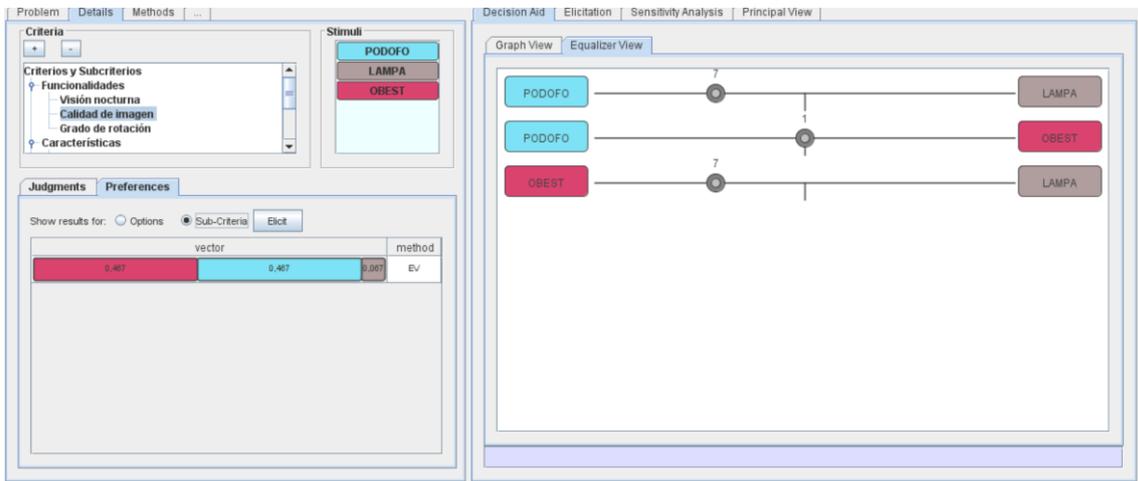
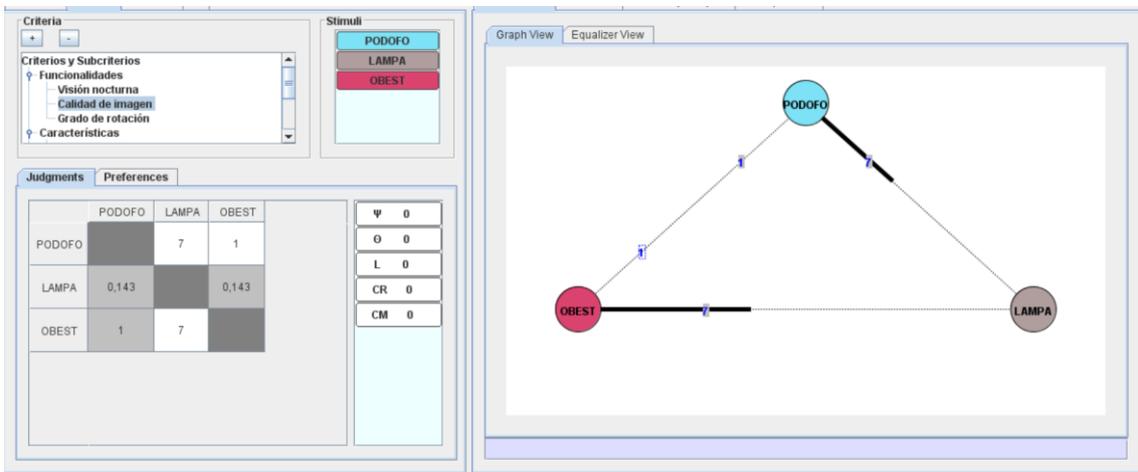
Matrices de evaluación de alternativas

