



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

ESTUDIO DE VIABILIDAD, CAPACIDADES Y COSTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE SIMULACIÓN DEL VEHÍCULO VRCC CENTAURO

Autor

CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

Director/es

Directora académica: Dra. Dña. María Teresa Lozano Albalate

Director militar: CAP. D. Ismael Gadea Sainz

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
Año 2022



Agradecimientos

No podría empezar de otra forma que no fuese agradeciendo enormemente el apoyo prestado por el Regimiento de Caballería “Lusitania” Nº8 de Paracaidistas, por acogerme y apoyarme durante el periodo de prácticas externas, en especial al Escuadrón Acorazado. Por supuesto, agradecer al Capitán D. Ismael Gadea Sainz, jefe de dicho Escuadrón, por haber dedicado tanto tiempo a guiarme y orientarme, de forma desinteresada, durante el desarrollo del trabajo. También agradecer el esfuerzo del Teniente David Montoya Vaño, del Teniente Andrés Muñoz Egido y del Teniente Rafael Sánchez Amores, cuyo apoyo fue esencial. Además, agradecer también el apoyo de los Sargentos y de la Tropa del Escuadrón, especialmente del Sargento Primero Álvarez y al Sargento Sanchís.

Por otro lado, agradecer el esfuerzo de mi directora académica la Dra. Dña. María Teresa Lozano Albalate, cuya intensa dedicación y e interés me ayudaron enormemente, y sin la cual este trabajo tampoco hubiese sido posible.

Por último, y aunque sobre decirlo, agradecer el apoyo constante de mi familia y de mis compañeros de armas.



RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado busca realizar un estudio de viabilidad sobre las capacidades y costes de un simulador de tiro para el Vehículo de Reconocimiento y Combate de Caballería (VRCC) Centauro del Ejército de Tierra.

Con el fin de facilitar y complementar las actividades de instrucción y adiestramiento en nuestro Ejército, y en especial en la Caballería Española, el uso de simuladores ha sido cada vez más frecuente. Estos simuladores son variados y de diferentes tipos, de forma que cada sistema de armas suele contar con el apoyo de estos, los cuales permiten a las tripulaciones instruirse sin necesidad de encontrarse físicamente en la plataforma. Sin embargo, hay medios que no cuentan con tantos simuladores como otros, de forma que la instrucción en el vehículo no resulta tan provechosa como lo sería si previamente se hubiesen practicado diferentes procedimientos en un simulador. Es por ello que este trabajo propone el diseño de un nuevo simulador de tiro para el VRCC Centauro, que apoye la instrucción de las tripulaciones de este vehículo.

A lo largo de este trabajo se presentarán de forma ordenada todos los aspectos a tener en cuenta a la hora del diseño del simulador, y a su vez se analizan todos ellos para comprobar la viabilidad del proyecto. De esta forma, se presentan los requisitos a cumplir por el simulador de tiro propuesto, así como las diferentes opciones planteadas, y la seleccionada para ser desarrollada. Una vez que se ha descrito de forma general el simulador de tiro que se propone en este trabajo, se presenta un análisis de numerosos aspectos que pretende estudiar la viabilidad de este simulador. Este análisis incluye una descripción general de los elementos que componen el simulador y de su funcionamiento, un estudio eléctrico del sistema y un estudio matemático con el objetivo de analizar la trayectoria del disparo del simulador. Por otro lado, este trabajo también presenta un análisis social del simulador (basado en entrevistas informales y un cuestionario), un exhaustivo análisis económico, un análisis de *stakeholders*, así como un análisis de riesgos que busca la mejora de las capacidades del simulador de tiro propuesto.

Una vez realizados todos estos estudios mencionados anteriormente, el estudio de viabilidad arroja resultados positivos sobre la posibilidad de desarrollar dicho simulador, y así se describe en el último apartado del trabajo, acompañado de una serie de conclusiones de importancia.

PALABRAS CLAVE

Simulador, VRCC Centauro, láser y tiro .

ABSTRACT

This Project aims to conduct a feasibility study on the capabilities and costs of a firing simulator for the Cavalry Reconnaissance and Combat Vehicle (VRCC) Centauro of the Spanish Army.

In order to facilitate and complement the instruction and training activities in our army, and especially in the Spanish Cavalry, the use of simulators has become more and more frequent. These simulators are varied and of different types, so that each weapon system is usually supported by them, which allow the crews to train without the need to be physically on the platform. However, there are vehicles that do not have as many simulators as others, so training in the vehicle is not as beneficial as it would be if the different procedures had been previously practiced in a simulator. That is why this essay proposes the design of a new firing simulator for the VRCC Centauro, which supports the instruction of the crews of this vehicle.

Throughout this work, all the aspects to be taken into account when designing the simulator will be presented in an orderly manner, and at the same time, all of them will be analyzed to check the feasibility of the project. In this way, the requirements to be met by the proposed shooting simulator are presented, as well as the different simulator options suggested, and the one selected to be developed. Once the proposed shooting simulator in this work has been described in general terms, an analysis of numerous aspects is presented in order to study its feasibility. This analysis includes a general description of the elements that



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

compose the simulator and its operation, an electrical study of the system and a mathematical study with the objective of analyzing the trajectory of the simulator firing. On the other hand, this work also presents a social analysis of the simulator (based on informal interviews and a questionnaire), an exhaustive economic analysis, a stakeholder analysis, as well as a risk analysis that seeks to improve the capabilities of the proposed firing simulator.

Once all the aforementioned studies were carried out, the feasibility study yielded positive results on the possibility of developing such a simulator, as described in the last section of the work, accompanied by a series of important conclusions.

KEYWORDS

Simulator, VRCC Centauro, laser, shooting and training.



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	ii
ABSTRACT	ii
KEYWORDS.....	iii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	1
1.2 ÁMBITO DE APLICACIÓN.....	3
1.3 CONTEXTO DE LOS SIMULADORES	3
1.4 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	5
2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	5
2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE	5
2.2 METODOLOGÍA	6
3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO (ESTADO DEL ARTE)	6
3.1 SIMULADORES VIRTUALES.....	6
3.2 SIMULADORES SERIOUS GAMES	7
3.3 SIMULADORES REALES O EN VIVO	8
3.3.1 Simuladores de duelo.....	9
3.3.2 Simuladores de blancos.....	10
3.3.3 Otros simuladores.....	10
3.4 SIMULADORES CONSTRUCTIVOS.....	11
4 DESARROLLO DEL PROYECTO	12
4.1 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	12
4.2 REQUISITOS A CUMPLIR POR EL SIMULADOR	13
4.2.1 Requisitos del emisor láser.....	13
4.2.2 Requisitos de los blancos.....	13
4.2.3 Requisitos de la unidad de control.....	14



4.3	PROCEDIMIENTO DE TIRO DEL VEHÍCULO.....	14
4.4	ESTUDIO DE OPCIONES.....	15
4.4.1	Opción 1: emisor laser de movimiento independiente, en boca del cañón.....	15
4.4.2	Opción 2: emisor láser en boca del cañón.....	16
4.4.3	Opción 3: adaptación de un simulador DSS existente.....	16
4.4.4	Opción 4: emisor láser en el interior de la recámara.	16
4.4.5	Decisión final	17
4.5	ANÁLISIS VIABILIDAD TÉCNICA Y OPERATIVA: FUNCIONAMIENTO DEL SIMULADOR.	18
4.5.1	Elementos del simulador de tiro para VRCC Centauro.....	18
4.5.2	Propuesta de funcionamiento general del simulador de tiro.	19
4.5.3	Propuesta diseño y situación de los elementos.	21
4.5.4	Diseño de circuitos del sistema de simulación.	23
4.5.5	Restricciones en el tiro.	24
4.5.6	Ejemplo de ejercicio de tiro.....	28
4.6	ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA	29
4.7	ANÁLISIS DE VIABILIDAD SOCIAL.....	33
4.8	ANÁLISIS DE <i>STAKEHOLDERS</i>.....	33
4.9	ANÁLISIS DE RIESGOS: FALLOS Y LIMITACIONES DEL SISTEMA.....	35
5	<i>CRONOGRAMA</i>.....	38
6	<i>CONCLUSIONES</i>.....	38
7	<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>.....	XL
	ANEXO A: ORGÁNICA DE LA CABALLERÍA	XLIII
	ANEXO B: VEHÍCULOS DE CABALLERÍA Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS VRCC CENTAURO.....	XLIII
	ANEXO B: PRINCIPALES VEHÍCULOS DE LA CABALLERÍA ESPAÑOLA.	XLIV
	ANEXO C: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS VRCC CENTAURO.....	XLV
	ANEXO D: MUNICIONES PARA VRCC CENTAURO Y TABLAS BALÍSTICAS.....	XLVI
	ANEXO E: TABLA DE TIRO DEL PROYECTIL HEAT-T	XLVII



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

ANEXO F: TABLA DE TIRO DEL PROYECTIL APFSDS-T DM33	XLVIII
ANEXO G: CAUSAS DE LA DISPERSIÓN EN EL TIRO.	XLIX
ANEXO H: PIRÁMIDE DE LA INSTRUCCIÓN	L
ANEXO I: FORMA DE ENFOCAR LA INFLUENCIA HACIA LOS <i>STAKEHOLDERS</i>.	LI
ANEXO J: ELEMENTOS SIMULADOR DE TIRO	LII
ANEXO K: ANÁLISIS DAFO OPCIONES 2 Y 4	LVII
ANEXO L: CUESTIONARIO Y RESULTADOS “UTILIDAD SIMULADOR DE TIRO PARA VRCC CENTAURO”.	LVIII
ANEXO LL: CUESTIONARIO Y RESULTADOS “UTILIDAD SIMULADOR DE TIRO PARA VRCC CENTAURO”.	LIX
ANEXO M: SITUACIÓN DE LOS RECEPTORES EN EL BLANCO	LX
ANEXO N: FICHA DE TIRO PARA TRIPULACIONES VRCC CENTAURO Y ZONAS DE EJERCICIO	LXI



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución del presupuesto del Ministerio de Defensa en euros corrientes. Fuente: SEGENTE, 2019.....	2
Figura 2. Funcionamiento general simulador de tiro para VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de Amazon.....	5
Figura 3. Sistema Steel Beasts. Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019d.	8
Figura 4. Ejercicio de tiro en simulador VICTRIX. Fuente: elaboración propia.....	8
Figura 5. CC Leopard 2A 5 con AGDUS (Izq.) y I-MILES VTESS en un vehículo ligero del U.S. Army (Der.) Fuente: Bundeswehr, 2021 y LOCKHEED MARTIN, 2021	10
Figura 6. Vista kit simulador láser BT 46 (Izq.) y el mismo kit adaptado a carro de combate Leopard 1A5. Fuente: defensa, 2021 y SAAB, 2017.	10
Figura 7. Vista de situación de las ópticas del jefe de vehículo y del tirador en el VRCC Centauro (Izq.) y vista del retículo del tirador, cámara térmica (Der.). Fuente: elaboración propia y Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2014.....	15
Figura 8. Situación de la boca del cañón del VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia.	15
Figura 9. Vista del subcalibre AIMTEST105 instalado en recámara (Izq.) y vista de la recámara (cerrada) del VRCC Centauro (Der.). Fuente: elaboración propia y Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019	16
Figura 10. Líneas y ángulos de tiro. Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2013.	17
Figura 11. Situación del cable conector del disparador del vehículo VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia.....	19
Figura 12. Solenoide del subcalibre AIMTEST105 unido al cable disparador (Izq.) y cable disparador (Der.). Fuente: elaboración propia.....	22
Figura 13. Vista de alzado de la recámara y de los elementos en su interior (Izq.) y vista de la recámara (Der.). VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia.	23
Figura 14. Circuito interno del VRCC Centauro con el simulador de tiro. Fuente: elaboración propia.....	24
Figura 15. Circuito interno Sistema Blancos con el simulador de tiro. Fuente: elaboración propia.....	24
Figura 16. Tiro parabólico. Fuente: elaboración propia con información extraída de Franco, 2010.	25
Figura 17. Tiro parabólico (vista aérea) en movimiento. Fuente: elaboración propia.....	27
Figura 18. Ejercicio de tiro propuesto para VRCC Centauro con simulador láser. Fuente: elaboración propia.....	29
Figura 19. Mapa de situación de las Unidades de Caballería que disponen de VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia	XLIII
Figura 20. Vehículos en orgánica de la Caballería española: VEC (arriba izquierda), CC Leopardo 2E (arriba derecha), CC Leopardo 2 A4 (abajo izquierda) y VCI/C Pizarro (abajo derecha). Fuente: Defensa, 2021.	XLIV
Figura 21. VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia.	XLV
Figura 22. Características disparo APFSDS-T. Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019.....	XLVI
Figura 23. Características disparo HEAT. Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019,	XLVI
Figura 24. Cable disparador subcalibre AIMTEST105. Fuente: elaboración propia.....	LII
Figura 25. Láser MIL-H-1122. Fuente: imagen obtenida de Ultralaser.....	LII
Figura 26. Inversor para simulador de tiro VRCC Centauro. Fuente: imagen obtenida de Amazon.....	LII
Figura 27. Recámara del VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia.....	LIII



Figura 28. Receptor del sistema de blancos del simulador de tiro para VRCC Centauro. Fuente: imagen obtenida de Amazon.....	LIII
Figura 29. Fuente de alimentación receptores, batería OKoman litio. Fuente: imagen obtenida de Amazon.	LIV
Figura 30. Fuente de alimentación sensor, batería DSK 10362. Fuente: imagen obtenida de Amazon. ...	LIV
Figura 31. Antena RF Emisora del sensor del Sistema de Blancos. Fuente: imagen obtenida de Banggood,	LIV
Figura 32. Rotativo JBM 51964. Fuente: imagen obtenida de Amazon.....	LV
Figura 33. Unidad de control PDA “HTC Desire C”. Fuente: imagen obtenida de Amazon.	LVI
Figura 34. Resultados encuesta “Utilidad simulador de tiro para VRCC Centauro” (I). Fuente: elaboración propia.....	LVIII
Figura 35. Resultados encuesta “Utilidad simulador de tiro para VRCC Centauro” (II). Fuente: elaboración propia.....	LIX
Figura 36. Situación de los receptores en el Blanco. Fuente: elaboración propia.	LX
Figura 37. Zonas a establecer en un campo de tiro. Fuente: elaboración propia.....	LXI



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Carros de combate en servicio, y el personal total que forma parte de sus tripulaciones. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Defensa.com e Infodefensa.com.	3
Tabla 2. Clasificación de los simuladores más representativos. Fuente: elaboración propia con información obtenida de las referencias indicadas a lo largo del texto anterior.	11
Tabla 3. Planificación inicial Trabajo de Fin de Grado. Fuente: elaboración propia	12
Tabla 4. Matriz de apoyo a la decisión sobre el simulador a escoger. Fuente: elaboración propia con información obtenida de los CUMAS del EAC del GCPAC I/8.	18
Tabla 5. Modelo de procesos del simulador de tiro del VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia utilizando Visual Paradigm Online.	21
Tabla 6. Ejemplo de altura que alcanza el tiro láser a una determinada distancia x. Fuente: elaboración propia.	26
Tabla 7. Distancia máxima a la que se puede disparar en el simulador para VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia.	27
Tabla 8. Análisis económico de los elementos del Sistema de simulación para VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de: Amazon, Ingesco, Ultra Lasers, Lumetal Plastic y Banggood.	30
Tabla 9. Desglose tareas de mantenimiento para el simulador de tiro para VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia con datos extraídos del manual de mantenimiento del simulador de duelo VCI/C Pizarro (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2012).	31
Tabla 10. Costes anuales mantenimiento, adquisición de repuestos y mano de obra. Fuente: elaboración propia con datos extraídos del manual de mantenimiento del simulador de duelo VCI/C Pizarro (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2012).	32
Tabla 11. Representación de los “stakeholders”. Fuente: elaboración propia	34
Tabla 12. Forma de enfocar la influencia hacia los stakeholders. Fuente: elaboración propia.	35
Tabla 13. Análisis de riesgos. Fuente: elaboración propia.	36
Tabla 14. Clase riesgo antes de medidas. Fuente: elaboración propia.	36
Tabla 15. Análisis de riesgos y medidas. Fuente: elaboración propia.	37
Tabla 16. Clase riesgo después de medidas. Fuente: elaboración propia.	37
Tabla 17. Cronograma del Proyecto. Fuente: elaboración propia.	38
Tabla 18. Características VRCC Centauro. Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2021.....	XLV
Tabla 19. Tabla de tiro del proyectil HEAT-T. Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019.	XLVII
Tabla 20. Tabla de tiro del proyectil APFSDS-T DM33 . Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019.	XLVIII
Tabla 21. Causas de la dispersión en el tiro con cañón. Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019.	XLIX
Tabla 22. Pirámide de la instrucción. Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019.	L
Tabla 23. Forma de enfocar la influencia hacia los stakeholders. Fuente: Sancho Val, J y Torralba Gracia, M, 2021.	LI
Tabla 24. Elementos que componen el Sistema de simulación de tiro para VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Amazon, Bangood y Ultralasers.....	LVI
Tabla 25. Análisis DAFO Opción 2 (Izq.) y 4 (Der.). Fuente: elaboración propia con información extraída de EAC del GCPAC I/8 de Paracaidistas.	LVII



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

Tabla 26. Cuestionario utilidad simulador de tiro para VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia..... LVIII

Tabla 27. Ficha de tiro para ejercicio con simulador de tiro para tripulaciones VRCC Centauro con simulador de tiro. Fuente: elaboración propia. LXI



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AGDUS: *Ausbildungsgerät Duellsimulator*, Simulador de Duelo.

APFSDS: Armour Piercing Fin-Stabilised Discarding Sabot, Perforante Estabilizado con Aletas.

CAC: Caballero Alférez Cadete

CC: Carro de Combate

CENAD: Centro Nacional de Adiestramiento (San Gregorio)

CT: Campo de Tiro

CUMAS: Cuadros de Mando.

DAFO: Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades

DGAM: Dirección General de Armamento y Material

DIREX: Director del Ejercicio.

DSS: *Duel Simulation System*, Sistemas de Duelo láser

DSSLEOP: Sistema de Duelo láser de CC Leopardo

EAC: Escuadrón Acorazado

EAO: Aulas de Enseñanza Asistida por Ordenador

EMAN: Escalón de Mantenimiento.

ET: Ejército de Tierra

FAS: Fuerzas Armadas.

GCPAC: Grupo de Caballería Paracaidista.

HEAT: High Explosive Anti-Tank, Alto Explosivo Contra Carro.

HESH: *High Explosive Squash Head*, Alto Explosivo Plástico.

IAT: Instructor Avanzado de Tiro.

ID: Identificador.

IDT: *Indoor Training*. Entrenador de Sala.

IED: *Improvised Explosive Device*, Artefacto Explosivo Improvisado.

MALE: Mando de Apoyo Logístico del Ejército de Tierra.

MILES: *Multiple Integrated Laser Engagement System*, Simulación de combate personal láser.

MT: Entrenador Mecánico.

NBQ: Nuclear, Biológico, Químico.

ODT: *Outdoor Training*. Entrenador de Campo.

PDA: *Personal Digital Assistant*, Asistente Digital Personal.

RCPAC: Regimiento de Caballería Paracaidista.

RF: Radiofrecuencia.

RPAS: *Remotely Piloted Aircraft System*, Vehículo Aéreo no Tripulado.

SAARA: Sistema Autónomo de Aprendizaje Rápido en Aula.

SEDEF: Secretaría de Estado de Defensa.

SEGENTE: Secretaría General Técnica.

SIAT: Sistemas Integrados para el Adiestramiento Terrestre.



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

SPT: Simulador de Puntería y Tiro Táctico

STO: Simulador de Torre.

VBS: Virtual Battle Space.

VC/C: Vehículo de Combate de la Infantería/Caballería.

VEC: Vehículo de Exploración de Caballería.

VRCC: Vehículo de Reconocimiento y Combate de la Caballería



1 INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En los últimos años el número de conflictos bélicos y de **estados fallidos** ha aumentado considerablemente. Este término hace referencia a aquellos estados que no son capaces de mantener en su territorio el monopolio del uso de la fuerza, por lo que el gobierno es “incapaz de realizar sus funciones básicas, y por consiguiente el orden y la cohesión social se disuelven” (Alonso, 2003). En cuanto a los conflictos de diversa índole que existen en el mundo se suelen clasificar según la naturaleza de cada uno de ellos. De forma que es posible encontrar diferentes tipos en función del motivo del enfrentamiento, los medios que utiliza cada bando o incluso el tipo de actores que se encuentran inmersos en dicho enfrentamiento (Rojas, 2017). Pero las principales tendencias en los conflictos actuales son sin duda los **conflictos híbridos** (Rojas, 2017 y Colom, 2018).

Las guerras o conflictos actuales no tienen por qué ser conflictos simétricos y convencionales como era habitual en el pasado, sino que es posible que los actores que se ven involucrados cuenten con medios dispares e incluso que las tácticas empleadas en el combate sean completamente diferentes (Rojas, 2017). Este tipo de conflictos, que pueden enfrentar a actores estatales como no-estatales, se caracterizan por utilizar tanto tácticas convencionales como no convencionales. Y es habitual que se utilicen las redes sociales, la presión económica y financiera, así como otros métodos de subversión, con el objeto de movilizar a la población, desestabilizar un territorio y/o conseguir el apoyo de la opinión pública. España ya ha reconocido oficialmente la gran amenaza que supone este tipo de acciones para la seguridad del país, y así ha quedado reflejado en la *Estrategia de Seguridad Nacional* elaborada por el Departamento de Seguridad Nacional (2017).

Existen numerosos ejemplos acerca de este tipo de conflictos, y aunque la primera vez que se hizo alusión fue hace más de dos décadas, existen otros ejemplos más modernos, como la Guerra de Siria o la de Crimea, en las que el enemigo fue representado por “belligerentes que, difuminados entre la población, pusieron en práctica acciones asimétricas consistentes en atentados, emboscadas, ataques suicidas, ataques usando artefactos explosivos improvisados (IED), etc.” (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2014a). En ambos conflictos, las fuerzas acorazadas demostraron tener un papel determinante tal y como se menciona en un artículo escrito por Javier Jordán sobre la guerra en el Donbass: “la guerra de Ucrania ha demostrado una vez más el rol insustituible de las fuerzas acorazadas en el combate convencional” (Jordán, 2019).