Visión nocturna

	PODOFO	LAMPA	OBEST
PODOFO		5	1
LAMPA	0,2		0,2
OBEST	1	5	

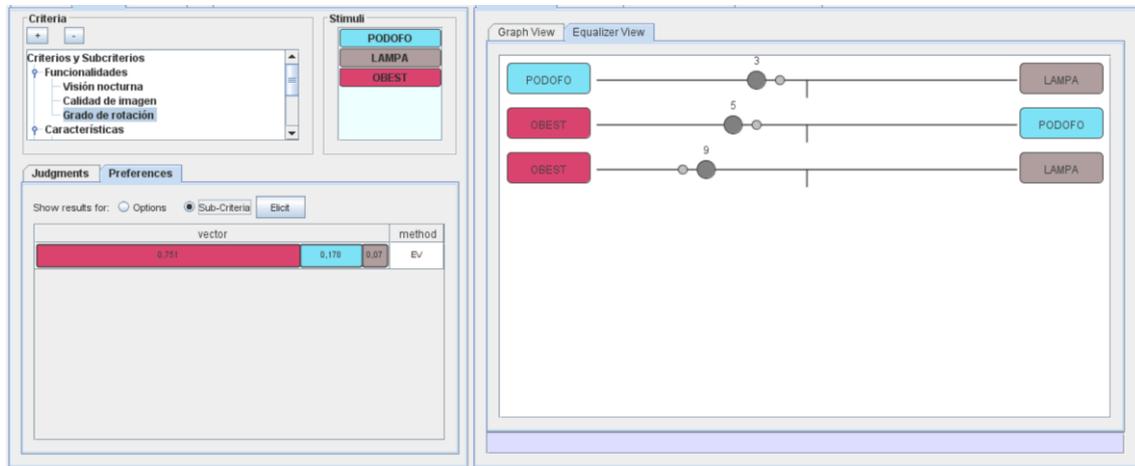
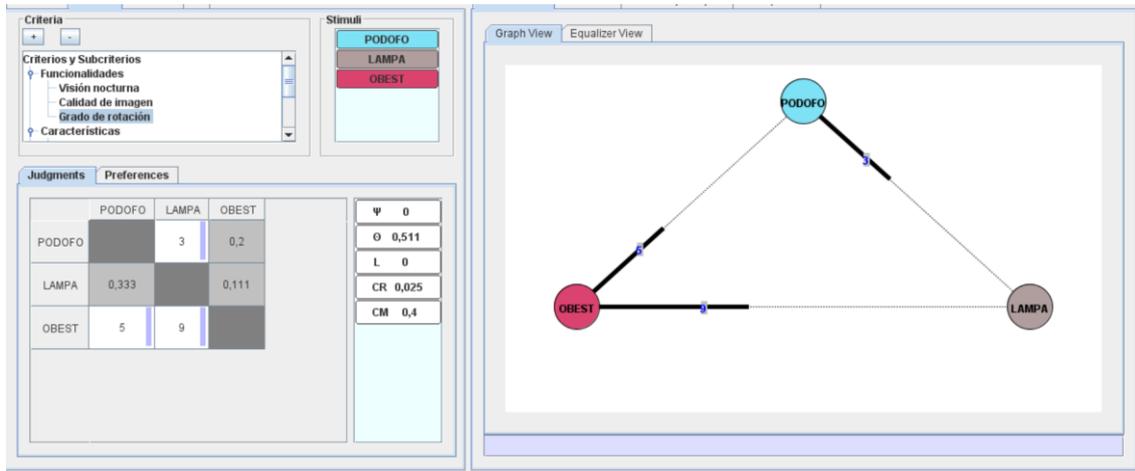