Como consecuencia de las nuevas tácticas, técnicas y procedimientos de este enemigo híbrido, los carros de combate han ido variando su forma de actuar, a medida que los Ejércitos iban aprendiendo de los errores identificados. A través de las lecciones aprendidas en uno y otro conflicto vemos que la figura del carro de combate (CC) ha sido clave para mantener la superioridad frente al enemigo y se ha convertido, más si cabe, en un factor decisivo. Por consiguiente, los grandes potenciales militares han buscado la modernización de sus carros de combate e incluso del desarrollo de nuevas plataformas¹ similares. Un ejemplo de esta renovación es la aparición del CC ruso Armata T14 o el CC Challenger 3. También cabe destacar las diferentes modernizaciones en el CC francés Leclerc, el CC K2 Black Panther surcoreano o su homólogo estadounidense CC Abrams M1A2C (Meta-Defensa, 2021).

Sin embargo, numerosos estudios y análisis (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2014a; Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2006 y Jordán, 2019) señalan que la **Caballería no perderá el protagonismo** que ostenta actualmente debido a muchas razones, entre las que destacan: su alta capacidad para efectuar ataques en profundidad, los cuales son cada vez más necesarios debido a la ausencia de frentes lineales; la enorme ventaja que aporta en campo abierto y en zonas urbanizadas; su alta capacidad para adquirir información y el notable impacto psicológico en el enemigo. Además, tal y como se menciona en un informe del Mando de Adiestramiento y Doctrina (2014a) acerca de las tendencias futuras de las diferentes especialidades fundamentales: “prácticamente todas las Brigadas de maniobra de los ejércitos de referencia cuentan con una unidad de reconocimiento orgánica (...) especializada en misiones de

¹ Plataforma, sinónimo de “medio”.



reconocimiento y seguridad, lo que reafirma la importancia que tienen este tipo de Unidades” (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2014a).

Por este motivo, la imperiosa necesidad de instruir a las tripulaciones de los vehículos que forman parte de nuestras Fuerzas Armadas (FAS) se ha convertido en una prioridad para que la instrucción pueda realizarse “en todo momento y de forma permanente, incluso en momentos previos al desarrollo del combate” (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2006). Debido a esto, resulta vital preguntarse sobre cómo hacer más eficaz y eficiente la instrucción y el adiestramiento de nuestras Unidades con el objetivo de **contar con una experiencia suficiente antes de que suceda el combate**. Es aquí donde comienza el interés por el desarrollo de simuladores que ayuden a las actividades de instrucción y adiestramiento, siempre siguiendo el orden que indica la conocida pirámide de la instrucción que figura en el [ANEXO H](#).

Asimismo, las **restricciones presupuestarias** en el Ejército Español (ver Figura 1) ha supuesto que se deban utilizar medios que permiten ahorrar una parte de los gastos que supone **el consumo de munición**², especialmente la de mayor calibre (SEGENTE, 2019 y SEDEF, 2021). Por ejemplo, un disparo de munición rompedora (HESH) del Vehículo de Reconocimiento de Combate de la Caballería (VRCC) Centauro cuesta alrededor de 1500€ (MALE, 2018), mientras que los disparos virtuales son gratis e ilimitados.

Además, esta disminución del consumo de munición permite **reducir la enorme huella ecológica y el impacto medioambiental** que supondría el uso de munición de guerra. Y también permite alargar de forma notable la **vida operativa** de los sistemas de armas (Manrique, 2012).

Por último, es interesante mencionar que en la actualidad **solo existe un Campo de Tiro (CT) instrumentalizado que permite la evaluación de las tripulaciones de Unidades acorazadas y mecanizadas**: se trata del Campo de Tiro Boyero, el cual se encuentra localizado en el Centro de Adiestramiento de San Gregorio (CENAD), localizado en Zaragoza. Lo que significa que las Unidades de Caballería con VRCC Centauro en su orgánica deben trasladarse allí si quieren realizar la evaluación de las tripulaciones (Ejército de Tierra, 2021a)

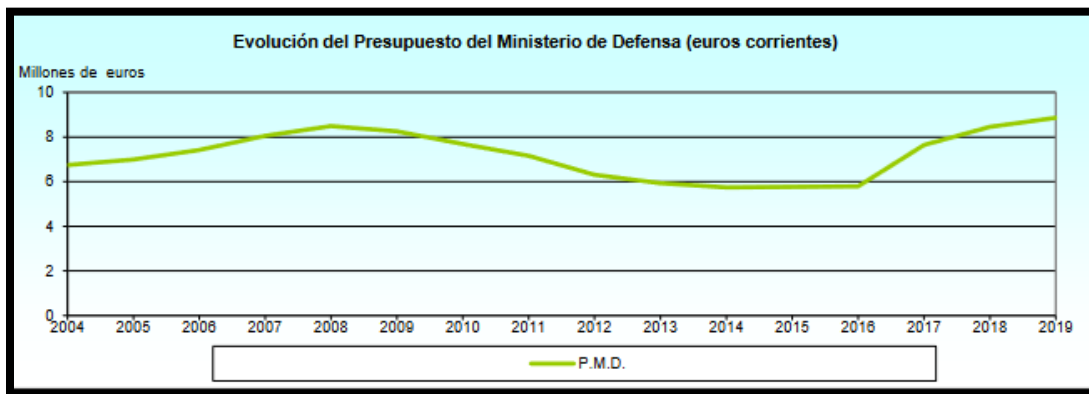


Figura 1. Evolución del presupuesto del Ministerio de Defensa en euros corrientes. Fuente: SEGENTE, 2019.

Sin embargo, también es importante señalar que la adquisición de estos sistemas de simulación también presenta una serie de desventajas: en primer lugar, no son precisamente baratos, y, por otro lado, siempre hay que tener en cuenta que el uso abusivo de estos medios podría provocar que el realismo de la instrucción decaiga, debido a que algunos factores externos dejan de influir en la instrucción. Este concepto es explicado por el General de Brigada (del Ejército de Chile) D. Osvaldo Bahamondes Masafierro (2015), quién sostiene que:

La integración de los simuladores en la instrucción no puede realizarse en forma aislada ya que su objetivo no es, como a veces se cree, hacer más atractiva la instrucción o reemplazar la labor del docente, sino que debe considerarse como algo además de, y no en vez de.

² Solo en el año 2017 se destinaron más de 15 millones de euros al consumo de munición y explosivos, de ese dinero, más del 95% fue destinado al Ejército de Tierra.



1.2 ÁMBITO DE APLICACIÓN

La Caballería es por excelencia el Arma del reconocimiento, de la seguridad y del contacto (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2020). Dadas estas importantes misiones, es de imaginar que las actividades de instrucción y adiestramiento deban ser lo más realistas, completas y eficaces posible. Pero además es una instrucción que debe mantenerse en el tiempo sin bajar el nivel alcanzado, por lo que todas y cada una de las tripulaciones de los vehículos en servicio en el Ejército de Tierra (ET), especialmente los vehículos blindados y carros de combate, deben estar en perfecta situación y condición para participar en un posible conflicto armado.

Tipo de Vehículo	Datos	Número de vehículos	Tripulación por vehículo	Cantidad tripulantes
VRCC Centauro		84	4	336
CC Leopardo 2A 4		108	4	432
CC Leopardo 2E		219	4	876
TOTAL		411	-	1644

Tabla 1. Carros de combate en servicio, y el personal total que forma parte de sus tripulaciones. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Defensa.com e Infodefensa.com.

Como se puede observar en la Tabla 1, la alta cantidad de personal esencial que debe estar perfectamente instruido para el combate (1644 militares) hace que la instrucción³ deba ser lo más eficiente posible, tanto por su duración como por su coste. Por esta razón, el uso de simuladores permitiría reducir este gasto económico y a su vez permitir una eficaz formación y mantenimiento de las actividades de instrucción y adiestramiento. Para más información acerca de las Unidades de Caballería españolas con VRCC Centauros en su orgánica, consultar [ANEXO A](#).

Por otro lado, las Unidades de Caballería del ET cuentan con diversos medios a través de los cuales desarrollan las misiones encomendadas. Entre estos medios cabe destacar al Vehículo de Exploración de Caballería (VEC), el Vehículo de Combate de la Infantería/Caballería Pizarro (VCI/C), el CC Leopardo 2A4, el CC Leopardo 2E y el VRCC Centauro (Ejército de Tierra, 2021b). Los diferentes vehículos mencionados pueden observarse en el [ANEXO B](#).

Este trabajo propone y analiza la viabilidad de un simulador de tiro propuesto para el vehículo VRCC Centauro anteriormente mencionado. Esta plataforma a la que se hace mención, es un vehículo de reconocimiento y combate de caballería sobre ruedas 8x8 que tiene su origen en Italia⁴ y que fue adquirido por el Ejército de Tierra español entre los años 2002 y 2006, no siendo el único país que reclamó los servicios de este vehículo (Omán, EEUU y Jordania también lo hicieron). Las características técnicas más específicas de este vehículo pueden consultarse en el [ANEXO C](#).

1.3 CONTEXTO DE LOS SIMULADORES

Los sistemas de simulación son muy útiles para mantener unas Fuerzas Armadas preparadas y capaces para actuar en cualquier situación. Tal y como menciona J.L Expósito (2012, p.6) en una publicación para la Revista Española de Defensa:

La simulación es un elemento más de la instrucción que complementa a los ejercicios con fuerzas y medios reales sobre el terreno que siguen siendo fundamentales para una adecuada

³ En el [ANEXO H](#) puede comprobarse cómo la tripulación necesita pasar por diferentes fases para considerarse “preparada para el combate”, de ahí la importancia de una instrucción constante y real.

⁴ Este vehículo en el Ejército Italiano es conocido como *Freccia*.



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

preparación (...). En el ámbito docente e incluso después en las Unidades de destino, la simulación permite un seguimiento personalizado de la formación del alumno.

Por otro lado, el por entonces Jefe del Estado Mayor del Ejército, el Excelentísimo Señor D. Francisco Javier Varela Salas, afirmó en 2019 en el marco del Proyecto Fuerza 2035, que la nueva Brigada 2035⁵ estará “capacitada para constituir organizaciones operativas flexibles y cohesionadas, dotada de medios tecnológicamente avanzados y formada por personal altamente motivado y preparado” (García, 2019). Este proyecto que engloba a todas las Unidades del ET busca una transformación del Ejército, que consiste en su modernización con la incorporación de tecnologías de última generación (Ejército de Tierra, 2021f). Dentro de este programa los simuladores desempeñan un importante papel, al ser los medios que se encargan de poner a prueba los nuevos conceptos introducidos (Martín, 2018 y García-Conde, 2019).

Es de imaginar, por consiguiente, que los sistemas de simulación sean diversos y variados, de forma que se pueda instruir al personal en todos aquellos aspectos y situaciones para las que el combatiente debe estar preparado. Estas situaciones no solo tendrán que ver con los aspectos tácticos de la maniobra o con el propio conocimiento del vehículo, sino que también tienen que ver con la instrucción en el aspecto operacional. Debido a esto, es vital que exista un amplio abanico de simuladores que permitan instruir al personal en multitud de aspectos diferentes, por lo que los simuladores se clasifican en diferentes grupos en función de su objetivo (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2014c):

- Simuladores virtuales: aquellos en los que personas reales operan sistemas simulados. Se simulan los resultados de acciones o enfrentamientos. Existen simuladores para helicópteros, carros y vehículos de combate, escuela de conductores y sanitaria, artillería y misiles y RPAS (Remotely Piloted Aircraft System).
- Serious games: son aquellas aplicaciones dedicadas a la instrucción en forma de videojuegos. Destacan el Steel Beasts y el Virtual Battle Space (VBS)
- Simuladores constructivos: consisten en Unidades enfrentadas en un ambiente simulado que varía en el transcurso del ejercicio.
- Simuladores reales o en vivo: son aquellos donde personas reales operan sistemas reales y donde se simulan los resultados del enfrentamiento. En este tipo de simuladores encontramos los blancos (SAAB y LOMAH), los simuladores de tiro (NOPTTEL, VICTRIX y Tirador de precisión STS), los simuladores para ambiente Nuclear, Biológico y Químico o NBQ (CAMSIM, AN, PDR-77), los simuladores IED (KIT IED, C-IED) y los simuladores de Duelo (Individual para Infantería, CC Leopardo, VCI/C Pizarro, AGDUS y SIB).

Al ser los vehículos y sistemas de armas tan variados y diversos, es de imaginar que también lo sean los tipos de simuladores que se utilizan para la instrucción en cada una de las plataformas. Sin embargo, resulta llamativa la diferencia existente entre el número de simuladores destinados a cada uno de los vehículos. De esta forma, si se lleva a cabo la comparación entre el CC Leopardo 2E y el VRCC Centauro, vemos que el primero cuenta con el simulador de torre (STO), el Simulador de duelo para el CC Leopardo (DSSLEOP) y el simulador tipo Serious Games Steel Beasts (todos ellos se desarrollarán en el [Apartado Estado del arte](#)). Por el contrario, el VRCC Centauro solo dispone de este último, aunque también disponga del subcalibre AIMTEST105 (no es un simulador como tal) para la instrucción de las tripulaciones.

El subcalibre es una herramienta que se “introduce en el interior del cañón y se conecta al circuito de disparo del tirador, por lo que permite la ejecución de ejercicios de tiro con fuego real con munición de 12,70 mm en las mismas condiciones que se realizaría con el cañón de 105 mm” (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019). El subcalibre surge de un concepto parecido a los simuladores, ya que, entre otras muchas

⁵ El concepto de Fuerza 2035 es un proyecto a largo plazo de transformación del Ejército de Tierra que tiene como objetivo principal adaptarse al entorno operacional que se prevé, de forma que es necesario realizar ciertos cambios en el entorno de Seguridad y Defensa y en la interoperabilidad de los países de las Alianzas entre otros cambios. Todas estas modernizaciones obligan a una evolución en el concepto de sus Brigadas, de forma que la “Brigada 35” será la unidad de referencia de la “Fuerza 35”. Y será apta para su empleo en todo el espectro del conflicto, permitiendo servir de herramienta fundamental a la política exterior del Reino de España (Ejército de Tierra, 2021f).



ventajas, permiten reducir el consumo de munición. Teniendo en cuenta la escasez de simuladores para el VRCC Centauro, se hace necesaria y oportuna la búsqueda y/o desarrollo de un nuevo simulador que pueda completar la instrucción de las tripulaciones de la mencionada plataforma.

El simulador que se busca en este trabajo está encuadrado dentro de los “simuladores reales o en vivo”. La propuesta de funcionamiento del simulador de tiro a desarrollar consiste en un láser adaptado al cañón principal del VRCC Centauro, que, una vez que la tripulación haya realizado el procedimiento de tiro correspondiente, se simula el disparo de munición 105 mm a través de un haz láser disparado por un emisor. Dicho disparo es recibido por un blanco portable en el que se encuentran una serie de receptores, los cuales replican los resultados a una unidad de control. Al tratarse de un disparo láser no es necesario trasladarse a un campo de tiro especializado ni tampoco tomar tantas medidas de seguridad. En la siguiente figura se puede observar el funcionamiento general del simulador de tiro para VRCC Centauro.



Figura 2. Funcionamiento general simulador de tiro para VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de Amazon.

1.4 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

En primer lugar, se presentan de forma clara los objetivos a alcanzar en este Trabajo de Fin de Grado, así como las herramientas a utilizar en este. Seguidamente, se desarrolla de forma detallada la situación de la tecnología actual del entorno del proyecto, es decir, los simuladores más destacados existentes en la actualidad y la forma en la que están clasificados. Tras haber analizado el Apartado Estado del Arte, se procede a desarrollar el Apartado de Desarrollo del trabajo, el cual comienza con la planificación que se ha seguido durante el proyecto, y continúa con la descripción de los requisitos generales que deben tener los elementos principales del sistema de simulación propuesto. Una vez que se han presentado los requisitos del simulador, a continuación, se describen detalladamente una serie de opciones que permitirían alcanzar los objetivos del trabajo planteados en el Apartado de Objetivos y metodología. Tras evaluar y analizar las opciones, se indica la opción elegida.

Seguidamente, se lleva a cabo el análisis de viabilidad del simulador propuesto, para lo cual se realiza un análisis técnico y operativo del sistema, a través del diseño eléctrico del sistema, así como diferentes cálculos a realizar. Además, se lleva a cabo un análisis económico y un análisis social del simulador propuesto. Seguidamente, se analizan los posibles *stakeholders* y la forma en la que estos influyen en el proyecto, así como un análisis de riesgos. Por otro lado, se presenta un cronograma del proyecto que muestra el ritmo de trabajo seguido, basándose en la planificación inicial. Finalmente, se desarrollan de forma clara las conclusiones a las que se ha llegado en la elaboración de este Trabajo de Fin de Grado.

2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

El objetivo principal del trabajo es estudiar la viabilidad de adaptar un sistema de simulación de tiro al cañón del VRCC Centauro, así como utilizar unos blancos transportables y una unidad de control en la que se repliquen los resultados del tiro, obtenidos en los blancos. Estos objetivos se pueden alcanzar a través de otros más específicos:

- Analizar las necesidades de las Unidades de Caballería con VRCC Centauro en su orgánica, en relación al simulador de tiro que se propone y se analiza en este trabajo.
- Estudiar los simuladores existentes, y explorar la posibilidad de diseñarlo con medios propios.
- Elegir la opción que más se adapte a las necesidades de las Unidades.
- Estudiar y definir los requisitos que debe cumplir el sistema de simulación en cuestión.
- Estudiar los costes totales de la adquisición de este nuevo simulador.

En cuanto al alcance del proyecto, se parte de la idea de que no se busca realizar un diseño técnico exhaustivo del sistema de simulación, sino un diseño suficientemente detallado para que pueda ser utilizado como base para una posible línea de trabajo futuro que tenga el objetivo de implantar las conclusiones en este trabajo.

Una importante restricción con la que cuenta este proyecto es la ausencia de información respecto a las características técnicas de los diferentes simuladores consultados. Esto se debe a la confidencialidad, a la que, por motivos de seguridad, están sometidos la mayoría de los contratos firmados entre las empresas que ofertan simuladores a los diferentes ejércitos.

2.2 METODOLOGÍA

En lo que se refiere al análisis y a las herramientas utilizadas durante el trabajo, se ha hecho uso de métodos cualitativos, a través de entrevistas y cuestionarios, y de métodos cuantitativos. Para esto último se han realizado: un análisis de riesgos, enfocado al desarrollo del simulador; dos análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (DAFO), utilizados para apoyar la decisión sobre cuál de los simuladores es el ideal para este proyecto, así como una matriz de apoyo a la decisión, que busca el mismo fin; un análisis de viabilidad económica sobre el simulador; un análisis de grupos de interés (o de *stakeholders*); una planificación y un cronograma para utilizar como referencia durante el desarrollo del trabajo; también se ha realizado un análisis de viabilidad económica así como herramientas matemáticas relacionadas con la elaboración de funciones y circuitos eléctricos.

3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO (ESTADO DEL ARTE)

El interés por la instrucción de las Unidades en la mayoría de los ejércitos modernos ha provocado que los avances en el uso de simuladores sean constantes y exponenciales durante los últimos años, donde la complejidad, el alto costo y el ambiente operacional de los sistemas de armas modernos han alentado y fomentado estas modernizaciones. Apoyando esta idea, Diego Jayme Biondi (1992) afirma que los simuladores “se han convertido en una herramienta eficaz para la instrucción individual, especialmente en esta era de presupuestos y armamentos ajustados”.

A continuación, se introducen aquellos modelos de simuladores existentes en la actualidad y que están clasificados tal y como se explicó en el [Apartado Contexto de los simuladores](#), donde se describen brevemente los simuladores virtuales, *serious games*, reales o en vivo y los constructivos. (Bahamondes, 2015).

3.1 SIMULADORES VIRTUALES

Los simuladores virtuales, son utilizados para el manejo y la instrucción en muy diferentes sistemas de armas y vehículos. Cabe destacar: simulador de torre (**STO**), simulador de puntería y tiro táctico (**SPT**)



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

y simulador de conducción (**SCO**) para la plataforma del CC Leopard 2E. Estos sistemas permiten el adiestramiento para el tiro y para la conducción de dicho vehículo; **aulas de enseñanza asistidas por ordenador (EAO)**, las cuales facilitan notablemente el conocimiento de vehículos acorazados y mecanizados del tipo CC Leopard y VCI/C Pizarro o el **Sistema Autónomo de Aprendizaje Rápido en Aula (SAARA)**, el cual persigue el adiestramiento de los tiradores de Alcotán.

En relación a los simuladores anteriores, también cabe destacar el **Equipo de Adiestramiento en Campo (ODT)** que está diseñado para instruir al personal en el lanzamiento del misil Spike. Además, también cuenta con las modalidades de entrenador de sala (**IDT**) y de entrenador mecánico (**MT**), como suele ser habitual en este tipo de simuladores (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2014c). Por otro lado, Indra también ha sido la encargada de suministrar unos modernos **sistemas de simulación virtuales para el VCI Pizarro** (Navarro, 2020). El uso de este simulador se une a los otros dos simuladores de este vehículo con los que cuenta el ET, estos son el Steel Beasts y el simulador de duelo para Pizarro (de ambos sistemas se hablará posteriormente). Por último, destaca también el **simulador de helicópteros** de Indra (Defensa, 2020) instalado en la Academia de Aviación del Ejército de Tierra.