Calidad de imagen

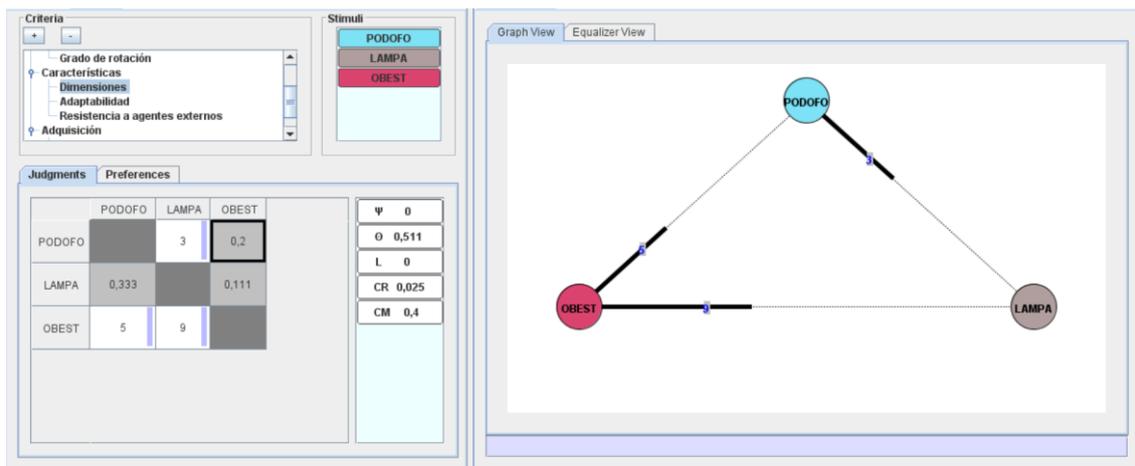


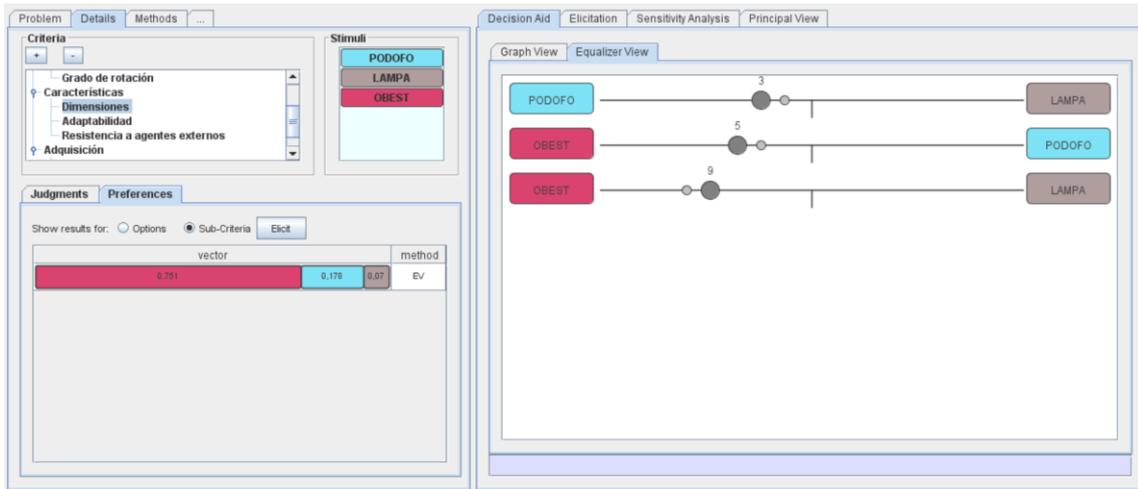


Grado de rotación e inclinación

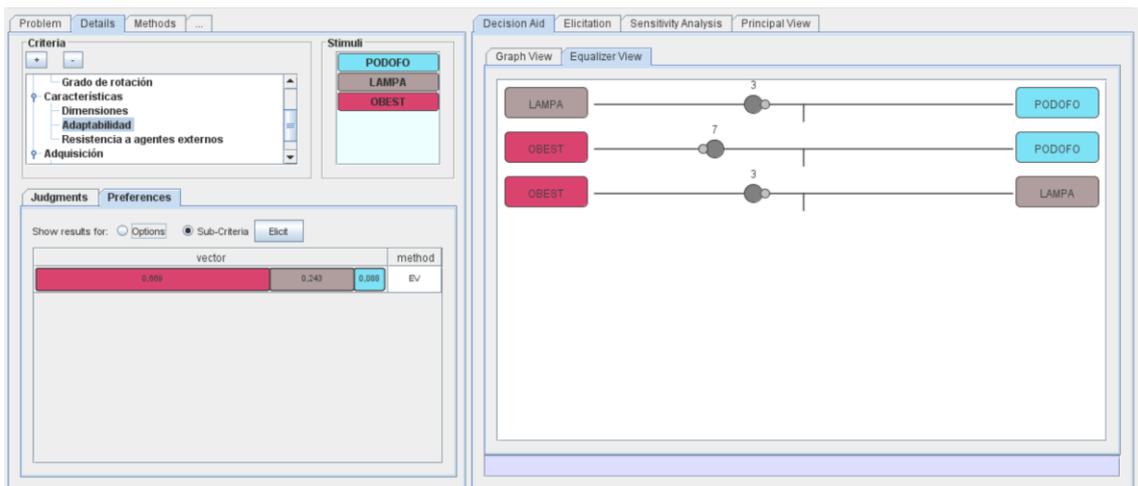
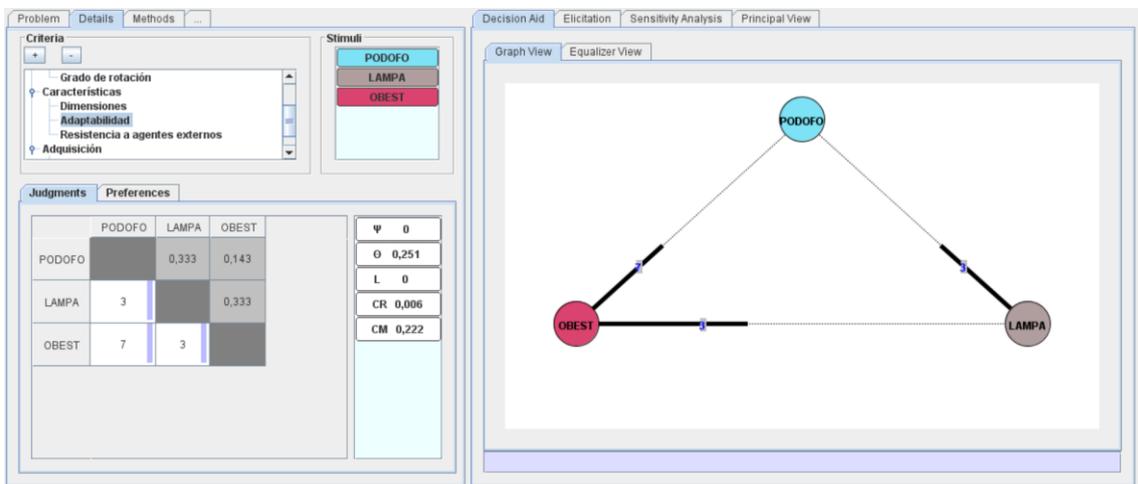