3.2 SIMULADORES SERIOUS GAMES

El desarrollo de simuladores del tipo Serious Games (consultar [Apartado Introducción](#)) permiten adiestrar a las unidades en el manejo táctico de múltiples medios como helicópteros, vehículos o diferente tipo de armamento, a través de aplicaciones en forma de videojuegos. La empresa Bohemia desarrolló el **Virtual Battle Space 2.0 (VBS 2)** con el objetivo de mejorar la instrucción táctica militar y los ensayos de misión (Ejército de Tierra, 2021c). De entre las muchas posibilidades que aporta, destaca la capacidad de instruirse en ambiente IED, NBQ, combate en zonas urbanizadas y contrainsurgencia. Dichas operaciones son monitorizadas durante su desarrollo con vistas a un futuro juicio crítico⁶. En el ámbito internacional, cada vez es más utilizada la versión posterior, denominada **VBS-3 (Bohemia Interactive Simulation, 2021)**. En relación a este tipo de simuladores es importante mencionar el simulador **Steel Beasts** (ver Figura 3), protagonista en la instrucción de las Unidades mecanizadas y acorazadas del ET. Este simulador persigue la instrucción, “tanto individual como de las tripulaciones” (Ejército de Tierra, 2021d) del CC Leopard 2E, del VCI/C Pizarro, del RG-31, del VEC y del VRCC Centauro. De forma que todos los puestos tácticos están ocupados y el enlace entre los mismos es constante. Steel Beasts simula de forma realista el interior de los vehículos y se utiliza para instruir a las tripulaciones en los diferentes procedimientos y coordinaciones dentro del vehículo, así como en los aspectos tácticos. Es importante mencionar que, debido a los buenos resultados que ha arrojado el uso de este simulador, se han hecho mejoras importantes en el hardware del sistema, como el empleo de monitores táctiles para hacer más realistas los paneles y mandos de cada vehículo, además de la creación de los llamados “puestos tácticos inmersivos”. Esta última mejora ha sido llevada a cabo por Regimiento de Caballería “Farnesio” Nº12, el cual se ha convertido en pionero en este sentido, al diseñar e instalar unas cabinas individuales que recrean el aislamiento que se vive durante el combate en diferentes plataformas (Ejército de Tierra, 2019b).

⁶ Este concepto hacer referencia a la extracción de lecciones identificadas después de cada operación, actividad o similar. Esto permite analizar los errores cometidos para evitar que vuelvan a suceder,



Figura 3. Sistema Steel Beasts. Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019d.

3.3 SIMULADORES REALES O EN VIVO

El uso de los simuladores para los combatientes a pie como los sistemas **VICTRIX** o **NOPTEL**, que reproducen escenarios y ejercicios virtuales, donde los combatientes utilizan armas reales equipadas con emisores láser (ver Figura 4). Han demostrado, y siguen demostrando sus grandes capacidades para la mejora de la instrucción del personal del ET. A pesar de ello, ambos presentan ciertas limitaciones, especialmente relacionadas con su mantenimiento, el cual resulta costoso y sumamente complicado. En unas entrevistas realizadas en el Regimiento de Infantería “Saboya” N.º 6 por el CAC José Ignacio Sánchez Ruiz (Sánchez, 2018), los encargados de mantener y coordinar este simulador sostenían



Figura 4. Ejercicio de tiro en simulador VICTRIX. Fuente: elaboración propia.

que su uso era muy beneficioso para la instrucción básica del combatiente (Sánchez, 2018). Por otro lado, el Ejército de Tierra Italiano utiliza un simulador de características similares llamado **FATS**, que emplea armas de aire comprimido para llevar a cabo ejercicios donde se interactúa con imágenes proyectadas en una pantalla. Muchas características del simulador coinciden con las del **LMTS23** (desarrollado por EOTech Beamhit), el cual está orientado a la instrucción de tiradores de precisión, y consiste en: un láser que se acopla al cañón del fusil; una cámara detectora láser; una caja de conexiones y una estructura donde se guardan todos los componentes y donde se colocan los distintos blancos que se utilizan como objetivos (Naranjo, 2016). Por otro lado, en el ámbito internacional destaca el **simulador de realidad aumentada URBAN** para la instrucción de los combatientes a pie (similar al simulador VICTRIX). Dicho sistema permite a los combatientes visualizar el mundo real con información virtual añadida, de forma que se asocian las nuevas tecnologías de realidad aumentada con los medios físicos y simuladores de realidad virtual. Los combatientes utilizan unas gafas con las que pueden percibir imágenes digitales creadas imitando los efectos del entorno. En este sistema se hace fuego con armas de *airsoft*⁷ sobre blancos inteligentes. Este sistema de simulación es utilizado por el Ejército Británico, entre otros muchos países (Ejército de Tierra, 2019a)

⁷ Son réplicas de armas de aire comprimido de baja potencia. Están diseñadas para disparar proyectiles esféricos normalmente de plástico o un material similar.



3.3.1 Simuladores de duelo.

Dentro de los simuladores “reales o en vivo” que más relación y similitud tienen con el tipo de simulador que se propone en este trabajo, son sin duda los de tipo duelo. Este tipo de simuladores funcionan siguiendo una estructura general. Donde los dos elementos principales son un láser y unos receptores. De forma que se simula un combate real siguiendo el procedimiento de tiro habitual. Para determinar el punto de impacto, el sistema analiza una serie de datos y concluye si se ha acertado en el objetivo (Barranco, 2018). A partir de ahí, se emite una señal (acústica o visual) de diferentes características en función del estado del vehículo/combatiente enemigo. La diferencia principal que tienen este tipo de sistemas con el que se busca en el trabajo es que el tiro no se realiza sobre otro vehículo real con receptores, sino que se realiza sobre unos blancos estáticos.

Uno de este tipo es el **Simulador de Duelo para Combatiente Individual (IWS-PAN⁸)**. Este es un simulador para los combatientes a pie, destinado a la instrucción individual. Cada uno de los individuos porta detectores sujetos a su equipo, que captan las señales transmitidas por los láseres acoplados a los fusiles que recrean los alcances y efectos de las armas reales. El IWS-PAN es capaz de registrar los disparos realizados, tanto impactos como fallos cercanos, así como el estado del combatiente. Además, este tipo de sistemas también puede ser acoplado a vehículos (Ejército de Tierra, 2013). Sin embargo, en el ET se dispone del **Sistema de Duelo láser (DSS) para el CC Leopardo 2E y para el VCI/C Pizarro** (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2017). El funcionamiento general es exactamente el mismo. Si bien es cierto que este simulador permite aumentar el realismo en la instrucción, también es importante mencionar que tiene ciertas limitaciones (Barranco, 2018; Marabotto, 2019). Existen otro tipo de simuladores de duelo, como por ejemplo el conocido e internacionalizado simulador para vehículos **BT-46** (y su análogo para combatientes a pie, **BT-47**) desarrollado por la empresa escandinava SAAB. Su eficaz servicio ha causado que muchos países busquen hacerse con sus servicios. Este es el caso de Chile, Italia, Canadá, Bélgica o Alemania, que recientemente ha decidido actualizar los simuladores de los vehículos y carros de combate de su ejército (El Radar, 2018 y Galaxia Militar, 2019). Por otro lado, el simulador **Multiple Integrated Laser Engagement System o Sistema Integrado Múltiple de Enfrentamiento Láser (MILES)** es un simulador de duelo utilizado por otros tantos ejércitos del mundo (ver Figura 5). En un primer momento funcionaba de tal forma que el disparo de un cartucho de fogeo llevaba al sistema a activarse por el ruido que generaba, lanzando una ráfaga de láser codificado. Con el paso de los años fueron surgiendo nuevas mejoras de este sistema con mejores baterías y un menor consumo, además de incorporar modelos para vehículos acorazados y diferentes armas tipo fusil y ametralladora. El actual simulador fue desarrollado en 2006 por la empresa SAAB junto con Lockheed Martin. La gran innovación es que puede ser utilizado en el CC M1 Abrams y el VCI Bradley, ambos de origen estadounidense (Barranco, 2018). Este simulador guarda ciertas similitudes con el simulador de duelo **Ausbildungsgerät Duellsimulator (AGDUS)**, en servicio en el Ejército alemán, y utilizado en diferentes plataformas como en los CC Leopard 2, en el Armored Fighting Vehicle Marder 1 A3, en la pistola G3, en el fusil de asalto HK G36, en los misiles contracarro MILAN, etc. (ver Figura 5). Sin embargo, el gran inconveniente del sistema AGDUS es que no es compatible con el sistema MILES americano, al llevar un sistema de codificación diferente a este (Barranco, 2018).

⁸ Este simulador guarda gran similitud con el **SISEVALTIS II** argentino (Pitt, 2019).



Figura 5. CC Leopard 2A 5 con AGDUS (Izq.) y I-MILES VTESS en un vehículo ligero del U.S. Army (Der.)
Fuente: Bundeswehr, 2021 y LOCKHEED MARTIN, 2021

3.3.2 Simuladores de blancos

En cuanto a los **simuladores reales de blancos**, destacan en el ámbito internacional los **sistemas SAAB**, fabricados por la empresa del mismo nombre, que cuenta con un gran prestigio a nivel mundial. De entre los países a los que ha suministrado sus sistemas destacan Chile, Brasil, Alemania o EEUU (SAAB, 2018). Por otro lado, también es interesante nombrar a los sistemas de **blancos LOMAH**, los cuales, entre otras capacidades, permiten la transmisión de los datos del impacto proporcionando una representación gráfica, así como una serie de parámetros de medida (Martín, 2018).

3.3.3 Otros simuladores

El simulador BT-46 (ver Figura 6), anteriormente mencionado, es un simulador de tiro de tipo duelo de doble vía⁹, empleado para llevar a cabo la instrucción y adiestramiento de tiro con el armamento de múltiples sistemas de armas. Jyrki Kujansuu, presidente de SAAB Technologies en Polonia defiende que el simulador es capaz de reproducir los parámetros del arma y el punto de impacto de un proyectil simulado. Además, y en concordancia con la afirmación anterior, el Comandante de Caballería Blindada del Ejército chileno D. Alberto Villarroel Rivera afirma que: “el objetivo de utilizar este tipo de sistema de simulación es evaluar las diferentes técnicas de combate (...) para medir la eficiencia técnica del personal en el uso del material” (SAAB, 2020).



Figura 6. Vista kit simulador láser BT 46 (Izq.) y el mismo kit adaptado a carro de combate Leopard 1A5.
Fuente: defensa, 2021 y SAAB, 2017.

El éxito de estos sistemas de simulación queda reflejado en que se han distribuido más de 7000 simuladores para más de 100 aplicaciones en todo el mundo (Bermejo, 2017).

⁹ Un simulador de doble vía cuenta con la capacidad para disparar sobre objetivos predispuestos (blancos) o como un sistema de duelo láser (actividades de duelo amigo-enemigo)



Uno de los ejércitos que se hizo con los servicios de este simulador fue el italiano. Es interesante mencionar a este Ejército, no solo por la estrecha colaboración y enlace constante que existe entre sus FAS y las españolas, sino también por el vehículo que tenemos en común: el VRCC Centauro. En relación con esto, Italia lleva desarrollando un proyecto con el que pretende mejorar la capacidad de adiestramiento de las unidades terrestres (entre las que se encuentran sus vehículos VRCC Centauro) mediante la constitución de una serie de centros de simulación de diversa tipología, es el llamado Plan SIAT (“Sistemas Integrados para el Adiestramiento Terrestre”), enmarcado en la nueva estrategia de Defensa y de instrucción y adiestramiento, similar a nuestra Fuerza 2035. El Plan SIAT representa otro ejemplo más de los esfuerzos de las principales potencias militares del mundo en el uso y adquisición de simuladores. Así pues, el Ejército de Tierra italiano se está dotando, entre otros sistemas, del simulador **VBS3**; de los sistemas **SIMUNITION**, **DELCON** y **TARGETS SUBIC**, lo que permitirá el desarrollo de las actividades de instrucción y adiestramiento *live* en ambiente simulado. (Bermejo, 2016; Bermejo, 2017 y Barrio, 2018).

3.4 SIMULADORES CONSTRUCTIVOS

Para terminar, y con el objetivo de dar una perspectiva aún mayor sobre los diferentes sistemas de simulación existentes, es interesante mencionar que no todos los simuladores afectan a unidades de la fuerza. El ET también cuenta con un moderno sistema de simulación que permite la conducción de operaciones militares simuladas de los Cuarteles Generales de las Brigadas y de las planas mayores de los Grupos Tácticos. Se trata del **simulador Minerva**, fabricado por la empresa francesa Masa Group (Infodefensa, 2020). Aunque es importante mencionar que aún no se encuentra completamente operativo, por lo que aún no ha reemplazado en su totalidad al anterior simulador denominado **Casiopea**. Merece la pena destacar también el desarrollo de medios para la mejora del planeamiento utilizando las nuevas tecnologías, y un ejemplo es el **cajón de arena digital**. Dicho sistema, aunque no pueda considerarse un simulador como tal, sí que ayuda enormemente al planeamiento de las operaciones mediante el aprovechamiento de las nuevas tecnologías (Ejército de Tierra, 2021e). En el pasado, el cajón de arena se utilizó como instrumento de ayuda en la exposición de las operaciones, utilizando la arena para describir gráficamente el terreno, representando accidentes topográficos o utilizando objetos que hiciesen las veces de vehículos, edificaciones u otros obstáculos (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019). Actualmente esta técnica se ha “reinventado mediante el empleo de sistemas audiovisuales e informáticos, obteniendo un sistema mucho más visual” (González del Alba, 2019).

A modo de resumen, en la siguiente tabla se presentan los simuladores que se han considerado más representativos de entre los que se ha mencionado a lo largo de este apartado:

TIPO DE SIMULADOR	ÁMBITO DE USO	NACIONALES	INTERNACIONALES
Simuladores virtuales		-Simulador de helicópteros -STO, SPT y SCO (Leopardo, Pizarro...) -EAO (Leopardo, Pizarro...) -SAARA (Alcotán) -ODT, IDT y MT (Spike)	
Simuladores reales o en vivo		-VICTRIX -NOPTEL	-FATS -LMTS23 -URBAN
Simuladores <i>Serious Games</i>		-Virtual Battle Space 2.0 (VBS 2) -Steel Beasts	-Virtual Battle Space 3.0 (VBS 3)
Simuladores constructivos		-Minerva -Casiopea	

Tabla 2. Clasificación de los simuladores más representativos. Fuente: elaboración propia con información obtenida de las referencias indicadas a lo largo del texto anterior.



4 DESARROLLO DEL PROYECTO

Durante este apartado se establecerán y analizarán detalladamente los requisitos del sistema de simulación a desarrollar, y se llevará a cabo un análisis de viabilidad técnica, económica, y social del sistema. Por último, se llevarán a cabo dos análisis diferentes de notable importancia: el primero es un análisis de *stakeholders* o de grupos de interés; y el segundo consiste en un análisis de los riesgos a los que hacer frente en el desarrollo de este nuevo simulador.

4.1 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

Como se ha mencionado anteriormente, antes de comenzar con el desarrollo del proyecto se presentará de forma general la planificación que se ha tenido en cuenta a la hora de desarrollar el trabajo (ver Tabla 3). Además, es importante añadir que en la parte final de este trabajo se ha incluido un apartado donde se detalla la cronología que se ha seguido, y que está basada en esta planificación. Esto se debe a que la planificación inicial no siempre se ha podido seguir tal y como se marcaba.

ID	Actividad	Día de inicio (dd/mm/aa)	Día de Fin (dd/mm/aa)	Duración (días)
1	Recopilación de información	07/07/21	12/09/21	65
2	Establecer objetivos, alcance y planificación a seguir	06/09/21	12/09/21	7
3	Análisis de los requisitos del simulador	06/09/21	19/09/21	14
4	Estructura general trabajo y planteamiento de la metodología	06/09/21	08/09/21	3
5	Redacción Introducción (Estructura de la memoria no)	06/09/21	12/09/21	7
6	Redacción Estado del Arte	13/09/21	19/09/21	7
7	Funcionamiento simulador de duelo	20/09/21	21/09/21	2
8	Estudio de opciones	22/09/21	24/09/21	3
9	Análisis de viabilidad social, y análisis de <i>stakeholders</i>	25/09/21	26/09/21	2
10	Desarrollo funcionamiento simulador	27/09/21	10/10/21	14
10.1	Desarrollo láser	27/09/21	10/10/21	14
10.2	Desarrollo blanco y unidad de control	30/09/21	10/10/21	11
11	Análisis económico y de riesgos	04/10/21	10/10/21	7
11.1	Análisis económico	04/10/21	10/10/21	7
11.2	Análisis de riesgos	09/10/21	10/10/21	2
12	Desarrollo de conclusiones	11/10/21	17/10/21	7
13	Repaso del proyecto	18/10/21	01/11/2021	15

Tabla 3. Planificación inicial Trabajo de Fin de Grado. Fuente: elaboración propia



4.2 REQUISITOS A CUMPLIR POR EL SIMULADOR

A continuación, se procede a describir los requisitos que debe cumplir el simulador. **Sin embargo, al tratarse de un sistema nuevo y de diseño propio, estos requisitos a los que se va a hacer mención han sido extraídos de las diferentes entrevistas realizadas al personal del Escuadrón Acorazado del Grupo “Sagunto” de Paracaidistas I/8 (GCPAC I/8).** Y guardan relación con los objetivos a cumplir (consultar [Apartado Objetivos y Alcance](#)).

De esta forma, el simulador de tiro para VRCC Centauro que se propone en este trabajo, debe contar con una serie de requisitos generales que afectan a todos los elementos que forman parte del mismo. En primer lugar, **no debe modificar sustancialmente la estructura ni las características técnicas de los elementos que forman parte del vehículo**, lo que guarda relación con el requisito fundamental de que debe ser **portable y de fácil instalación**. Además, el simulador **no debe tener un coste elevado**, tanto en su diseño como en su mantenimiento, el cual **debe poder ser realizado tanto por el primer Escalón de Mantenimiento (EMAN¹⁰) como por el segundo**. Por otro lado, el sistema de simulación debe estar **rugerizado¹¹**, y también debe permitir su correcta utilización y empleo en **todo tipo de condiciones meteorológicas**. Teniendo en cuenta los requisitos mencionados, hay otra serie de requisitos que únicamente afectan a algún elemento en concreto del simulador, y que se expondrá a continuación.

4.2.1 Requisitos del emisor láser.

En primer lugar, el simulador debe ser **adaptable y ajustable al cañón del VRCC Centauro** (por lo que será solidario a este) y debe estar **integrado dentro del mecanismo de disparo** del vehículo VRCC Centauro. Por consiguiente, el cable que conecta el disparador con el emisor láser debe poder conectarse con el circuito interno del emisor láser. El objetivo de esto es hacer lo más realista posible la instrucción de la tripulación, de forma que únicamente haya ventana de tiro¹² cuando el proceso previo al disparo se ha realizado correctamente. Por otro lado, **la frecuencia y longitud de onda del haz láser debe ser diferente a la del láser de la dirección de tiro¹³**, de esta manera los receptores de los blancos no se activarán cuando reciban este último y sí lo harán cuando reciban el haz proveniente del emisor láser. Además, el emisor láser debe contar con una potencia suficiente para poder enviar el haz láser a una distancia (x) que se calculará en un apartado posterior (esto se explicará más tarde, en el [Apartado Restricciones en el Tiro](#)). Por último, **el emisor láser debe ser antivibración, y debe estar correctamente fijado al cañón, de forma centrada y estable**.

4.2.2 Requisitos de los blancos.

Por su parte, los blancos deben ser **capaces de replicar los resultados del ejercicio a la unidad de control**. Asimismo, **la estructura que soporta los blancos deberá ser lo suficientemente estable** para poder soportar rachas de viento de intensidad media, lluvia intensa y altas temperaturas. Sin que el sistema falle o quede inutilizado. Además, y reiterando uno de los requisitos generales del sistema, los blancos deben poder ser **transportados de forma sencilla** y, si fuese posible, utilizando la propia unidad transportada del VRCC Centauro. Asimismo, el circuito que se encuentra en el sistema de los blancos debe ser **técnicamente viable**.

Sin embargo, también existen otros requisitos que tienen que ver con la **capacidad del blanco para detectar el haz láser**. Esto engloba cierta complejidad, ya que, como se ha descrito anteriormente, para conocer la distancia que separa a un vehículo de su objetivo se dispara un láser que devuelve ese dato

¹⁰ Este término se refiere a “la complejidad y duración de las tareas de mantenimiento que los diferentes órganos de mantenimiento están capacitados y autorizados a realizar” (Mando de Adiestramiento y Doctrina [Táctica y Logística III. Academia General Militar], 2021).

¹¹ Proviene del verbo inglés *ruggedize*, que significa fortalecer algo para que sea más resistente al uso o a los golpes. Un sinónimo en español sería todoterreno o resistente.

¹² Hace referencia a aquel periodo de tiempo donde, tras haber realizado el procedimiento de tiro de forma adecuada, el disparo se puede llevar a cabo.

¹³ Este láser, del que se hablará más tarde, no forma parte del simulador. Sino que es utilizado por la tripulación para conocer la distancia que separa al vehículo del objetivo.



(este haz láser no es el simulador de tiro, sino el láser de la dirección de tiro). Un requisito fundamental es **que los blancos sepan distinguir las características de ambos láseres, y únicamente se activen cuando reciban el láser del emisor láser**. Además, **los receptores de los blancos deben estar interconectados entre sí, y a su vez conectados a un elemento que indique visualmente que se ha producido un impacto en el blanco**.

4.2.3 Requisitos de la unidad de control.

La unidad de control es aquel elemento que forma parte del sistema de simulación de tiro para VRCC Centauro en la cual se remiten los resultados del ejercicio de tiro efectuado. Esta unidad de control debe tener un **correcto enlace con los blancos**, para de esta forma recibir sin errores los resultados del ejercicio. Además, este elemento debe permitir la **visualización de la información en vivo** de la forma más intuitiva posible mediante un dispositivo electrónico. Esta información proporciona al Director del ejercicio de tiro (DIREX) los datos del disparo y del estado del blanco, así como la capacidad para poder resetearlo si así se necesita.

4.3 PROCEDIMIENTO DE TIRO DEL VEHÍCULO

Antes de proceder al estudio de las posibles opciones es necesario describir de forma breve el procedimiento de disparo para permitir una mejor comprensión de las opciones propuestas.

En primer lugar, una vez que la tripulación detecta un objetivo, el jefe de vehículo/tirador alinea el retículo de su óptica (ver Figura 7) con el blanco. Seguidamente, el objetivo es determinar la distancia que separa al vehículo del blanco, para ello, una opción es que el tirador dispare un láser existente en el vehículo VRCC Centauro (no tiene que ver con el simulador) contra el objetivo. El resultado de esto es la obtención de la distancia entre el vehículo y el objetivo. Una vez se ha hecho esto, y confirmado el tipo de munición¹⁴ que se va a disparar, se realizarán una serie de cálculos en el calculador balístico de forma automática teniendo en cuenta una serie de factores que intervienen durante el disparo (viento, temperatura de la pólvora, distancia, tipo de munición, altura y la fuerza de la gravedad entre otros). Para mayor información de las variables que afectan al tiro consultar [ANEXO G](#). Estas variables se tendrán en cuenta en la dirección de tiro¹⁵, la cual realizará unas correcciones en el cañón (en elevación y/o en dirección). Estas correcciones en la posición del cañón son clave, pues desde ese momento las ópticas del jefe de vehículo/tirador dejan de estar alineadas con el cañón, porque este se habrá movido de tal forma que todas las variables que influyen en el tiro quedan compensadas por su movimiento. Así, el disparo consigue impactar de forma correcta en el objetivo. **Esta situación plantea un reto en este tipo de simuladores de tiro, ya que, como es de imaginar, el disparo del haz láser es tenso, lo que significa que existe una distancia a partir de la cual el disparo tenso del láser no es capaz de impactar en el blanco, a pesar de que se haya seguido correctamente el procedimiento de tiro.**

Sin embargo, aunque existe una forma en la que esta restricción no afecte al tiro, no se considera adecuado adoptarlo como solución, porque significaría no estar haciendo uso de todas las capacidades que proporciona el VRCC Centauro, por lo que no se plantea reducir el realismo de la instrucción a costa de aumentar las capacidades del simulador (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2014b y Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019).

¹⁴ La munición, en función de que tipo sea, tendrá una velocidad diferente en boca, y por tanto un diferente alcance (para mayor información, consultar [ANEXO D](#)).

¹⁵ “Es la encargada de establecer la elevación y dirección del arma, de forma que un objetivo predeterminado pueda ser batido, en toda situación” (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2014).

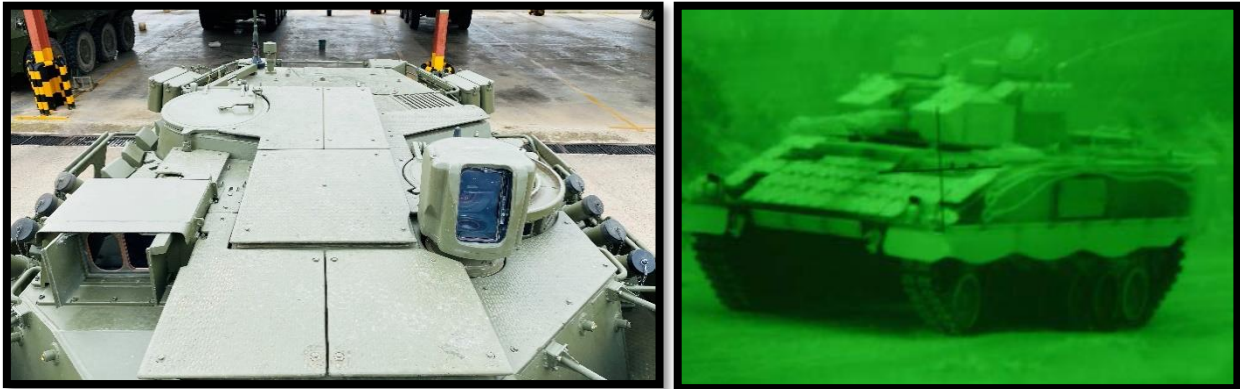


Figura 7. Vista de situación de las ópticas del jefe de vehículo y del tirador en el VRCC Centauro (Izq.) y vista del retículo del tirador, cámara térmica (Der.). Fuente: elaboración propia y Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2014.

4.4 ESTUDIO DE OPCIONES

Una vez que se han establecido los requisitos del simulador, y que se ha descrito el procedimiento de tiro del vehículo VRCC Centauro, se va a proceder a estudiar brevemente una serie de casos planteados que buscarían el cumplimiento de los requisitos marcados en el trabajo. Todas estas opciones, aunque interesantes, tienen una serie de ventajas y desventajas que las hacen más o menos atractivas. Por ese motivo, al final del estudio de opciones se presentará una matriz de apoyo a la decisión que servirá para comparar todas las opciones planteadas, y que irá acompañada por una decisión final. Para realizar la comparación entre las dos opciones más interesantes, también se utilizarán dos análisis de DAFO que se encuentran en el [ANEXO K](#). La información extraída para el desarrollo de ambos análisis DAFO se ha obtenido a partir de las diferentes entrevistas realizadas a los Cuadros de Mando (CUMAS) del Escuadrón Acorazado (EAC) del GCPAC I/8, y de los trabajos de fin de grado de los ahora Tenientes D. Enrique Barranco Del Fresno y D. Julio Marabotto Estévez (Barranco, 2018 y Marabotto, 2019).

4.4.1 Opción 1: emisor laser de movimiento independiente, en boca del cañón.

Esta opción consiste en el desarrollo de un simulador láser que se encuentra en la boca del cañón del VRCC Centauro (ver Figura 8). La característica fundamental de esta opción es la independencia de movimiento que tendría este emisor láser respecto al tubo del cañón, pues contaría con un motor que le permitiría reapuntar de forma autónoma tanto en dirección como en elevación. Este motor propio al que se ha hecho referencia se encontraría conectado al emisor láser, y realizaría los movimientos contrarios a los que hace la dirección de tiro, quedando reapuntado hacia su posición inicial (consultar [Apartado Procedimiento de tiro del vehículo](#)). Sin embargo, el desarrollo de esta opción exige resolver una serie de problemas y dificultades que se comentan a continuación:

En primer lugar, habría que encontrar un motor que fuese capaz de recibir los datos de la dirección de tiro y que efectuase exactamente las correcciones contrarias. Este es un problema altamente complejo,



Figura 8. Situación de la boca del cañón del VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia.



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

pues habría que conseguir que el código por el que actúa el motor del emisor láser funcionase de forma tan rápida y precisa como lo hace el propio cañón, para permitir que alcanzase la misma distancia que este (aproximadamente 3500m). Por consiguiente, aunque esta opción pueda resultar interesante de cara al futuro, en este trabajo no se cuenta con los medios suficientes para poder llevar a cabo tal proyecto, por lo que se ha decidido descartar esta opción.

4.4.2 Opción 2: emisor láser en boca del cañón.

Esta opción guarda una gran similitud con la anterior. De hecho, la única diferencia radica en que esta opción no dispone de ninguna autonomía en el movimiento, por lo que apuntaría al mismo sitio al que apunte el cañón.

La mayor desventaja de esta opción es que, al estar colocado el emisor láser en la boca del cañón, la tripulación debe fijarlo desde el exterior, con la incomodidad que esto supone si el simulador se descentra durante la conducción del ejercicio de tiro, pues habría que interrumpirlo y salir de los vehículos para instalarlo de nuevo, lo que resta realismo al ejercicio. Además, cabe mencionar que, debido a la posición del emisor láser, existe una mayor posibilidad de recibir algún golpe, sin mencionar que existe una mayor exposición a los factores meteorológicos. Por último, cabe destacar que el enlace entre el emisor láser y el mecanismo de disparo del vehículo se hace más complicado al encontrarse unos metros separado del mismo. Debido a todos estos inconvenientes, se ha decidido descartar esta opción.

4.4.3 Opción 3: adaptación de un simulador DSS existente.

Otra de las opciones planteadas es que el láser que forma parte de la dirección de tiro de la plataforma VRCC Centauro (el que se encarga de medir la distancia) hiciese el papel de emisor láser, de forma que, al hallar la distancia, también se estuviese disparando el haz láser. Esta perspectiva es dónde nace el concepto de los simuladores de duelo y daría la posibilidad de reutilizar gran parte de los elementos que se utilizan en dicho simulador, pero adaptándolos a una nueva función (únicamente la de simulador de tiro). Sin embargo, la gran dificultad que tendría este sistema es que en la actualidad no existe ningún simulador DSS para el VRCC Centauro, aunque sí para el vehículo VCI/C Pizarro y el CC Leopardo 2E. La existencia de una serie de trabajos acerca de un simulador DSS para VRCC Centauro (Marabotto, 2019 y Barranco, 2018) permiten hacerse una idea general de la disposición del sistema en dicha plataforma. Sin embargo, como se puede intuir, los simuladores de duelo requieren un mayor tiempo y presentan mayor dificultad de la que se busca a la hora del montaje y desmontaje del sistema en la plataforma en cuestión, y además necesitarían de la modificación en los acoples exteriores en la torre del VRCC Centauro, lo que significaría que no se estarían cumpliendo los requisitos fundamentales marcados (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2012).

4.4.4 Opción 4: emisor láser en el interior de la recámara.

Esta opción consiste en el diseño técnico de un sistema de simulación láser cuya característica



Figura 9. Vista del subcalibre AIMTEST105 instalado en recámara (Izq.) y vista de la recámara (cerrada) del VRCC Centauro (Der.). Fuente: elaboración propia y Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

principal es que el elemento principal (el emisor láser) se encuentra en el interior de la recámara, de una forma muy similar a como lo hace el subcalibre AIMTEST105 (ver Figura 9). El emisor láser se encontraría conectado al disparador del VRCC Centauro, de forma que se encuentra integrado en el procedimiento de tiro habitual, lo que favorece la instrucción de la tripulación.

Sin embargo, la gran problemática de esta opción es que, al igual que la Opción 2, el sistema de simulación no puede ser utilizado desde cualquier distancia. Esto se debe a que el haz láser es de tiro tenso (tal y como se explicará en el [Apartado Restricciones en el Tiro](#)), mientras que el cañón dispara una munición que lleva a cabo un recorrido parabólico. Por consiguiente, tal y como explica el CAC Julio Marabotto Estévez (2019) en su Trabajo de Fin de Grado:

La Línea de Tiro, definida como la prolongación del arma, y la Línea de Mira, definida como la visual determinada por el periscopio del VRCC Centauro, coinciden durante un periodo determinado. De tal manera que, si el objetivo se encuentra dentro del recorrido donde coinciden ambas líneas, el objetivo sería destruido (ver Figura 10).



Figura 10. Líneas y ángulos de tiro. Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2013.

Por lo que existirá una distancia máxima a la que se pueda disparar sin errar el tiro. Ya que, como se ha comentado anteriormente en el [Apartado de Procedimiento de tiro del vehículo](#), al introducir la distancia y la munición (y otras variables que se introducen de forma automática, consultar [ANEXO G](#)), el cañón varía ligeramente su posición en elevación y dirección, corrigiendo su posición anterior. De forma que, como el emisor láser está fijo en la recámara, también se verá reapuntado. Esto supone un problema, ya que el emisor láser dispara un haz tenso, y, por consiguiente, existe una distancia máxima a la que se podrá situar del blanco. A partir de esta distancia el haz láser pasará por encima del blanco sin llegar a hacer impacto en el objetivo.

Por consiguiente, y a modo de resumen. Esta opción plantea dos restricciones en su uso: una distancia máxima de separación con el blanco, y una velocidad máxima a la que puede moverse el vehículo durante el ejercicio de tiro.

4.4.5 Decisión final

Para llevar a cabo la comparación entre las diversas opciones existentes, se utilizarán dos análisis DAFO que figuran en el [ANEXO K](#), así como una matriz de apoyo a la decisión (ver Tabla 4). En la cual se comparan varios factores y variables a tener en cuenta entre las diferentes opciones existentes. Asimismo, para realizar la comparación se ha establecido una determinada ponderación para cada factor, que proviene de la importancia que le ha dado el autor teniendo en cuenta el objetivo final del trabajo. Además, esta valoración ha sido verificada por el resto de los componentes del Escuadrón Acorazado del Regimiento de Caballería "Lusitania" N.º 8 de Paracaidistas (RCPAC 8).



MATRIZ DE APOYO A LA DECISIÓN					
FACTORES	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3	OPCIÓN 4	PONDERACIÓN (%)
Ergonomía	6	7	7	8	5
Facilidad en la instalación	5	8	4	9	10
Sencillez	3	8	4	8	10
Viabilidad económica	3	9	6	9	18
Viabilidad técnica	4	8	4	9	15
Eficacia en la instrucción	9	7	7	7	18
Opinión Suboficiales	4	10	6	10	8
Opinión Oficiales	5	6	3	8	8
Opinión IAT,s	7	7	5	8	8
SUMA TOTAL (sobre 10)	5,14	7,87	5,21	8,41	100
Opción 1: laser en boca del cañón, con motor propio.					
Opción 2: láser en boca del cañón.					
Opción 3: adaptación de un simulador DSS existente					
Opción 4: láser en el interior de la recámara.					

Tabla 4. Matriz de apoyo a la decisión sobre el simulador a escoger. Fuente: elaboración propia con información obtenida de los CUMAS del EAC del GCPAC I/8.

De esta forma, y tal y como se puede ver en la tabla anterior, la **Opción 1** ha obtenido la puntuación más baja de todas las planteadas debido especialmente a su complejidad técnica, alto coste económico y dificultad en la instalación en el vehículo. Por otro lado, la **Opción 3** también ha obtenido una baja calificación, a causa de su baja viabilidad técnica y su complejidad en el montaje, y así lo certifican las diferentes opiniones de los Oficiales, Suboficiales e Instructores Avanzados de Tiro (IAT¹⁶) del Escuadrón Acorazado del RCPAC 8. Por otro lado, a pesar de que las **Opciones 2 y 4** han destacado por encima de las otras dos, existe una notable diferencia entre ambas. Cabe destacar que en ninguno de los factores analizados la Opción 2 supera a la 4, sin embargo, la principal diferencia se encuentra en la ergonomía y en la opinión del personal de las diferentes escalas, de forma que la Opción 4 supera finalmente a la 2. Debido a esto, la Opción 4: “emisor láser en el interior de la recámara”, ha sido la escogida para ser desarrollada en este proyecto.

4.5 ANÁLISIS VIABILIDAD TÉCNICA Y OPERATIVA: FUNCIONAMIENTO DEL SIMULADOR.

Antes de comenzar a desarrollar más detalladamente el proyecto, es necesario realizar un exhaustivo estudio sobre la viabilidad técnica del mismo. Es interesante mencionar que este simulador que se pretende desarrollar es algo novedoso, lo que supone que la dificultad a la que se enfrenta este proyecto sea aún mayor. A continuación, y una vez estudiadas diferentes opciones a desarrollar, se analiza detalladamente el simulador que se ha decidido diseñar.

4.5.1 Elementos del simulador de tiro para VRCC Centauro.

Para un correcto análisis del funcionamiento, es necesario indicar previamente los elementos que forman parte del sistema, y que se irán nombrando conforme se avance en la descripción del mismo. Por otro lado, es importante mencionar que todas las especificaciones técnicas podrán ser consultadas en el [ANEXO J](#) de este documento, que aporta información añadida. Los elementos se han clasificado en tres grupos principales, dependiendo de la función que cumplen. Se presenta a continuación dicha clasificación:

¹⁶ Según el Manual de IAT MI-207 (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019), el IAT será un oficial o suboficial especializado en el tiro con una plataforma determinada. Además, también estará especializado en el desarrollo de los procesos de instrucción de tiro y análisis de los resultados, y en el empleo de los medios técnicos de apoyo a esa instrucción.



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

- **Emisor láser:** se encuentra fijado en la recámara del VRCC Centauro y es el encargado de disparar el haz láser. Este elemento está formado por: el cable disparador, que lleva la corriente desde el disparador hasta el emisor láser; por el circuito interno del láser que permite el correcto funcionamiento del sistema (como el inversor o el cableado, de los que se habla detalladamente en el [ANEXO J](#)) y por último, la montura del emisor láser, que le permite mantenerse centrado en la boca del cañón, evitando que los posibles movimientos durante la conducción o cualquier otra circunstancia, le hagan variar su posición. Dicha estructura debe estar hecha de un material resistente y que soporte condiciones meteorológicas adversas (estructura rugerizada).

- **Blancos:** son los objetivos contra los que dispara el haz láser desde el vehículo. Este sistema está formado por: los receptores, que son los encargados de captar el haz láser; unos rotativos, que tienen la función de iluminarse durante un corto periodo de tiempo como consecuencia de que los receptores capten el haz láser; una batería externa que tiene la misión de suministrar energía al sistema; cableado de diferente tipo que permita la circulación de la corriente a través de él; y un sensor que permita la circulación de la corriente hacia los rotativos (esto ocurrirá al cerrarse un interruptor) y que permita a la antena de radiofrecuencia (RF) la comunicación de los resultados del ejercicio de tiro a la unidad de control.

- **Unidad de control:** es aquel elemento que recibe los resultados del ejercicio de tiro de forma simultánea a su ejecución, para permitir la evaluación *in situ* de la actividad. La unidad de control es un dispositivo que permite la visualización y edición de los datos del ejercicio de la forma más intuitiva posible.

4.5.2 Propuesta de funcionamiento general del simulador de tiro.

A continuación, se procede a explicar detalladamente el funcionamiento general del simulador de tiro propuesto. Cabe destacar que al final de este apartado se incluye un modelo de procesos que describe gráficamente el funcionamiento que se expone a continuación (ver Tabla 5 al final del apartado).

En primer lugar, como se explicó en el [Apartado de Procedimiento de Tiro del Vehículo](#), una vez que la tripulación ha detectado el objetivo a batir, el jefe de vehículo/tirador alineará el retículo de su óptica con el enemigo. Seguidamente, determinará la distancia que lo separa del blanco a través del láser de la dirección de tiro (que no es el emisor láser). Posteriormente, y tras haber confirmado la munición a utilizar, el jefe de vehículo o el tirador pulsarán el disparador que hace que el circuito que une el vehículo con el emisor láser se cierre (circuito unido mediante un cable denominado cable disparador).

A continuación, la corriente circulará a una tensión de 12 V a través del cable disparador (ver Figura 11). Este cable disparador está unido a otro cable, que es el mismo que el utilizado por el subcalibre AIMTEST105 (ver Figura 11). Seguidamente, la corriente pasará al circuito interno del emisor láser, el cual disparará el haz láser y lo mantendrá activado durante dos segundos antes de finalizar la emisión, manteniendo dicho estado hasta que la corriente vuelva a circular por el cable disparador. El haz láser

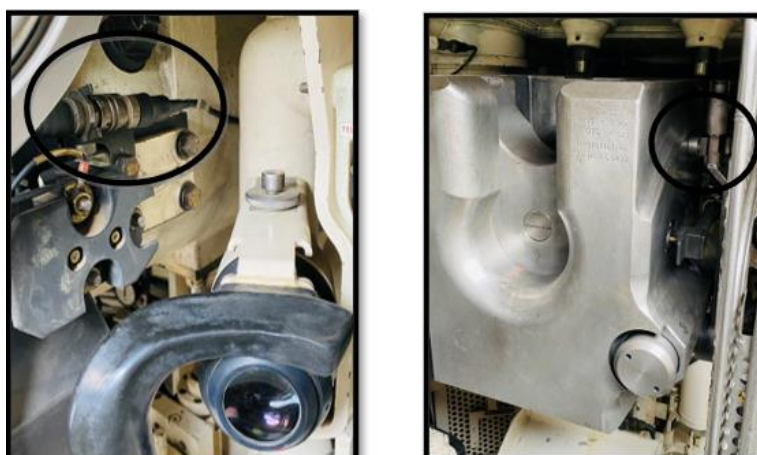


Figura 11. Situación del cable conector del disparador del vehículo VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia.

emitido por el emisor láser está formado por fotones, los cuales transportan unas ondas electromagnéticas de determinadas características (frecuencia, longitud de onda y energía), las cuales no varían en todo su recorrido, lo que permite saber exactamente la frecuencia con la que el haz láser impactará en los



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

receptores del blanco (*American Apex Corporation, 1998a* y *American Apex Corporation, 1998b*).

Una vez que la radiación láser ha llegado al blanco, este será capaz de reconocerla a través de unos receptores llamados sensores fotoeléctricos, alimentados por una fuente externa. Estos elementos se encargan de captar el haz láser y transformar esa energía lumínica (aportada por los fotones) en eléctrica mediante el denominado “efecto fotoeléctrico”. El resultado de este proceso es la circulación de corriente hasta un sensor, alimentado por otra batería externa. Dicho sensor está formado por dos elementos: la cuenta atrás o *timeout*, y un interruptor. El primero de estos es un elemento que mide el tiempo transcurrido desde su activación hasta alcanzar exactamente los dos minutos de duración. Una vez que ha pasado dicho periodo de tiempo, el interruptor, que es el segundo de los elementos, se volverá a abrir evitando que la corriente continúe circulando. Esta corriente tiene el objetivo de alimentar unos rotativos que se mantienen encendidos durante el tiempo en el que el *timeout* continua activo. La función de estos rotativos es indicar visualmente que el objetivo ha sido destruido.