Dimensiones



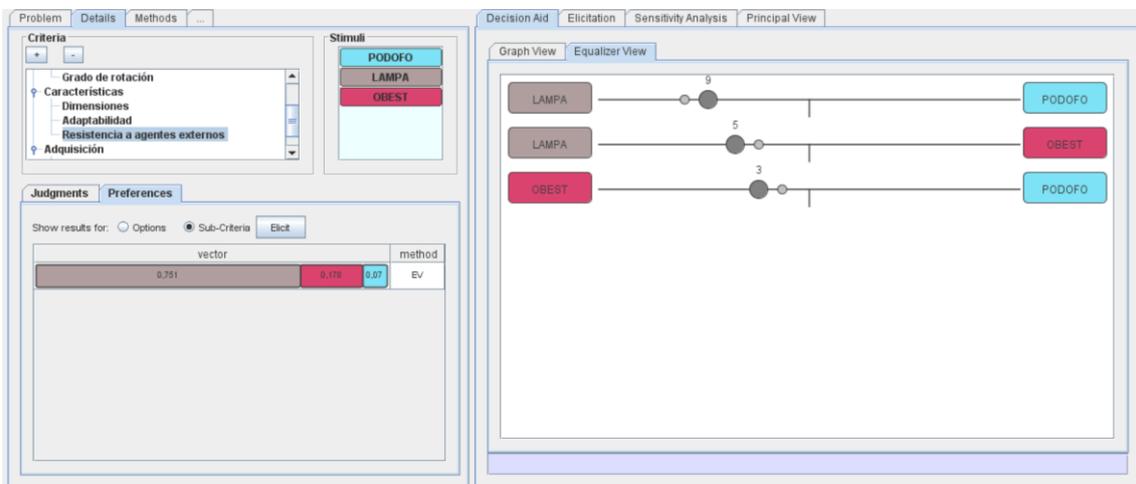
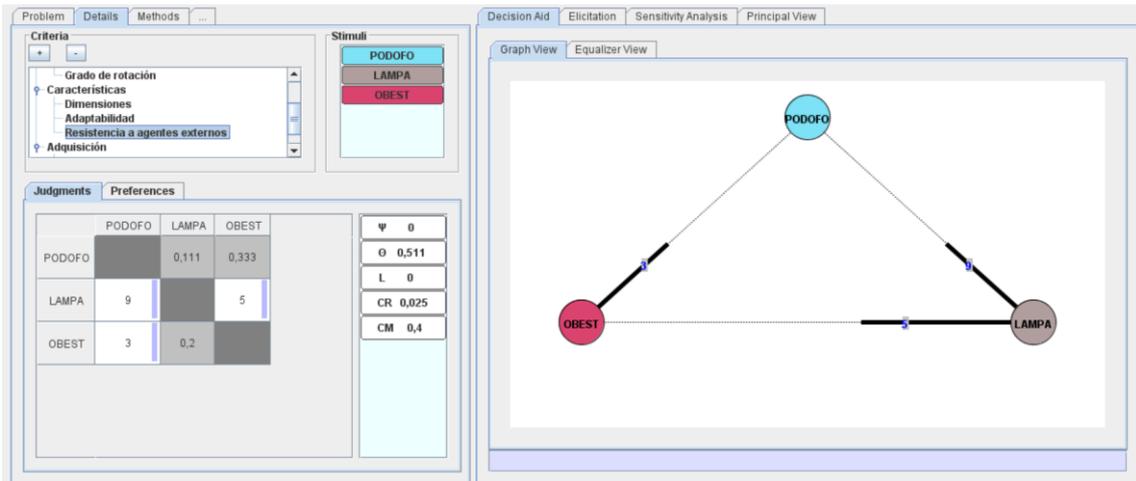