Por otro lado, existe otro elemento externo que se encuentra cercano al sensor, se trata del emisor de señal. Este elemento tiene la función de enviar la información del ejercicio hasta una unidad de control externa al circuito del blanco, pero enlazadas a través de radiofrecuencia. De entre los datos que se envían a la unidad de control cabe destacar: el número identificador (ID receptor) del sensor fotoeléctrico y el del blanco (ID blanco) que ha recibido el haz láser, así como la información relativa al Grupo-fecha-hora en el que ha tenido lugar la acción. Una vez que esta información llega a la unidad de control, el DIREX será capaz de resetearla y/o editarla según desee a través de un dispositivo tipo smartphone (unidad de control). A continuación, en la Tabla 5 se presenta el modelo de procesos mencionado anteriormente:

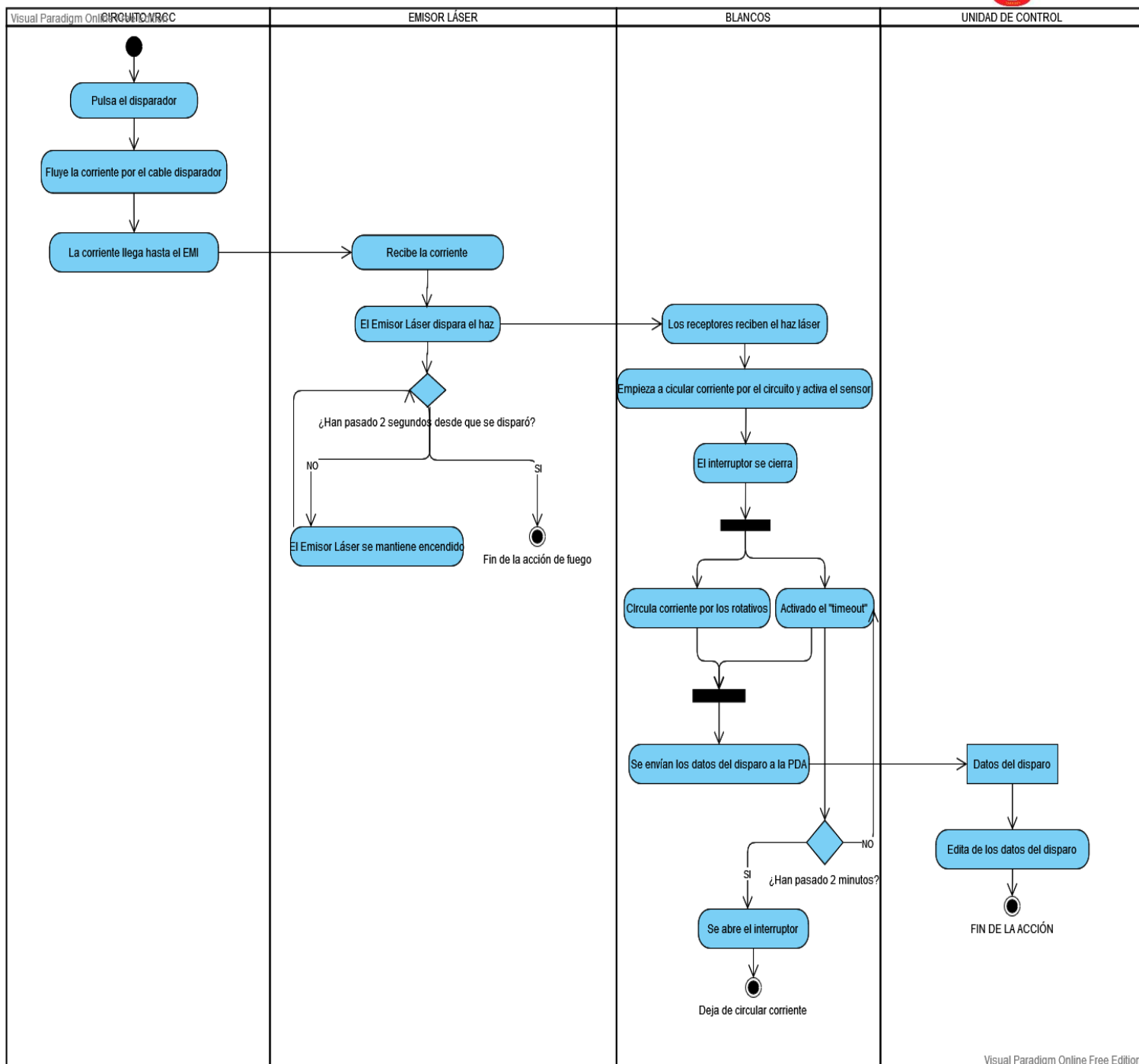


Tabla 5. Modelo de procesos del simulador de tiro del VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia utilizando Visual Paradigm Online.

4.5.3 Propuesta diseño y situación de los elementos.

Una vez que ha quedado claro el funcionamiento general del simulador y de los circuitos que forman parte del mismo, se va a proceder a detallar la forma en la que se encuentran instalados o fijados para el correcto funcionamiento del sistema.

Como se ha mencionado anteriormente, el emisor láser y su circuito interno se encuentran en el interior de la recámara, lo que permite un fácil acceso de la tripulación (a excepción del conductor¹⁷). Aunque es importante indicar que la recámara se encuentra abierta, de forma muy similar a como se encontraría con el subcalibre AIMTEST105, de forma que el acceso al emisor láser se ve facilitado (ver Figura 11).

¹⁷ En el VRCC Centauro, el puesto de conductor se encuentra en la cámara de conducción (parte delantera del vehículo). Por lo que está separado del resto de la tripulación y, por ende, de la recámara.



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

Para comenzar, en cuanto al **diseño del emisor láser y de los elementos que lo acompañan**, cabe destacar el cable disparador. Este elemento se encarga de conectar el disparador del vehículo con el resto del circuito del emisor láser. Se trata del mismo tipo de cable que el utilizado por el subcalibre AIMTEST105 (en el subcalibre, este cable está unido a un solenoide, que transmite la corriente al sistema. Se puede observar en la imagen de la izquierda, en la Figura 12). El primero de los elementos que componen el circuito del emisor láser es un inversor de corriente, situado físicamente delante del emisor láser, al cual está conectado mediante un conector específico.



Figura 12. Solenoide del subcalibre AIMTEST105 unido al cable disparador (Izq.) y cable disparador (Der.). Fuente: elaboración propia.

Como se explica en el [ANEXO J](#), el inversor se encarga de transformar la corriente continua en alterna, ya que la corriente que circula por el cable disparador es de 12V, mientras que la que necesita el emisor láser (se explicará seguidamente) es de 220VAC¹⁸. El inversor elegido es el *Green Cell*, el cual se encuentra adaptado en serie con el emisor láser a través de un conector específico. Este último elemento es de vital importancia en el sistema que se presenta, pues es el encargado de enviar el haz láser a los receptores de los blancos.

Por otro lado, el láser escogido es el láser infrarrojo *MIL-H-1122*, debido a que es un elemento de larga vida útil, de un bajo coste económico y fácil de operar. Sin embargo, y debido a sus dimensiones, es necesaria la existencia de algún elemento que le permita mantenerse fijo y centrado en la recámara del cañón, al igual que el inversor. En el caso del subcalibre, esa pieza recibe el nombre de conjunto de tubo 105mm cuyo número de pieza es C50184 (*American Apex Corporation*, 1998a). Sin embargo, en este simulador el elemento que hace las veces de conjunto de tubo recibe el nombre de "montura", y tiene unas dimensiones similares (en cuanto a diámetro) a las del conjunto de tubo del subcalibre, de forma que no haya espacio libre entre la recámara y este. Este elemento se dividirá en dos partes principales (ver Figura 13), una que protegerá y fijará al inversor y la otra que hará lo mismo con el emisor láser. De forma que tendrán una longitud de 202mm y 153mm respectivamente, y un mismo diámetro exterior de 135mm, que coincide con el de la recámara. La principal diferencia será el volumen de ambas partes de la Montura, ya que el volumen que ocupan el inversor y el emisor láser son diferentes. Por lo que, y según los cálculos que se pueden observar en el [ANEXO J](#), la primera de las partes será un cilindro hueco de aluminio con un diámetro interior de 126,9mm, mientras que la segunda tendrá 97,61mm. El resto del cilindro será macizo, de forma que el volumen total de la montura será de 1.381.911,60mm³. En la siguiente figura se puede observar la vista de alzado del inversor y del emisor láser instalado en la recámara.

¹⁸ Unidad de medida de la tensión en corriente alterna.

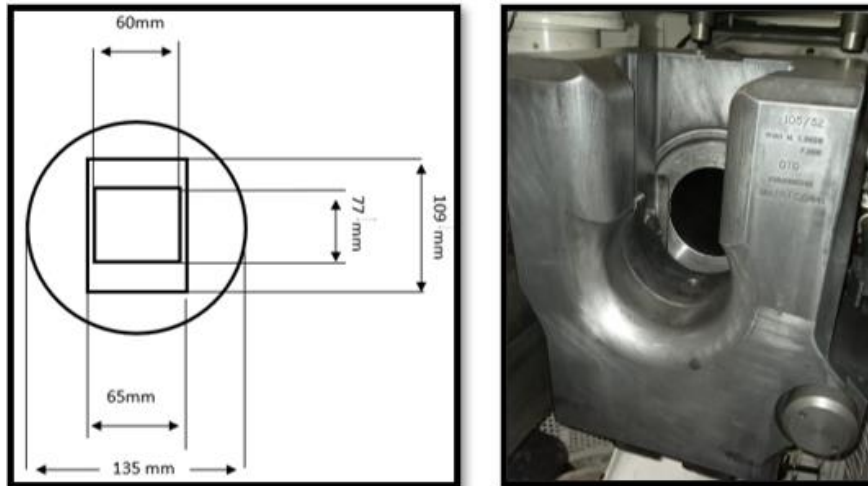


Figura 13. Vista de alzado de la recámara y de los elementos en su interior (Izq.) y vista de la recámara (Der.). VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, en cuanto a los **blancos y en sus elementos**, es preciso indicar que se ha elegido un blanco estándar que figura en la página 186 del manual de Instructor Avanzando de Tiro para VRCC Centauro (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019), dicho blanco tiene unas dimensiones estandarizadas de 2,5m de largo x 1,75m de altura. De forma que estas medidas equivaldrían de forma aproximada a un carro de combate observado de frente.

En cuanto a las características del sistema de blancos, cabe destacar la existencia de una estructura de poliestireno expandido cuya función es la de soportar los receptores fotoeléctricos. Este material, denominado coloquialmente “corchopán”, es un material plástico derivado del poliestireno, característico por sus altas capacidades frente a las malas condiciones climáticas, pues no se pudre, ni se enmohece. Además, se trata de un material muy barato y de fácil adquisición en el mercado. La estructura se mantendrá fija mediante una serie de varillas de hierro que se colocarán en tres de sus lados, unidas en los vértices superiores entre ellas mediante una pieza concreta tipo manguito curvo. También cabe mencionar unos vientos de acero que se encontrarán dispuestos en los vértices del blanco mediante una argolla con tres puntos de fijación (uno de los puntos de fijación se utilizará para anclar el rotativo, del que se hablará más adelante). El otro extremo de los vientos de acero llevará a una piqueta que se encontrará clavada en el suelo. Por otro lado, para fijar los receptores fotoeléctricos al poliestireno, se utilizará velcro distribuido por el blanco de forma similar a los receptores.

Por otro lado, los receptores fotoeléctricos que se utilizarán son los denominados *BeMatik*. Se trata de un sensor interruptor fotoeléctrico del tipo barrera (Contaval, 2016). Cabe mencionar que este tipo de receptores necesitan de una tensión de alimentación constante, lo que en este caso no resulta un problema gracias a la existencia de una batería externa que funciona como fuente de alimentación. Además, los receptores se encuentran interconectados entre sí mediante un cableado específico unido a la mencionada fuente de alimentación. Además, los receptores se encuentran distribuidos por el blanco según el [ANEXO M](#). Por otro lado, el conjunto del blanco también tendrá unos rotativos que son los encargados de indicar visualmente que se ha producido un impacto en el blanco. Dichos rotativos serán del tipo *JBM 51964*, y han sido escogidos por su alta durabilidad, resistencia a las condiciones climáticas y bajo coste. Dichos rotativos se encontrarán unidos al circuito de los blancos, y físicamente dispuestos encima del mismo. Para ello irán fijados a los dos vértices superiores, situados en uno de los puntos de fijación de la argolla anteriormente mencionada.

Por último, cabe mencionar a la **unidad de control**, que consiste en un dispositivo enlazado por radiofrecuencia con el sistema de blancos. Dicho elemento es un dispositivo de mano o *Personal Digital Assistant* (PDA) tipo *smartphone* denominado *HTC Desire C*.

4.5.4 Diseño de circuitos del sistema de simulación.

En este sistema es necesario destacar dos circuitos principales. Estos son: el circuito que forma el propio vehículo con el emisor láser y los elementos que lo acompañan, y el circuito que forma el sistema



de blancos.

Es necesario indicar que una de las características del emisor láser es que necesita de una tensión de entre 90 y 264 VAC. Esta medida del voltaje hace referencia a que se está midiendo sobre corriente alterna, y no continua. Por consiguiente, y dado que la corriente que circula por el vehículo es continua (12V), es vital la existencia de un elemento que permita el cambio del tipo de corriente, así como del cambio de la tensión. El aparato que hace esto posible recibe el nombre de inversor, alternador u ondulator, de forma que genera una onda a una tensión (V) y frecuencia (f) determinadas.

Como se puede observar en la Figura 14, que describe la propuesta del circuito interno del simulador de tiro para VRCC Centauro, el resto de los elementos del VRCC Centauro (representados en la Figura 14 como “sistemas VRCC Centauro”) y el emisor láser se encuentran situados en paralelo. Se ha propuesto de esta forma debido a que así se evita que las medidas “impuestas” por el inversor afecten al resto del circuito de la plataforma. Además, cabe indicar la presencia del inversor en el extremo superior derecho de la Figura 14.

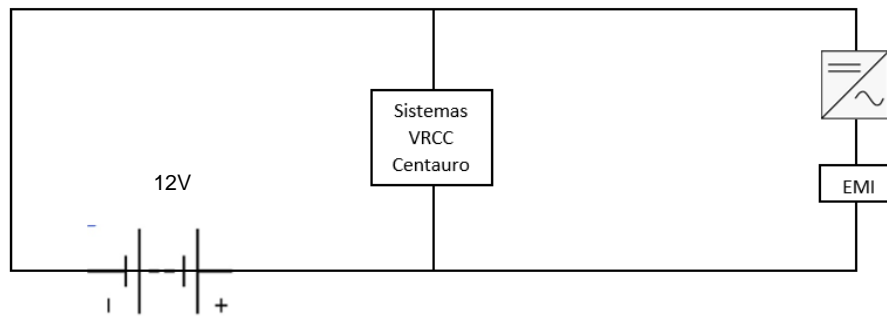


Figura 14. Circuito interno del VRCC Centauro con el simulador de tiro. Fuente: elaboración propia.

Seguidamente, se va a proceder a la descripción del segundo de los circuitos propuestos que afectan al simulador de tiro: el circuito interno de los blancos (ver Figura 15).

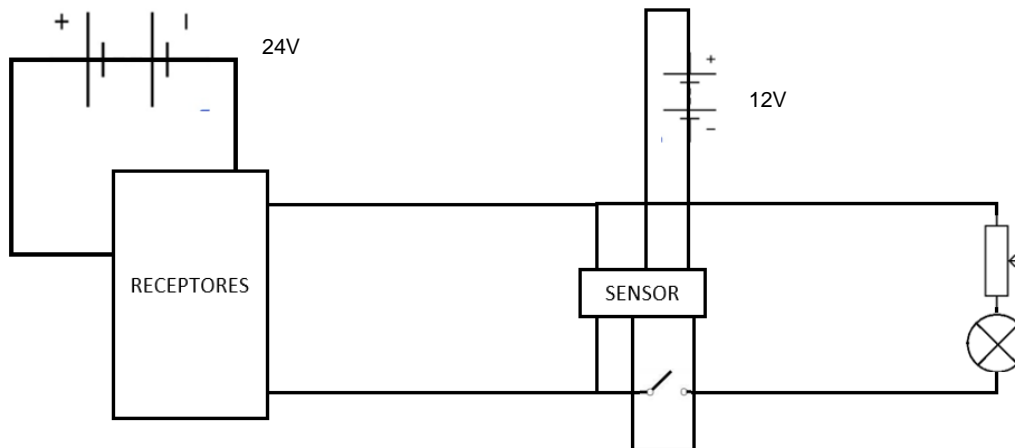


Figura 15. Circuito interno Sistema Blancos con el simulador de tiro. Fuente: elaboración propia.

En primer lugar, una batería aporta corriente a los receptores, los cuales necesitan de una corriente continua de 24V para su correcto funcionamiento. Los receptores fotoeléctricos se encuentran en constante enlace con un sensor (este se encuentra alimentado por otra batería recargable de menores capacidades a la anteriormente mencionada, más concretamente de 12V de tensión). El sensor, en aquel momento en el que el haz láser impacta en alguno de los receptores, pone en funcionamiento una cuenta atrás o *timeout* que permanece activado dos minutos. También cierra un interruptor permitiendo la circulación de corriente por el mismo, atravesando los rotativos situados en serie con un potenciómetro que permite adaptar la tensión para evitar que los rotativos queden dañados (la tensión que admiten es de 13V). Es importante aclarar que el *timeout* se encuentra en el interior del sensor.

4.5.5 Restricciones en el tiro.

Como ya se mencionó en el [Apartado Estudio de Opciones](#), el haz láser que se dispara cuenta con



una característica de gran importancia, y es que es de tiro tenso. Por consiguiente, aparecen dos restricciones a las que se debe hacer frente. La primera de esas restricciones es la distancia, que tiene que ver con las correcciones en elevación que realiza el cañón. Por otro lado, la segunda restricción está relacionada con el tiro en movimiento, por lo que guarda relación con las correcciones tanto en elevación como en dirección, y que supondrá que existan una velocidad y una distancia límites para su correcto funcionamiento. Se procede por tanto a estudiar la casuística por separado:

En el primero de los casos, se parte de la base de que el vehículo se encuentra en una situación de equilibrio estático. Además, durante el estudio de este caso se parte de la base de que no se van a tener en cuenta las correcciones en dirección que pueda llevar a cabo el cañón, por lo que la variable viento se deshecha desde un primer momento. Una vez establecidas las condiciones iniciales, es preciso mencionar que el disparo del VRCC Centauro responde a las ecuaciones del tiro parabólico (ver Figura 16):

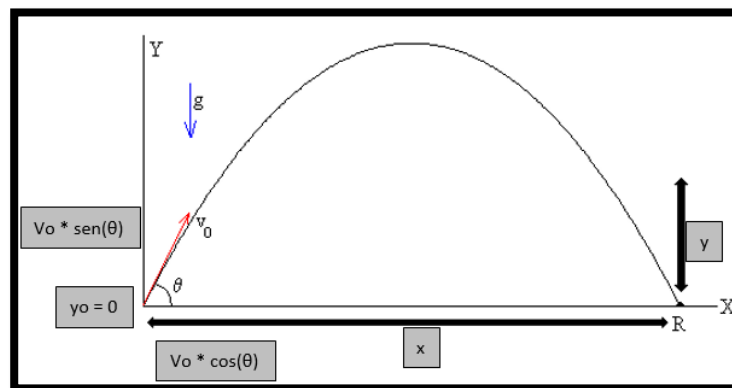


Figura 16. Tiro parabólico. Fuente: elaboración propia con información extraída de Franco, 2010.

$$[1] x = v_0 \times \cos \theta \times t$$

$$[2] y = y_0 + v_0 \times \sin \theta \times t - \frac{1}{2} \times g \times t^2$$

Como se puede observar, en las ecuaciones anteriores (ver Ecuaciones 1 y 2) se puede observar que hay una serie de variables de las que se dispone y se conoce su valor exacto. Por ejemplo, vemos que la aceleración de la gravedad (g) es un dato conocido ($9,81 \text{ m/s}^2$). También se conoce el dato del módulo de la velocidad inicial en boca (v_0) de la munición. Dicho dato puede ser encontrado en las tablas balísticas (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019) de las municiones que más habitualmente se utilizan por el VRCC Centauro, y que figuran en los [ANEXOS E](#) y [F](#) de este documento, estas son: *Armour Piercing Fin-Stabilised Discarding Sabot* (APFSDS) y la *High Explosive Anti-Tank* (HEAT), a las que se denominarán munición “flecha” y “carga hueca” respectivamente (para más información ver [ANEXO D](#)). Por otro lado, en las ecuaciones anteriores también se puede observar una variable angular (θ), que representa el ángulo de elevación del cañón, y una variable de posición (x), que representa la distancia que separa al vehículo del blanco. Estas dos variables se encuentran representadas en las tablas balísticas de los ANEXOS E y F, donde se puede observar el ángulo de inclinación (θ) que debe tener el cañón para poder alcanzar una determinada distancia (x). Cabe mencionar también la existencia de la altura inicial desde la que se realiza el ejercicio de tiro (y_0) y el tiempo (t), el cual, si bien es cierto que en este caso es irrelevante, no por ello es despreciable.

Una vez analizado este tiro parabólico es necesario estudiar el tiro que realizará el láser. En su caso se trata de un tiro tenso basado en unas ecuaciones diferentes (ver Ecuación 3):

$$[3] y = \tan \theta \times x$$



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

FUNCIÓN f(x)	$y = \tan(\theta) * x$
Ángulo de tiro	$\theta = 0.002356$ rad
Distancia eje x	$x = 1000$ m
Distancia eje y	$y = 2.356$ m

Tabla 6. Ejemplo de altura que alcanza el tiro láser a una determinada distancia x. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 6, la ecuación que describe la trayectoria del disparo del haz láser, es una recta. De esta forma, la distancia que alcanza está representada por la variable x, la altura que alcanza por y, y el ángulo de inclinación en el momento del disparo por θ . En este caso, los datos que se han introducido para el diseño de esta recta son los correspondientes a la munición flecha (APFSDS), a una distancia de 1000m y a un ángulo de elevación de 2,4⁰⁰ (milésimas artilleras¹⁹). Estas 2,4⁰⁰ se corresponden a 0,135⁰ y a 0,002356 rad. Por consiguiente, y teniendo en cuenta la Tabla 6, a una distancia de 1000 metros la altura que se alcanza es de 2,356 metros de altura. Sabiendo que la altura del blanco son 175cm, esta distancia x no sería la adecuada para obtener unos resultados válidos, porque el haz láser no impacta en el objetivo.

Una vez estudiados ambos tipos de tiro, el procedimiento a seguir a continuación, aunque pueda hacerse de diferentes formas, consistirá en lo siguiente: en primer lugar, será preciso observar las tablas balísticas para utilizar los datos de la distancia y el ángulo de inclinación del cañón. Seguidamente, y una vez elegidos ambos datos (correspondientes a una misma fila) se sustituirán dichos datos en la Ecuación 4, que describe el tiro tenso de láser:

$$[4] y = \tan \theta \times x$$

El resultado de la x que se obtenga representará la distancia que el haz láser recorre hasta alcanzar la parte más alta del blanco (1,75m). A continuación, se procede a comparar ambas distancias, siendo x_1 a partir de ahora la distancia resultado del tiro tenso del láser, y x_2 la extraída directamente de las tablas. La comparación de estos dos valores responde a lo siguiente:

Si $x_1 \geq x_2$ La distancia será válida y los resultados del tiro serán aplicables.

Si $x_1 < x_2$ La distancia no será válida. No se puede afirmar con seguridad que se ha hecho impacto en el blanco.

A continuación, se procede a llevar a cabo los cálculos descritos anteriormente para extraer la distancia x que se busca en este proyecto. Es importante mencionar que habrá que encontrar dos de estas distancias, pues al existir dos tipos de municiones principales (APFSDS y HEAT), sus ángulos de elevación para cada distancia serán diferentes. Todos los datos que se detallan en la tabla siguiente son el resultado de los cálculos llevados a cabo siguiendo el método anteriormente descrito.

MUNICIÓN	X_1 (m)	X_2 (m)	Θ (°)	¿VÁLIDO?
APFSDS	742,78	1000	2,4	NO
APFSDS	810,24	900	2,2	NO
APFSDS	938,17	800	1,9	SI
HEAT	414,54	1000	4,3	NO
HEAT	636,61	700	2,8	NO
HEAT	742,78	600	2,4	SI

¹⁹ La milésima artillera es una unidad de medida que surge de la necesidad de aumentar la precisión en la medida de los ángulos. Divide a un círculo en 6400 partes iguales, por lo que 90⁰ equivalen a 1600⁰⁰.



Tabla 7. Distancia máxima a la que se puede disparar en el simulador para VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 7, en el caso de la munición flecha (APFSDS) existe una distancia superior a los 800m, e inferior a los 900m, a la que se puede realizar el ejercicio de tiro sin ninguna restricción, y cuyos resultados puedan garantizar al 100% si se ha hecho impacto en el objetivo o no. De forma similar, existe una distancia entre los 600m y los 700m a la que se puede llevar a cabo el ejercicio de tiro utilizando munición de tipo carga hueca (HEAT).

Sin embargo, aún no se dispone de la distancia exacta, únicamente el rango en el que se encuentra la x_{max} . que se busca, por lo que, utilizando los datos de las dos primeras columnas (X_1 y X_2) para la munición tipo APFSDS, y realizando una interpolación²⁰ sobre dichos puntos, se puede aproximar que su x_{max} es de **860m**. Por otro lado, llevando a cabo el mismo procedimiento, pero para las filas de munición HEAT, se calcula que el valor de la x_{max} será de **669m**.

El **segundo de los casos**, tal y como se menciona al principio de este apartado, se encuentra relacionado con las limitaciones existentes en el tiro en movimiento. Antes de comenzar con el análisis de este caso, es preciso mencionar que se parte de la base de que el vehículo estará moviéndose paralelo a la línea de blancos, es decir, sin avanzar directamente hacia ellos. Se ha considerado despreciar el movimiento en cualquier otro eje para la simplificación de los cálculos. Asimismo, se ha despreciado también el efecto Coriolis²¹ y el rozamiento con el aire (entre otros), por considerarse factores que apenas iban a influir en el disparo dada la distancia a la que va a tener lugar el mismo.

Continuando con el análisis del tiro, la clave de este tipo de disparo es **asemejarlo a alguno de los casos existentes, para poder calcular la trayectoria del disparo con ecuaciones ya conocidas. De esta forma, se puede afirmar que el tiro en movimiento sigue las ecuaciones del tiro parabólico**, pero con la diferencia de que en este caso habrá que sumarle la velocidad del vehículo. Por consiguiente, las ecuaciones (ver Ecuación 5 y 6) a las que responde este tipo de disparo son las siguientes:

$$[5] x = v_o \times \cos \theta \times t$$

$$[6] y = y_o + ((v_o \times \sin \theta) \pm v_{mov}) \times t - \frac{1}{2} \times g \times t^2$$

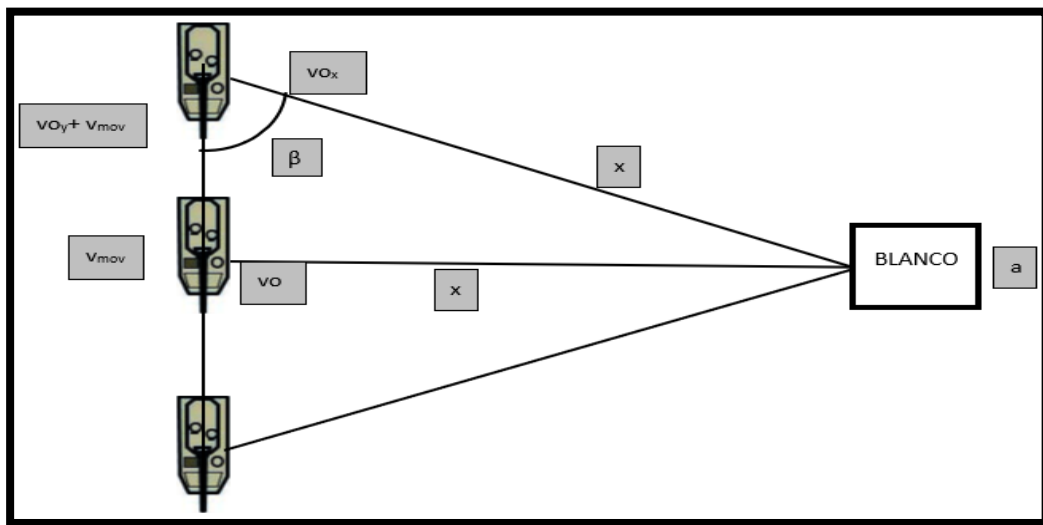


Figura 17. Tiro parabólico (vista aérea) en movimiento. Fuente: elaboración propia.

²⁰ La interpolación lineal es un método que consiste en hallar valores intermedios entre dos puntos ya conocidos

²¹ Es aquel efecto que se da en un sistema de referencia en rotación, en este caso está referido a lo que afecta al disparo el movimiento de rotación de la Tierra.



Como se puede observar en la Ecuación 5, el eje x no se ve afectado por el movimiento del vehículo tal y como se ha mencionado anteriormente. Por otro lado, en el caso de la Ecuación 6, se puede observar cómo afecta una variable que responde a la velocidad de movimiento del vehículo (v_{mov}). También es importante analizar el signo \pm que se encuentra antes de v_{mov} . Esto hace referencia a la situación del vehículo respecto del blanco. Es decir, si observamos la Figura 17, en el momento en el que el vehículo se encuentra antes de sobrepasar el blanco el signo será positivo, ya que la proyección de v_o en el eje y es positiva. Por el contrario, una vez que se sobrepasa el blanco el signo será negativo, pues el sentido de la proyección de v_o en el eje y, y v_{mov} es diferente.

En el caso del tiro láser, el disparo será exactamente igual que en el primer caso, debido a que, al ser un disparo que se produce de forma instantánea, no le afecta la velocidad de movimiento del vehículo (v_{mov}). Debido a esto, la distancia máxima a la que podría situarse el blanco para un correcto análisis de los resultados será también, de 860m para la munición APFSDS y de 669m para la HEAT.

Sin embargo, aún debe realizarse el cálculo de la velocidad máxima a la que podría ir el vehículo (v_{max}) para que la corrección en la dirección no provoque la misma situación que en los casos anteriores. Antes de proceder a su caso, es importante mencionar que se van a mantener las mismas variables que anteriormente, aunque con algunos cambios que es debido mencionar.

En primer lugar, antes y representaba la altura, mientras que ahora representará la anchura. Además, como se presupone que el vehículo está apuntando al centro, la anchura y que se tendrá en cuenta a la hora de realizar cálculos será realmente la mitad ($y/2$), de forma que se tomará el dato de $y/2=1,25m^{22}$ (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019) para el desarrollo de esta parte. Por consiguiente, las ecuaciones que describen este problema son:

$$[7] x_{max} = v_o \times \cos\beta \times t$$

$$[8] y/2 = (v_o \times \sin\beta \times t - v_{mov}) - 1/2 \times g \times t^2$$

$$[9] y/2 = \tan\beta \times x_{max}$$

Resolviendo la Ecuación 9 obtenemos que el ángulo de tiro β será de 0,00145 rad. Seguidamente, se sustituye dicho valor en la Ecuación 7 para conocer el valor del tiempo (t) en el que se hace impacto en el objetivo. El resultado es que tarda 0,5910 segundos. Por último, ambas variables las sustituimos en la Ecuación 8 para obtener la velocidad, que será de **6,17km/h** en el caso de la munición flecha. Si se realizan los mismos cálculos para la munición HEAT, se obtiene una velocidad máxima de **5,76km/h**.

4.5.6 Ejemplo de ejercicio de tiro.

A continuación, y para finalizar este estudio de viabilidad técnica y operativa, se propone un ejemplo de un ejercicio de tiro que busca la mejora de las capacidades de combate de la tripulación de un VRCC Centauro mediante el uso del simulador de tiro propuesto.

Como se puede observar en la Figura 18, el ejercicio está dividido en dos fases. La primera de ellas busca la instrucción del tiro en movimiento. Para ello se realizará un recorrido a través de un itinerario establecido previamente, durante el cual la tripulación deberá localizar y hacer fuego a dos blancos que se encuentran a los laterales del camino. Estos blancos se encontrarán a una distancia de unos 400m cada uno. Es importante recordar que la distancia máxima a la que el simulador puede disparar es de 860m para munición flecha, y de 669m para carga hueca.

La segunda fase del ejercicio comenzará una vez que el vehículo haya completado el itinerario marcado, es entonces cuando se llegará a una zona de tiro desde la cual debe localizar y hacer fuego sobre otros dos blancos que se encuentran a una distancia aproximada de 500m. Una vez completada esta segunda fase se dará por terminado el ejercicio. En el [ANEXO N](#) se explica de forma detallada el ejercicio de tiro mediante la denominada "ficha de tiro". Cabe destacar que en dicha ficha de tiro figuran una serie

²² Como se ha mencionado anteriormente, el blanco escogido en este simulador de tiro para VRCC Centauro mide 2,5m de largo y 1,75m de alto. Como la variable y representa la anchura del blanco. La mitad de dicha anchura es 1,25m.



de zonas necesarias para el correcto desarrollo del ejercicio.

Teniendo en cuenta el estudio realizado, se puede llegar a la conclusión de que el proyecto es viable técnica y operativamente.

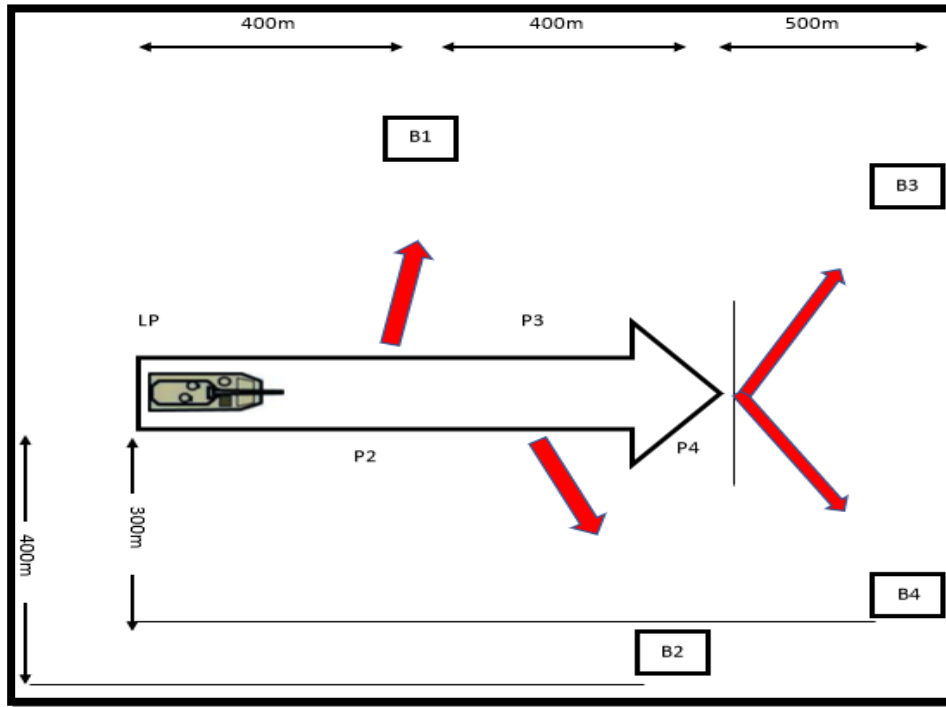


Figura 18. Ejercicio de tiro propuesto para VRCC Centauro con simulador láser.
Fuente: elaboración propia.

4.6 ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA

Como ya se mencionó en el [Apartado Introducción](#), la viabilidad económica del proyecto propuesto parece uno de sus puntos fuertes, a priori. Ya que, en un principio, el ahorro económico es una de las principales ventajas que aporta el uso de simuladores frente al uso de munición de guerra. Por todo ello, es de vital importancia analizar detalladamente el coste total del sistema de simulación. Sin embargo, es de imaginar que a corto plazo el coste de adquisición del simulador sea menos rentable, por lo que al final del apartado se analiza en cuánto tiempo se amortiza al completo el simulador propuesto. Este análisis económico se divide en dos partes principales que deben ser estudiadas para un correcto estudio económico del simulador propuesto. Estas partes son: **coste total de los elementos del simulador, y por otra parte el coste de la adquisición de repuestos, de mantenimiento del sistema, y del coste de la mano de obra.**

A continuación, se presenta el primero de los análisis, aunque es importante mencionar que la columna de "precio aproximado" (ver Tabla 8) tiene en cuenta en todo momento que el sistema de simulación está formado por cuatro blancos, de forma que todos los costes que aparecen son el resultado de multiplicar el precio de lo que costarían los elementos de un solo blanco, por los cuatro que forman el sistema. Una vez que se ha aclarado esto, el análisis económico realizado se presenta a través de la siguiente tabla:



SISTEMA	ELEMENTO	PRECIO APROXIMADO ²³	OBSERVACIONES
SISTEMA EMISOR LÁSER	Cable disparador	50 €	Este cable disparador sería el mismo utilizado en el subcalibre AIMTEST105.
	Emisor láser "MIL-H-1122"	4890 €	Unido al inversor a través de un conector específico.
	Inversor	31,95 €	Unido al cable disparador a través de un conector, y de la misma forma al emisor láser.
	Montura emisor láser	350 €	El material utilizado será aluminio, en el precio se suma el precio de compra del elemento y el de modificación de su forma.
	Cableado circuito emisor láser	50 €	Cableado específico para unir el emisor láser con el inversor, sumado a los conectores específicos.
SISTEMA BLANCOS (4 Blancos)	Receptores fotoeléctricos	8926,56 € (61,99€/unidad)	Cada blanco está formado por 9 agrupaciones de 4 receptores por agrupación (36 en total). Además, cada sistema de simulación consta de 4 blancos.
	Estructura blancos	100,64€ placas 16,99€ velcro 465,24€ varillas 55,84€ conector 240,50€vientos	La estructura está compuesta por: 20 placas de poliestireno por blanco (80 placas en total, 12,58€/10placas), 175500mm ² de velcro, varillas ²⁴ para la sujeción de las placas, 2 conectores por blanco, que unen las varillas laterales y las del lado superior y 2 argollas y vientos para cada Blanco.
	Batería externa receptores	345,52 €	Batería de litio recargable de 24V que alimenta a los receptores fotoeléctricos.
	Cableado circuito receptores	60,10 €	Que una a los receptores fotoeléctricos y al circuito completo del sistema de blancos. Debe poder soportar la tensión de cada parte del circuito.
	Sensor	62,84 €	El sensor está formado por un interruptor y por una antena de radiofrecuencia emisora, enlazada con la unidad de control
	Batería externa sensor	78,64 €	Batería de plomo de 12V recargable
	Rotativos	152,72€ (19,09€/unidad)	Cada blanco tiene 2 rotativos, y el simulador tiene un total de 4 Blancos.
SISTEMA UNIDAD DE CONTROL	Unidad de control	84,99 €	Enlazado con el sistema de blancos
PRECIO TOTAL	15.962,53€		ESTA CIFRA REPRESENTA EL PRECIO TOTAL PARA LA ADQUISICIÓN DE LOS MATERIALES NECESARIOS PARA EL SIMULADOR DE TIRO PARA VRCC CENTAURO

Tabla 8. Análisis económico de los elementos del Sistema de simulación para VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de: Amazon, Ingesco, Ultra Lasers, Lumetal Plastic y Banggood.

El precio total, tal y como se detalla en la tabla anterior, asciende hasta los **15.962,53€**. En este precio, como se ha mencionado anteriormente, se está teniendo en cuenta que el sistema está formado por cuatro blancos. Asimismo, y como se mencionó anteriormente, a este precio aún habría que sumarle el coste del mantenimiento del sistema y de la adquisición de repuestos, así como el coste de la mano de obra. Sin embargo, al tratarse de un sistema nuevo no se dispone de toda la información que se necesitaría para un

²³ Todos los precios están dados teniendo en cuenta que existen cuatro Blancos.

²⁴ Tal y como se explica en el [ANEXO I](#), en este precio se están englobando tres tipos de varillas diferentes: cinco de la marca *TOPINCN*, tres de *Asixsix*, y una de *EsportsMJJ* (por blanco).



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

análisis completo, por lo que para estimar los costes se utilizará la herramienta de estimación por analogía. Por consiguiente, el proyecto que se ha utilizado para comparar el coste de las tareas de mantenimiento y la adquisición de las piezas de repuesto es el que describe el mantenimiento del simulador de duelo para el VCI/C Pizarro (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2012).

Para analizar costes mencionados del simulador de tiro para VRCC Centauro propuesto, se desglosan todas aquellas tareas de mantenimiento que se consideran necesarias, teniendo como referencia el manual de mantenimiento del simulador de duelo para el VCI/C Pizarro anteriormente mencionado.

ID	DESCRIPCIÓN TAREA	TIEMPO ESTIMADO	PERIODICIDAD MANTENIMIENTO	TIPO MANTO (C, P) ²⁵	EMAN ₂₆	REPUESTOS	COSTE UNITARIO
1000	Detección fallos sistema emisor láser	15min	Por uso	P	1	-	5,49 €
1010	Revisión rutinaria conexiones sistema emisor laser	15min	6 meses	P	1	-	5,49 €
1011	Revisión rutinaria montura del emisor láser	30min	3 meses	P	1	-	10,97 €
1012	Revisión rutinaria y homogeneización láser y cañón	5min	Por uso	P	1	-	1,83 €
1020	Limpieza elementos ópticos sistema emisor láser	2min	Por uso	P	1	-	0,73 €
1030	Sustitución emisor láser	58min	Avería	C	2	1	21,21 €
1031	Sustitución montura del emisor láser	110min	Avería	C	2	1	40,22 €
1032	Sustitución cableado específico sistema emisor láser	70min	Avería	C	2	1	25,60 €
2000	Detección de fallos sistema blancos	10min	Por uso	P	1	-	3,66 €
2010	Revisión rutinaria de los receptores del sistema blancos	30min	6 meses	P	2	-	10,97 €
2011	Revisión rutinaria de la estructura del sistema blancos	25min	3 meses	P	2	-	9,14 €
2012	Revisión rutinaria conexiones sistema eléctrico blancos	20min	3 meses	P	2	-	7,31 €
2020	Limpieza de los receptores fotoeléctricos del sistema blancos	10min	Por uso	P	1	-	3,66 €
2021	Carga de las baterías del sistema blancos	5min	Por uso	P	1	-	1,83 €
2030	Sustitución de los receptores	100min	Avería	C	2	12	36,57 €
2031	Sustitución cableado sistema blancos	50min	Avería	C	2	1	18,28 €
2032	Sustitución de las baterías del sistema blancos	30min	Avería	C	2	1	10,97 €
2033	Sustitución elementos sistema eléctrico blancos	25min	Avería	C	2	1	9,14 €
2034	Sustitución de los rotativos	5min	Avería	C	2	2	1,83 €
3000	Detección de fallos de la unidad de control del sistema	2min	Por uso	P	1	-	0,73 €
3010	Revisión rutinaria de la antena RF del sistema blancos	10min	6 meses	P	1	-	3,66 €
3020	Limpieza memoria de la unidad de control	2min	6 meses	P	1	-	0,73 €
3030	Sustitución de la unidad de control	60min	Avería	C	2	1	21,94 €

Tabla 9. Desglose tareas de mantenimiento para el simulador de tiro para VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia con datos extraídos del manual de mantenimiento del simulador de duelo VCI/C Pizarro (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2012).

Como se puede observar en la tabla anterior, la columna de descripción de la tarea hace referencia a la actividad de mantenimiento a realizar. En función de la naturaleza de dicha actividad, el tipo de mantenimiento será de una forma u otra, así como el EMAN encargado de llevar a cabo el mantenimiento,

²⁵ El mantenimiento preventivo hace referencia a aquel tipo de mantenimiento que revisa y comprueba el correcto funcionamiento de los diferentes elementos, de esta forma se evitan las averías importantes ya que se localiza el problema antes de que este suceda. Por el contrario, el mantenimiento correctivo es aquel tipo de mantenimiento que soluciona el fallo o avería una vez que este ha tenido lugar.

²⁶ Explicado en el segundo párrafo del [Apartado Requisitos a cumplir por el simulador](#).



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

y así es como figura en las columnas “tipo de mantenimiento” y “EMAN”. Por otro lado, la columna “repuestos” hace referencia al número de repuestos que deberán estar disponibles constantemente para poder tener el sistema operativo con la mayor brevedad posible en el caso de avería de una de sus partes. Además, las columnas de “tiempo estimado” y “periodicidad de mantenimiento” hacen referencia al tiempo necesario para invertir en la tarea y cada cuánto tiempo hay que realizarla respectivamente. Estas dos columnas sirven para calcular el coste unitario de cada una de las tareas, que figura en la última de las columnas

Por otro lado, para calcular el coste unitario de cada una de las tareas de mantenimiento, se han realizado una serie de cálculos con el objetivo de hallar el coste por hora trabajado que imputaría el trabajo del personal del EMAN en concreto. Para dichos cálculos se han tenido en cuenta el sueldo bruto anual del personal que interviene en el mantenimiento del simulador, y se ha obtenido el sueldo neto anual. A continuación, se ha tenido en cuenta el porcentaje de ese sueldo que el ET dedica a pagar la seguridad social de su personal, así como las horas anuales trabajadas. Una vez utilizados todos estos datos, se ha llegado a la conclusión de que el personal trabaja imputando un coste por hora trabajada de **21,94€/h**.