Adaptabilidad

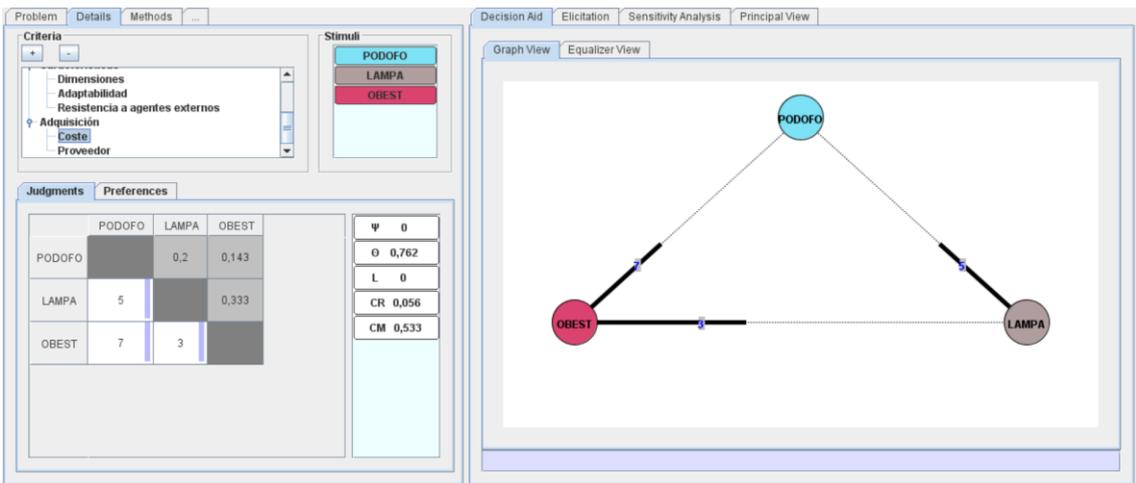


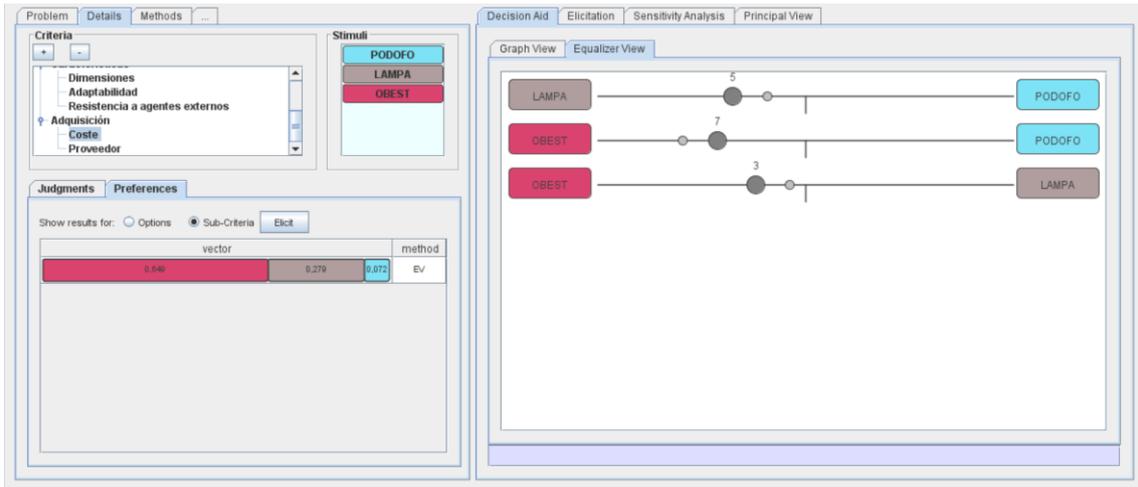


Resistencia a agentes externos

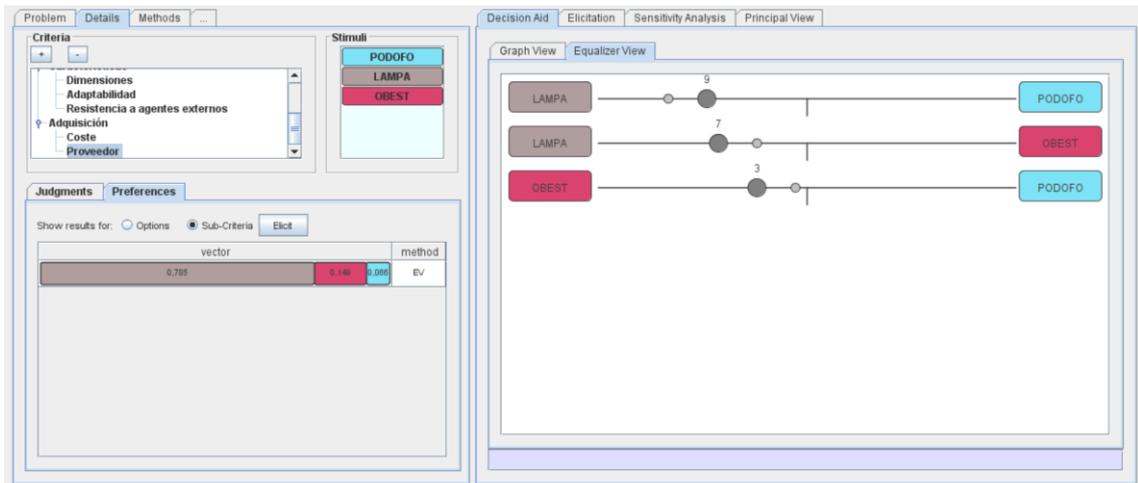
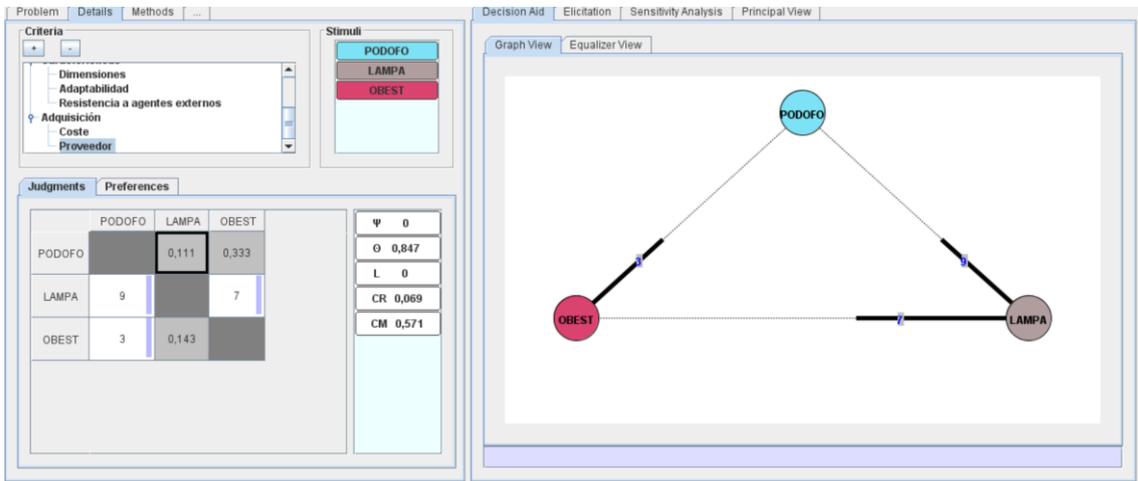