Sin embargo, la tabla anterior únicamente da información acerca de cuánto costará la tarea de mantenimiento, por lo que, a modo de completar la anterior tabla, se presenta la siguiente tabla:

ID	TIEMPO ESTIMADO (min)	PERIODICIDAD MANTENIMIENTO	COSTE UNITARIO	Nº VECES ANUALES	COSTE ANUAL SIN AVERÍAS	COSTE ANUAL CON AVERÍAS
1000	15	Por uso	5,49 €	20	109,70 €	109,70 €
1010	15	6 meses	5,49 €	2	10,97 €	10,97 €
1011	30	3 meses	10,97 €	4	43,88 €	43,88 €
1012	5	Por uso	1,83 €	20	36,57 €	36,57 €
1020	2	Por uso	0,73 €	20	14,63 €	14,63 €
1030	58	Avería	21,21 €	0	0,00 €	21,21 €
1031	110	Avería	40,22 €	0	0,00 €	40,22 €
1032	70	Avería	25,60 €	0	0,00 €	25,60 €
2000	10	Por uso	3,66 €	20	73,13 €	73,13 €
2010	30	6 meses	10,97 €	2	21,94 €	21,94 €
2011	25	3 meses	9,14 €	4	36,57 €	36,57 €
2012	20	3 meses	7,31 €	4	29,25 €	29,25 €
2020	10	Por uso	3,66 €	20	73,13 €	73,13 €
2021	5	Por uso	1,83 €	20	36,57 €	36,57 €
2030	100	Avería	36,57 €	0	0,00 €	438,80 €
2031	50	Avería	18,28 €	0	0,00 €	18,28 €
2032	30	Avería	10,97 €	0	0,00 €	10,97 €
2033	25	Avería	9,14 €	0	0,00 €	18,28 €
2034	5	Avería	1,83 €	0	0,00 €	1,83 €
3000	2	Por uso	0,73 €	20	14,63 €	14,63 €
3010	10	6 meses	3,66 €	2	7,31 €	7,31 €
3020	2	6 meses	0,73 €	2	1,46 €	1,46 €
3030	60	Avería	21,94 €	0	0,00 €	21,94 €
COSTE(€/HORA(min))		0,365666667	COSTE ANUAL SIN AVERÍAS (€)		509,74	
			COSTE ANUAL CON AVERÍAS (€)		1106,87	
			COSTE ADQUISICIÓN REPUESTOS (€)		6691,31	

Tabla 10. Costes anuales mantenimiento, adquisición de repuestos y mano de obra. Fuente: elaboración propia con datos extraídos del manual de mantenimiento del simulador de duelo VCI/C Pizarro (Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2012).

En la Tabla 10 anterior se pueden observar ciertos datos mencionados en la Tabla 9, como el “tiempo estimado” o la “periodicidad mantenimiento”, así como el coste unitario. Por otro lado, la columna de “N.º de veces anuales” representa el número de ocasiones que se realiza una tarea de mantenimiento, de forma que complementa a la columna de “periodicidad mantenimiento”. Además, el “coste anual sin averías” se ha calculado como el producto entre el coste unitario y el número de veces que se realiza una actividad. De forma similar, el “coste anual con averías” se ha calculado mediante el mismo producto, pero con la diferencia de que el número de veces no era cero, sino que ocurría el mismo número de veces necesario para agotar los repuestos.



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se puede llegar a la conclusión que el coste total por el mantenimiento, adquisición de repuestos y mano de obra, asciende a un total de **7.201,05€**. Como se ha mencionado anteriormente este coste no tiene en cuenta un gran número de averías pues da por supuesto que las tareas de mantenimiento se han llevado a la perfección. Sin embargo, y dada la aleatoriedad de las averías, si se tienen en cuenta todas las averías planteadas, la cifra asciende a un total de **7.798,18€**. La notable diferencia que existe entre la primera y la segunda cifra difiere principalmente por la necesidad de adquirir unos repuestos que sustituyan a los anteriores, que se han tenido que utilizar para sustituir las piezas averiadas.

Con todo esto, el precio total del simulador sería de **15.962,53€** de coste del material, más **7.201,05€** o **7.798,18€** en función de si hay o no averías. Por consiguiente, el precio total del simulador de tiro para VRCC Centauro propuesto se encontraría entre los **23.163,58€** y los **23.760,71€**.

Este precio puede aportar mayor información si se compara con otros simuladores existentes. Para que sirva de referencia, únicamente la adquisición de un simulador de torre (STO) superaría el millón de euros, a lo que habría que sumar los costes de mantenimiento y compra de repuestos. Por otro lado, también es oportuno realizar una comparación con el coste de la munición real. Como ejemplo, la munición rompedora de 105mm para VRCC Centauro tiene un coste unitario de 1500€. Esto significa que 16 disparos de esta munición equivalen al coste total del simulador de tiro para VRCC Centauro (23.760,71€), que serían 11 disparos si se tuviese en cuenta únicamente el coste de los materiales. Es decir, que el coste de este simulador es muy bajo, tanto en cifras absolutas como relativas, y **su amortización completa se da en 16 disparos simulados (a lo sumo)**.

4.7 ANÁLISIS DE VIABILIDAD SOCIAL

Es importante tener en cuenta el nivel de aceptación que puede tener este nuevo simulador de tiro dentro de nuestras FAS. Para ello, se han realizado una serie de entrevistas informales cuyo objetivo es analizar la opinión profesional del personal que día a día trabaja con la plataforma VRCC Centauro y que, por tanto, este simulador que se pretende desarrollar les afecta de primera mano. Además de las entrevistas a las que se ha hecho mención, cabe destacar que también se ha realizado una encuesta al personal encuadrado en el EAC del GCPAC I/8 durante la primera quincena del mes de octubre del 2021 (consultar [ANEXO L](#)).

En dicha encuesta (con título “Utilidad de un simulador de tiro para el VRCC Centauro”), el 100% del personal encuestado cree que el uso de los simuladores es útil para las actividades de instrucción y adiestramiento, y todos ellos habían trabajado a lo largo de su vida profesional con estos sistemas, donde cabe destacar el Steel Beasts (consultar [Subapartado Simuladores tipo Serious Games](#)) o el simulador de tiro real VICTRIX (consultar [Subapartado Simuladores Reales o en vivo](#)). Por otro lado, en torno al 86% consideraban que el número de simuladores actuales para la plataforma VRCC Centauro era escasa, y en línea con lo anterior, el 100% coincidía en que un simulador de tiro para el VRCC Centauro sería un proyecto interesante a desarrollar.

Por consiguiente, y según los resultados arrojados por la encuesta realizada, **se puede afirmar que el proyecto es viable en el aspecto social**.

4.8 ANÁLISIS DE STAKEHOLDERS

Una vez que se ha analizado la viabilidad del proyecto, es necesario llevar a cabo un estudio de aquellos grupos de interés (personas u organizaciones) que se verían afectados o comprometidos, tanto positiva como negativamente, como resultado de la ejecución o conclusión del proyecto. El objetivo de este análisis es identificar a dichos grupos de interés o *stakeholders*, para tener en cuenta sus requerimientos y gestionar sus expectativas. Para clasificar a los *stakeholders* se utilizará una herramienta gráfica denominada “Análisis Poder-Interés”, muy común en este tipo de análisis.



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

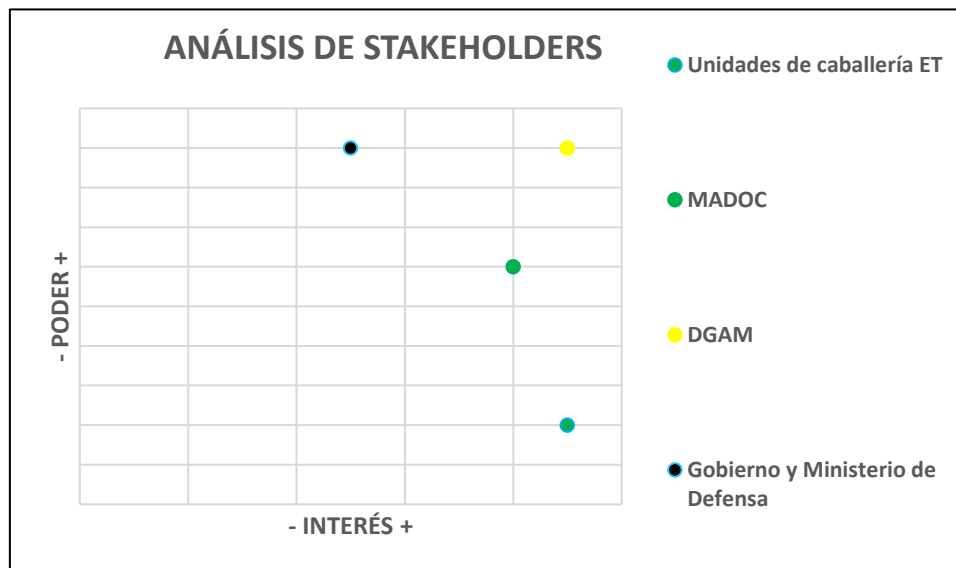


Tabla 11. Representación de los “stakeholders”. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 9, se han tenido en cuenta diferentes *stakeholders* a los que les afectaría de primera mano el diseño de este nuevo simulador de tiro para VRCC Centauro. El gráfico se divide en cuatro grupos (ver [ANEXO I](#)) en función de cómo sean esos *stakeholders* respecto al “Poder” (influencia que ejercen) y al “Interés” (grado de interés que tienen en que se lleve a cabo el proyecto) que poseen.

De esta forma, uno de los grupos de interés más importantes son las **Unidades de Caballería del ET** que cuentan con VRCC Centauro en su orgánica. Estas no cuentan con gran poder a la hora de la toma de decisiones, pero sí que se encuentran muy interesados en que el proyecto siga adelante, ya que afectaría directamente a sus actividades de instrucción y adiestramiento y por consiguiente a su preparación para el combate. Además, serían las encargadas de probar, en última instancia, los simuladores diseñados, por lo que el feedback que aporten también es fundamental. Esta idea, aunque repetida en numerosas ocasiones a lo largo de los últimos años, se reitera en el informe de situación del Ejército de Tierra (2018). Sin embargo, las Unidades de Caballería no son las únicas que están muy interesadas en que el proyecto dé comienzo. **El Mando de Adiestramiento y Doctrina** también sería uno de los grupos que más interés demostrarían en el desarrollo y avance de nuevos sistemas de simulación para nuestro ejército. Además, este *stakeholder* cuenta con más poder que el anterior, ya que es el encargado de evaluar estos medios, así como utilizarlos para la formación inicial de nuevos combatientes, por lo que su labor es fundamental (Martín, 2018). Por otro lado, **La Dirección General de Armamento y Material (DGAM²⁷)** es otro de los actores que más influyen, debido al importante papel que desarrollarían estos en el caso de que el proyecto diese comienzo, pues sería la encargada de la compra y adquisición de los elementos a utilizar (Ministerio de Defensa, 2021). Asimismo, el **Ministerio de Defensa**, al igual que las anteriores organizaciones, tiene una gran influencia en el proyecto, y es de donde se obtiene la financiación para llevarlo a cabo. El interés del Ministerio de Defensa por el desarrollo de nuevos sistemas de simulación ha quedado reflejado en los esfuerzos de nuestras FAS por la adquisición de numerosos tipos de simuladores (consultar [Apartado Estado del Arte](#)).

Una vez descritos los *stakeholders* de mayor importancia, seguidamente se procede a clasificarlos en función de la zona en la que se encuentran de la tabla localizada en el [ANEXO I](#) de este documento. Para ello, observando la Tabla 12, y comparándola con el ANEXO I anteriormente mencionado, se obtendrá la forma en la que enfocar la influencia en función de que *stakeholders* o grupo de interés sea. A continuación, en la Tabla 12 se describe la forma de enfocar la influencia:

²⁷ Es el Órgano directivo al que corresponde la planificación y desarrollo de la política de armamento y material del Departamento, así como la supervisión y dirección de su ejecución (Ministerio de Defensa, 2021).



STAKEHOLDERS	FORMA DE ENFOCAR LA INFLUENCIA
Mando de Adiestramiento y Doctrina y DGAM.	Flujo de información constante.
Gobierno y Ministerio de Defensa.	Mantenerles satisfechos.
Unidades de Caballería con VRCC Centauro.	Mantener flujo de información.

Tabla 12. Forma de enfocar la influencia hacia los stakeholders. Fuente: elaboración propia.

4.9 ANÁLISIS DE RIESGOS: FALLOS Y LIMITACIONES DEL SISTEMA

A continuación, se va a proceder a indicar y evaluar los diferentes riesgos que existen en torno al proyecto. El objetivo de este análisis es plantearse medidas para corregir y limitar la gravedad del riesgo en el caso de que este apareciese, y de establecer qué riesgos deben tratarse prioritariamente. En este análisis, los riesgos han sido estudiados detalladamente, investigando las causas de su aparición (**causas riesgo**) y las consecuencias (**efectos riesgo**) que provocarían en el caso de aparecer. Por otro lado, los riesgos han sido clasificados en función de los efectos que provocarían en el proyecto (**impacto**) y de las posibilidades de aparición de los mismos (**probabilidad**). Cada una de estas variables se divide en tres niveles en función del grado del riesgo. De esta forma, se puede observar que el impacto puede ser bajo (L), medio (M) o alto (H). Asimismo, la probabilidad de aparición puede ser baja (1), media (2) o alta (3). Sin embargo, este análisis, como ya se ha mencionado, busca establecer ciertas medidas (**medidas/alternativas**) de forma que los efectos negativos se vean reducidos. De esta forma, se observa que tras la aplicación de estas medidas la **clase riesgo**²⁸ se verá modificada. Normalmente, si la medida aplicada es correcta, tenderá a disminuir o como mínimo se mantendrá en el mismo nivel. A continuación, se describen en las Tablas 11 y 12 el análisis de riesgo realizado:

ID	Descripción riesgo	Categoría riesgo	Causa del riesgo	Impacto (H, M, L)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo
1	Aumento significativo de los costes	Costes	Inadecuada planificación de los presupuestos.	H	3	3H
2	Disminución del presupuesto inicial	Costes	Inadecuada planificación de los presupuestos.	M	2	2M
3	Sustitución de la plataforma VRCC Centauro	Producción y costes	Obsolescencia de la plataforma.	H	1	1H
4	Aparición de otro simulador de mayores prestaciones	Producción y costes	Mejora de la tecnología actual.	L	1	1L
5	Fallo técnico en el sistema	Técnico	Fallo eléctrico o mecánico.	H	2	2H
6	Fallo en algún elemento debido a un golpe	Calidad	Golpe en algún elemento del sistema.	H	1	1H
7	Fallo en algún elemento debido a factores meteorológicos	Calidad	Material inadecuado, poca protección de los elementos, causas ajenas.	H	1	1H
8	Debilitamiento y caída de la estructura de los blancos	Calidad	Golpes, factores meteorológicos o una	M	1	1M

²⁸ Nombre que recibe la evaluación del impacto y probabilidad de aparición de un riesgo. La clase riesgo se divide en riesgo crítico, alto-medio, medio y bajo.



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

			deficiente instalación de los blancos.			
9	Imposibilidad de almacenar más información	Técnico	Falta de memoria de la unidad de control.	M	2	2M
10	Fallo en la alimentación de los elementos	Técnico	Cableado en mal estado o fallo en las fuentes de alimentación.	H	1	1H
11	Falta de personal formado para el mantenimiento del sistema	Personal	Pocos cursos de formación de personal.	H	1	1H
12	Defectos en los elementos desarrollados	Calidad	Fallo en la empresa desarrolladora.	L	1	1L

Tabla 13. Análisis de riesgos. Fuente: elaboración propia.

Matriz riesgos antes de medidas					Estadística	
Probabilidad	3	0	0	1	Clase riesgo	Número
	2	0	2	1	Crítico	1
	1	2	1	5	Alto - medio	1
		Low	Medium	High	Medio	8
		Impacto			Bajo	2
					Total:	12

Tabla 14. Clase riesgo antes de medidas. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en las Tablas 13 y 14, antes de realizar o proponer cualquier tipo de medidas vemos que existen dos riesgos a los cuales será preciso prestar mayor atención y tratar de forma prioritaria. Estos riesgos son el riesgo alto-medio número 5 (**fallo técnico en el sistema**) y el riesgo crítico número 1 (**aumento significativo de los costes**). Por otro lado, existen 8 riesgos de nivel medio y 2 de nivel bajo. De entre los de riesgo medio cabe destacar al número 2 (**disminución del presupuesto inicial**) y al 9 (**imposibilidad de almacenar más información**), relacionados con la categoría “Costes” y “Técnico” respectivamente. Además, habrá que tener en cuenta, a pesar de tener poca probabilidad de aparición, aquellos riesgos cuyo impacto es de nivel alto (H), como por ejemplo el número 6 (**fallo en algún elemento debido a un golpe**) o el 10 (**fallo en la alimentación de los elementos**).

Por otro lado, y como se ha mencionado anteriormente, uno de los objetivos fundamentales de este análisis de riesgos es el planteamiento de diferentes medidas para mitigar los efectos negativos que puedan provocar. De esta forma, las medidas aplicadas que se pueden observar en la Tabla 15 permiten cambiar la clase de riesgo, que figura en la Tabla 16.



ID	Efectos riesgo	Medida / Alternativas	Clase riesgo tras medida	Tendencia ²⁹	Responsable
1	No se cumple el objetivo de coste del proyecto	Revisión periódica de los costes	1M	(-)	Jefe del proyecto
2	No se cumple el objetivo de coste del proyecto	Disminuir el número de simuladores a desarrollar	2L	(-)	Jefe del proyecto
3	Paralización del proyecto	Guardar el material en los almacenes o en lugares resguardados y protegidos	1M	(-)	Jefe del proyecto
4	Obsolescencia parcial del sistema de simulación	Incorporar las modernizaciones en el sistema	1L	(=)	Jefe del proyecto
5	Imposibilidad de realizar el ejercicio de tiro	Reinicio del sistema y/o reparación o sustitución del elemento dañado	2M	(-)	Jefe del proyecto
6	Imposibilidad de realizar el ejercicio de tiro	Sustitución o reparación del elemento dañado	1M	(-)	Jefe del proyecto
7	Imposibilidad de realizar el ejercicio de tiro	Sustitución o reparación del elemento dañado e instalación de nuevos elementos de protección	1M	(-)	Jefe del proyecto
8	Imposibilidad de realizar el ejercicio de tiro momentáneamente	Volver a colocar los blancos en la posición correcta y reparar o sustituir los elementos de sujeción de los blancos	1M	(-)	Jefe del proyecto
9	No se puede hacer juicio crítico del ejercicio	Revisión periódica de la Unidad de control	1M	(-)	Jefe del proyecto
10	Imposibilidad de realizar el ejercicio de tiro	Sustitución o reparación del elemento dañado	1M	(-)	Jefe del proyecto
11	Mantenimiento incorrecto e incompleto de los elementos del sistema	Fomentar el mantenimiento e uso del simulador	1H	(-)	Jefe del proyecto
12	Fallo durante el tiro o previo a este	Contactar con la empresa desarrolladora para la sustitución de los/el elemento/s dañado/s	1L	(-)	Jefe del proyecto

Tabla 15. Análisis de riesgos y medidas. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en las tablas anteriores, el impacto de los riesgos ha disminuido de forma considerable, de forma que los riesgos que en las Tablas 13 y 14 eran de nivel Alto-Medio o Crítico, ahora han pasado a ser Medios. Tras la aplicación de estas medidas cabe destacar a los números 5 (**fallo técnico del sistema**) y 1 (**aumento significativo de los costes**), que eran precisamente los que mayor importancia tenían, y que ahora pasan a ser riesgos de nivel Medio. De esta forma, los resultados que arrojan las medidas tomadas indican que existen un total de diez riesgos de nivel medio y dos de nivel bajo.

Matriz riesgos después de medidas					Estadística	
Probabilidad	3	0	0	0	Clase riesgo	Número
	2	1	1	0	Crítico	0
	1	2	7	1	Alto - medio	0
		Low	Medium	High	Medio	10
		Impacto			Bajo	2
					Total:	12

Tabla 16. Clase riesgo después de medidas. Fuente: elaboración propia.

²⁹ La tendencia de la clase de riesgo tras la aplicación de las medidas/alternativas podrá ser: decreciente (-), creciente (+) o equivalente (=).



5 CRONOGRAMA

A lo largo del proyecto se ha utilizado la planificación inicial para conocer de forma general si se estaban cumpliendo los tiempos marcados, y para utilizar como referencia a lo largo del desarrollo del trabajo. Esta planificación no se ha cumplido al 100%, pues ha estado sujeta a cambios marcados por las circunstancias y por el calendario del Escuadrón Acorazado del GCPAC I/8, Unidad en la que el autor de este trabajo ha desarrollado su Trabajo de Fin de Grado.

En la siguiente tabla, utilizando como base la planificación inicial, se representan los adelantos y los retrasos que se han llevado con respecto a un primer planteamiento del tiempo.

ID	Actividad	Día de inicio (dd/mm/aa)	Día de Fin (dd/mm/aa)	Duración (días)	DÍAS DE ADELANTO (+) /RETRASO (-)
1	Recopilación de información	07/07/21	12/09/21	65	0
2	Establecer objetivos, alcance y planificación a seguir	06/09/21	12/09/21 19/09/21	7 14	-7
3	Análisis de los requisitos del simulador	06/09/21	19/09/21	14	0
4	Estructura general trabajo y planteamiento de la metodología	06/09/21	08/09/21	3	0
5	Redacción Introducción (Estructura de la memoria no)	06/09/21	12/09/21 14/09/21	7 9	-2
6	Redacción Estado del Arte	13/09/21	19/09/21 17/09/21	7 5	+2
7	Funcionamiento simulador de duelo	20/09/21	21/09/21 22/09/21	2 3	-1
8	Estudio de opciones	22/09/21 20/09/21	24/09/21 05/10/21	3 16	-12
9	Análisis de viabilidad social, y análisis de stakeholders	25/09/21 24/09/21	26/09/21 25/09/21	2	+1
10	Desarrollo funcionamiento simulador	27/09/21 05/10/21	10/10/21 17/10/21	14 13	-8
10.1	Desarrollo láser	27/09/21 05/10/21	10/10/21 17/10/21	14 13	-8
10.2	Desarrollo blanco y Unidad de control	30/09/21 05/10/21	10/10/21 17/10/21	14 13	-8
11	Análisis económico y de riesgos	04/10/21 27/09/21	10/10/21 21/10/21	7 17	-12
11.1	Análisis económico	04/10/21 17/10/21	10/10/21 21/10/21	7 4	-12
11.2	Análisis de riesgos	09/10/21 27/09/21	10/10/21 29/09/21	2 3	+12
12	Desarrollo de conclusiones	11/10/21 22/10/21	17/10/21 25/10/21	7 4	-8
13	Repaso del proyecto	18/10/21 25/10/21	01/11/2021 11/01/2022	15 78	-71

Tabla 17. Cronograma del Proyecto. Fuente: elaboración propia.