Coste





Proveedor





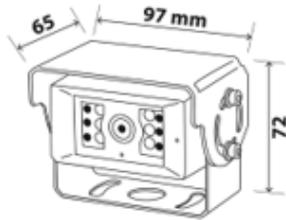
ANEXO IX

TABLA COMPARATIVA DE CÁMARAS

Modelo de Cámara:	PODOFO USB Car Camcorder Driving Recorder Night Vision Tachograph Camera HD 1080P
Marca:	PODOFO
Precio:	56 €
Dimensiones:	50x30x80x10 mm
Visión Nocturna	Sí. Tecnología StarLight
Resolución de imagen:	1920x1080 píxeles Full HD
Ángulo de visión:	170 grados
Capacidad de rotación de ángulo de visión:	Sí. Ajuste de 180 grados del ángulo de visión
Capacidad de almacenamiento:	Sí. Memoria 32G SD
Cable de conexión:	Tipo USB. 2,3 m. 5V
Otras características:	
	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de monitorización 24 horas - Sensor de movimientos - Tecnología WDR: Calibración Automática de imagen en situaciones de excesiva y deficiente luz



Modelo de Cámara:	LAMPA T1 Cámara
Marca:	LAMPA
Precio:	42 €
Dimensiones:	97x65x72 mm
Visión Nocturna	Sí. IR hasta 10 m
Resolución de imagen:	728 x 488 píxeles
Ángulo de visión:	120 grados
Capacidad de rotación de ángulo de visión:	No
Capacidad de almacenamiento:	No
Cable de conexión:	Tipo ATX. ---. 12V. Impermeable.
Otras características:	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor día/noche para ajustes automáticos. - Grado de impermeabilidad IP69K (resistencia al polvo, al agua a alta presión y vapor) - Resiste a temperaturas muy bajas (-30 °C) y muy altas (+70 °C) - Parasol regulable y micrófono integrado





Marca:	OBEST
Precio:	35 €
Dimensiones:	26x26x30 mm
Visión Nocturna	Sí. Tecnología StarLight
Resolución de imagen:	1920x1080 píxeles Full HD
Ángulo de visión:	170 grados
Capacidad de rotación de ángulo de visión:	Sí. 360 grados de rotación de lente y ajuste de 45 grados del ángulo de visión
Capacidad de almacenamiento:	No
Cable de conexión:	Doble. 12-24 V.
Otras características:	
	<ul style="list-style-type: none"> - Grado de impermeabilidad hasta IP68 (resistencia al polvo y al agua) - Chip de descompresión inteligente que garantiza la resistencia al calor y la tensión, puede soportar condiciones climáticas adversas y permite prolongar la vida útil.