6 CONCLUSIONES

Durante el [Apartado Estudio de Opciones](#) se plantearon una serie de posibilidades que podrían cumplir los requisitos y objetivos de este Trabajo Fin de Grado. Finalmente, de entre las opciones planteadas se optó por una de ellas tras haber utilizado una serie de herramientas de apoyo a la decisión, de entre las que destaca una matriz de decisión donde se valoraron diferentes aspectos del simulador, siendo la opción desarrollada la mejor valorada.

Durante este trabajo, se han llevado a cabo numerosos análisis y estudios relacionados con la viabilidad de esta opción propuesta (consultar [Subapartado Opción 4: emisor láser en el interior de la recámara](#)). Por lo que se puede llegar a la conclusión de que este nuevo simulador de tiro para VRCC Centauro desarrollado, es **viable en todos los sentidos**. Además, cabe mencionar que ampliaría



CAC JAIME RAMÓN ESCUDERO BRAVO

notablemente las posibilidades y capacidades presentes y futuras de nuestras FAS, y especialmente de las Unidades de Caballería con VRCC Centauros en su orgánica. En sintonía con esta conclusión principal, es de enorme importancia señalar otras tras el desarrollo de este trabajo:

En primer lugar, durante el proyecto es posible observar la diversa tipología y cantidad de simuladores que existen actualmente en las FAS. No solo en las españolas, sino también del resto de países. Este es uno de los muchos indicadores que hacen intuir la **utilidad y eficacia** que tienen los simuladores en el desarrollo de las actividades de instrucción y adiestramiento de los diferentes Ejércitos del mundo. Por otro lado, y como es de imaginar, su uso ha demostrado ser enormemente productivo si se **acompaña de forma equilibrada y realista con el resto de ejercicios de Instrucción y Adiestramiento**.

Por otro lado, los simuladores existentes para VRCC Centauro en la actualidad son escasos, y no ofrecen una formación completa de la plataforma. Esta es una de las principales necesidades actuales de las Unidades de Caballería con VRCC Centauro en su orgánica. Por lo que la existencia de este simulador, además de **cubrir estas carencias**, buscaría lograr una **instrucción más realista de la tripulación**, pues como el simulador de tiro para VRCC Centauro está integrado en el procedimiento de tiro real del vehículo, hasta el último momento del mismo, ningún integrante de la tripulación podría distinguir la diferencia³⁰.

Como se ha mencionado en alguna otra ocasión a lo largo del trabajo, es **incuestionable la necesidad de realizar ejercicios de tiro real**. Sin embargo, la misión de este simulador no es sustituir esta acción, sino permitir que cuando se vaya a realizar el ejercicio, la tripulación esté perfectamente preparada e instruida para llevarlo a cabo. De forma que exista **una instrucción previa completa**, que permite ir a un ejercicio de tiro real con la mayor preparación posible. Además, y en relación con lo anterior, teniendo en cuenta que el objetivo principal de las actividades de instrucción y adiestramiento es **prepararse para el combate**, esta instrucción previa también permite formar y adiestrar para lo que pueda ocurrir en un futuro.

Por otro lado, uno de los principales problemas y dificultades que encuentran las diferentes Unidades de Caballería en el uso de simuladores para las diferentes actividades de instrucción y adiestramiento es la complejidad en la instalación y fijación de los diferentes elementos que forman parte del Sistema de simulación. De forma que, aun disponiendo de una tripulación formada e instruida en el montaje y desmontaje de dichos elementos, es necesario invertir un periodo considerable de tiempo en poner a punto el sistema, por lo que el tiempo que se le puede dedicar a la instrucción disminuye notablemente. Por el contrario, el sistema de simulación de tiro propuesto es **sencillo y de fácil instalación**, con el objetivo de que los ejercicios previstos puedan realizarse con la máxima celeridad posible.

El objetivo principal de este proyecto es analizar la viabilidad de un simulador de tiro para VRCC Centauro, sin importar si los resultados arrojados son positivos o negativos. Sin embargo, y tras los diversos análisis realizados a lo largo del trabajo, se puede concluir que el simulador propuesto es **factible técnicamente y también económicamente**.

Por último, es preciso indicar que este Trabajo de Fin de Grado se presenta, no solo como la solución de un problema real, sino también con una **propuesta de una línea de investigación futura** que tenga como objetivo desarrollo de nuevos simuladores para el vehículo VRCC Centauro, que permita a las tripulaciones una instrucción que, combinada con otras actividades de adiestramiento que son irremplazables, permita una instrucción completa y eficaz de esta plataforma.

³⁰ Sin contar con la carga de la munición real en la recámara. Acción que es imposible de realizar porque el emisor láser y otros elementos, se encuentran fijados en dicho lugar

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso Berrio, M (2003). Los Estados fallidos. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=917283> [Consultado: 08-09-2021]
- American Apex Corporation (1998a). *Manual del Operador del AIMTEST105*. Columbus, Ohio, EEUU: AAC.
- American Apex Corporation (1998b). *Manual de Mantenimiento de la Unidad y de asistencia directa*. Columbus, Ohio, EEUU: AAC.
- Bahamondes Masafierro, O (2015). "Empleo de simuladores en el entrenamiento de las fuerzas", *Feria Aeronáutica Internacional Rionegro-Antioquia*. Rionegro, Colombia. 9-12 agosto 2015. Santiago: pp. 39-47. Disponible en: https://search.usa.gov/search?affiliate=afpw_au&query=Bahamondes+Masafierro%2C+O+%282015%29.
- Barranco del Fresno, E. (2018). *Estudio para la adquisición de un sistema De duelo láser para el vehículo de Reconocimiento y combate de caballería VRCC Centauro*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.
- Barrio Adiego, M (2018). *ITA 1826 R. Informe respuesta a la PI 18/26, sistemas de simulación embarcada*. Informe del teniente coronel Oficial de Enlace al Mando de Adiestramiento y Doctrina.
- Bermejo Cabrera, F (2016). *ITA 1602 O. proyecto "Sistemas integrados para el adiestramiento terrestre" (SIAT)*. Informe del teniente coronel Oficial de Enlace al Mando de Adiestramiento y Doctrina.
- Bermejo Cabrera, F (2017). *ITA 1773 R. INFORME RESPUESTA A LA PI 17/73*. Informe del teniente coronel Oficial de Enlace al Mando de Adiestramiento y Doctrina.
- Bohemia Interactive Simulation (2021) Bohemis Interactive Simulation. Disponible en <https://bisimulations.com/#innovation> [Consultado 31-10-2021]
- Bundeswehr (2021). Bundeswehr. Disponible en: <https://www.bundeswehr.de/de/organisation/heer> [Consultado 05-09-2021]
- Colom Piella, G. (2018). "Guerras híbridas. Cuando el contexto lo es todo". *Ejército*. 927, pp. 38-44. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6477746> [Consultado: 08-09-2021].
- Contaval (2016). ¿Qué tipos de sensores fotoeléctricos existen? Valencia: Contaval.
- Departamento de Seguridad Nacional (2017). *Estrategia de Seguridad Nacional 2017*. Madrid.
- Ejército de Tierra (2013). *La Brigada Paracaidista se instruye con los nuevos simuladores de duelo para combatiente individual*. Disponible en: <https://ejercito.defensa.gob.es/actualidad/2013/07/2548.html> [Consultado 26-08-2021].
- Ejército de Tierra (2019a). *El 'Farnesio' diseña el primer sistema de adiestramiento de Realidad Aumentada*. Disponible en https://ejercito.defensa.gob.es/noticias/2019/06/7472_combatientes_realidad_aumentada.html [Consultado 15-09-2021]
- Ejército de Tierra (2019b). *Un Steel Beasts más inmersivo en el Farnesio*. Disponible en: https://ejercito.defensa.gob.es/noticias/2019/05/7340_simulador_steel_beats_farnesio.html [Consultado 20-10-2021]
- Ejército de Tierra (2021a). *Ejército de Tierra, Centro de Adiestramiento "San Gregorio"*. Disponible en: https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Zaragoza/cenad_san_gregorio/ [Consultado 20-10-2021]
- Ejército de Tierra (2021b). *Materiales Ejército de Tierra*. Disponible en <https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/index.html> [Consultado 23-08-2021].
- Ejército de Tierra (2021c). *Academia de Infantería, Organización y misión*. Disponible en <https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Toledo/acinf/Organizacion/vbs-2.html> [Consultado 28-08-2021].
- Ejército de Tierra (2021d). *Academia de Infantería, Organización y misión*. Disponible en https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Toledo/acinf/Organizacion/Steel_Beast.html [Consultado 28-08-2021]
- Ejército de Tierra (2021e). *Academia de Caballería, organización y misión*. Disponible en <https://ejercito.defensa.gob.es/en/unidades/Valladolid/acab/Organizacion/csa.html> [Consultado 20-10-2021]

- Ejército de Tierra (2021f). *Resumen ejecutivo "Fuerza 35"*. Disponible en: https://ejercito.defensa.gob.es/estructura/briex_2035/resumen_ejecutivo_fuerza_35.html [Consultado 01-09-2021]
- Ejército de Tierra. (2018). "Informe de situación, preparado, dispuesto y operativo". *Informe de situación*. Disponible en: https://ejercito.defensa.gob.es/publicaciones/cuaderno_et/2018/informesituacionET.html [Consultado 24-12-2021]
- Expósito, J.L. (2012). "Simuladores en las Fuerzas Armadas". *Revista Española de Defensa*, 283, pp. 6. Disponible en: https://www.defensa.gob.es/comun/buscar_resultados.html?q=283&more:DEF_ES&B_GEN [Consultado 07-10-2021].
- Franco García, A. (2010). *Física con ordenador, curso Interactivo de Física en Internet*. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm> [Consultado 12-10-2021].
- García Marco, J. M.^a. (2019). *Propuesta de Plan de adaptación de las instalaciones del Grupo de Caballería Ligero Acorazado "Reyes Católicos" II de La Legión a la Brigada Experimental 2035*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.
- García-Conde, J. A. Dañobeitia (2019). *Estudio de la viabilidad de la implantación de nuevos métodos de simulación en una compañía de fusiles*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.
- González del Alba Rodríguez, A. (2019). *Integración de cajones de arena de realidad aumentada y digitales en los procesos de planeamiento y realización de ejercicios tácticos*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.
- Indra (2020). *Centro de simulación de helicópteros del ejército de tierra: 50.000 horas de vuelo en simuladores de Indra*. Disponible en: <https://www.indracompany.com/pt-br/noticia/centro-simulacion-helicopteros-ejercito-tierra-50000-vuelo-simuladores-indra> [Consultado 07-10-2021].
- Infodefensa.com (2020). *Minerva, el nuevo simulador del Ejército de Tierra*. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3128533/minerva-nuevo-simulador-ejercito-tierra> [Consultado 07-10-2021].
- Ingesco (2021). Ingesco. Disponible en: <https://www.ingesco.com/es/productos/mastiles-y-kit-vientos> [Consultado 15-10-2021].
- Jayme Biondi, D. (1992). *La simulación para el entrenamiento de los mandos y el ejercicio del control presente y futuro*. Madrid: Imprenta Ministerio de Defensa. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2776492> [Consultado 07-09-2021]
- Jordán, J. (2019). "Algunas lecciones del combate terrestre en el Donbass (2014-2015): artillería, fuerzas acorazadas y mecanizadas". *IEEE*, 15, pp. 570-598. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7309237> [Consultado 15-09-2021].
- Lockheed Martin (2021), Lockheed Martin. Disponible en <https://www.dassecur.com/products/i-miles-vtess> [Consultado 01-10-2021].
- Los simuladores de helicóptero de Indra alcanzan las 50.000 horas de vuelo* (2020). Disponible en: <https://www.defensa.com/espana/simuladores-helicopteros-indra-ejercito-tierra-alcanzan-50-000> [Consultado 09-09-2021].
- Mando de Adiestramiento y Doctrina (2006). *Tendencias Específicas de las Armas*. Granada: MADOC.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina (2012). *MT4-923 Simulador de duelo VCI Pizarro*. Granada: MADOC.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina (2014a). *Tendencias Específicas de las Armas VOL II*. Granada: MADOC.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina (2014b). *Apuntes didácticos torre de VRCC Centauro*. Granada: MADOC.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina (2014c). *Catálogo de medios de Simulación en el ET*. Granada: MADOC.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina (2017). *Simulador Láser Leopardo Pizarro*. Granada: MADOC.
- Mando de Adiestramiento y Doctrina (2019). *MI-207 Instructor Avanzado de tiro de VRCC Centauro*. Granada: MADOC.

Mando de Adiestramiento y Doctrina (2020). *Combate de la Caballería, Academia General Militar*. Granada: MADOC.

Mando de Apoyo Logístico del Ejército (2018). *Pliego de prescripciones técnicas. Adquisición de disparos rompedores de 105 mm para VRCC Centauro*. Madrid: MALE.

Manrique Braojos, J. (2012). "La simulación como herramienta en tiempos de recortes". *Revista Española de Defensa*, abril 2012. Disponible en: <https://www.defensa.gob.es/gabinete/red/anteriores/> [Consultado 29-08-2021].

Marabotto Estévez, J (2019). *Estudio de la disposición de módulos detectores para un sistema de duelo láser en el Vehículo de reconocimiento y combate de Caballería VRCC Centauro*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.

Martín Llamas, J. (2018). "Simulación en el Ejército de Tierra: estado actual, necesidades y tendencias". *Jornada Tecnológica de Simulación en Defensa*. 24 de abril de 2018, Madrid. Disponible en: <https://1library.co/document/yr6e6epy-madoc-simulaci%C3%B3n-%C3%A1mbito-ej%C3%A9rcito-tierra.html>

Meta-Defense. (2021). "MAbrams, Challenger, 3, Armata...: ¿cuánto valen los tanques de batalla modernos?". *Meta-Defensa*. 06 de septiembre. Disponible en: <https://www.meta-defense.fr/es/2021/09/06/abrams-challenger-3-armata-que-los-tanques-de-batalla-modernos-valen-2-2/> [Consultado 20-09-2021].

Ministerio de Defensa (2021). Dirección General de Armamento y Material. Disponible en: <https://www.defensa.gob.es/ministerio/organigrama/sedef/dgam/> [Consultado 24-09-2021]

Naranjo Saldarriaga, D. (2016). *Análisis del desarrollo de medios de simulación para completar la instrucción real en Infantería*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.

Navarro García, J. M.^a. (2020). "Indra suministrará los simuladores para los Pizarro del Ejército de Tierra". *Defensa.com*. 31 de agosto 2020. Disponible en: <https://www.defensa.com/espana/indra-suministrara-simuladores-para-pizarro-ejercito-tierra> [Consultado 09-09-2021].

Rivol Pitt, P. (2019). *Nuevo simulador de duelo para el Colegio Militar*. Disponible en <https://www.argentina.gob.ar/noticias/nuevo-simulador-de-duelo-para-el-colegio-militar> [Consultado 11-09-2021]

Rojas Ibáñez, G. E. (2017). *El papel de las tácticas irregulares en las guerras híbridas: la intervención en Afganistán por parte de Estados Unidos*. Trabajo Fin de Grado. Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario (Bogotá)

SAAB. (2017), *Saab introduces BT 46 Mk III at I/ITSEC*. Disponible en: <https://www.saab.com/newsroom/press-releases/2017/saab-introduces-bt-46-mk-iii-at-iiitsec>

SAAB. (2018) *actualizará los simuladores de vehículos del Ejército alemán*. El Radar. Disponible en: <https://www.elradar.es/saab-actualizara-los-simuladores-vehiculos-del-ejercito-aleman/>

SAAB. (2020). *Entrenamiento y simulación, adiestramiento completo para enfrentar los desafíos del campo de batalla*. Disponible en: <https://docplayer.es/205525145-Una-publicacion-de-saab-america-latina-en-foco-entrenamiento-y-simulacion.html>

Sánchez Ruiz, J. I. (2018). *Mejora de la instrucción y adiestramiento a través de los sistemas de simulación*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.

Sancho Val, J y Torralba Gracia, M. (Coords.) (2021). *Oficina de Proyectos. Tema 5: gestión de riesgos*. Zaragoza.

Secretaría de Estado de Defensa (2021). *Presupuesto del Ministerio de Defensa*. Madrid: SEDEF.

Secretaría General Técnica del Ministerio de Defensa (2019). *Estadística de Asuntos Económicos Año 2019*. Madrid: SEGENTE

ANEXO A: ORGÁNICA DE LA CABALLERÍA

Las Unidades de la Caballería española tienen en su orgánica diversos medios que le aportan a esta la flexibilidad por la que esta destaca. Estas Unidades, repartidas por toda España, se encuentran organizadas de formas diferentes en función de las necesidades y medios del momento. En este caso, la plataforma que más interesa en este Trabajo de Fin de Grado es el VRCC Centauro, y, por consiguiente, las Unidades que se deben destacar son aquellas que disponen de dicho vehículo en su orgánica. De esta forma, en España encontramos diferentes Unidades que cumplen con esta característica:

- Regimiento de Caballería “Lusitania” Nº8 de Paracaidistas (Valencia).
- Regimiento de Caballería “Farnesio” Nº12. (Valladolid).
- Regimiento de Caballería “España” Nº11 (Zaragoza).
- Grupo³¹ de Caballería Ligero-Acorazado “Reyes Católicos” II de la Legión (Málaga).
- Academia de Caballería (Valladolid).



Figura 19. Mapa de situación de las Unidades de Caballería que disponen de VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia

³¹ Este Grupo de Caballería no se encuentra encuadrado en ningún Regimiento de Caballería, sino que depende directamente de la Brigada.

ANEXO B: PRINCIPALES VEHÍCULOS DE LA CABALLERÍA ESPAÑOLA.



Figura 20. Vehículos en orgánica de la Caballería española: VEC (arriba izquierda), CC Leopard 2E (arriba derecha), CC Leopard 2 A4 (abajo izquierda) y VCI/C Pizarro (abajo derecha). Fuente: Defensa, 2021.

ANEXO C: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS VRCC CENTAURO



Figura 21. VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia.

CARACTERÍSTICAS VRCC CENTAURO	
Categoría, Origen y Tripulación.	Se trata de un vehículo de reconocimiento y combate acorazado sobre ruedas 8x8. Con origen en Italia que consta de una tripulación de 4 militares (jefe de vehículo, tirador, conductor y cargador), con posibilidad de transportar hasta cuatro exploradores.
Motor y prestaciones	Tiene un motor FIAT diésel sobrealimentado y una autonomía de 800 Km./550 l. Además, tiene una velocidad máxima de 105 Km./h y una capacidad de vadeo de 1,2 m. Por otro lado, sus capacidades máximas de franqueo de obstáculos en vertical y ángulos de pendiente vertical y lateral son 0,45 m, 60% y 30%, respectivamente
Equipamientos, armamento y blindaje	Posee sistema NBQ, AA y calefacción, sistema CI y AE: sistema de inflado de neumáticos y cabrestante. Utiliza como medio de transmisión el 1/2 RT-9500 (+ ROVIS). En cuanto al armamento, cuenta con un cañón principal de 105/52 mm ánima rayada, Am. MG. 7,62 Coaxial y Am. MG 7,62 AA, además de 8 tubos lanza artificios. Por otro lado, su blindaje es de acero convencional, con posibilidad de instalar blindaje reactivo SABLIR en casco y torre.
Munición para el cañón	Es capaz de utilizar del tipo perforante estabilizado con aletas (APFSDS), rompedora (ROMP), alto explosivo contra carro (HEAT), alto explosivo plástico (HESH) y de instrucción (TP). Con un máximo de 40 disparos a municionar. Cuenta con un alcance máximo de 3500m.
Elementos de observación y puntería	Dispone de un PERI con estabilización independiente para el jefe de vehículo y para el tirador. También cuenta con cámara térmica con dos monitores (jefe de vehículo y tirador), telescopio auxiliar para el tirador, y un intensificador 2ª G. para visión nocturna conductor. Tiene estabilización y dirección de tiro.
Peso y dimensiones	Pesa un total de 27 T. (sin blindaje reactivo) y mide 7,63 (l) x 2,95 (a) x 2,75 (h)

Tabla 18. Características VRCC Centauro. Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2021.

ANEXO D: MUNICIONES PARA VRCC CENTAURO Y TABLAS BALÍSTICAS

MUNICIÓN APFSDS-T

Características:

- Denominación: D.O. APFSDS-T DM 33 105 x 617 mm
- Peso del disparo: 18,700 kg.
- Peso del proyectil: 4,080 kg.
- Peso del proyectil con casquillos: 10,375 kg.
- Velocidad inicial (Vo): 1.455 m/s.
- Alcance máximo: 48.773 m.
- Carga explosiva: no tiene.
- Espoleta: no tiene.
- Vaina: Metálica no combustible.
- Color del proyectil: Negro con "letras" en blanco.

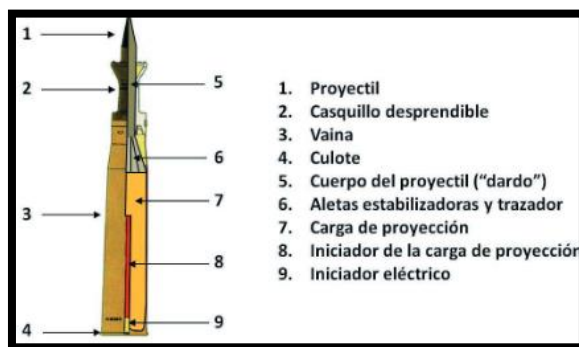


Figura 22. Características disparo APFSDS-T. Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019.

Empleo:

Es la munición contracarro por excelencia. Su alta velocidad, unida a la gran densidad del material del que está hecho el proyectil, le confiere una energía capaz de penetrar cualquier coraza o blindaje conocido. Cuando se use este tipo de munición, las tropas propias no pueden situarse por delante del arma en un cono de unos 60° y en una distancia de 1.000 metros, ya que los casquillos desprendibles del proyectil pueden causar bajas si alcanzan al personal a pie.

Funcionamiento:

Actúa mediante la concentración de energía cinética sobre el blanco, conseguida por una alta velocidad inicial, una elevada relación longitud/diámetro del proyectil, y el empleo de materiales de gran dureza en la composición de su núcleo. El capete compuesto por tres casquillos desprendibles, fijados por anillos, se desprende del proyectil, después de abandonar el tubo del arma, por efecto de la fuerza centrífuga y del rozamiento del aire.

MUNICIÓN HEAT

Características:

- Denominación: D.O. CH TRAZ M-456-A1 C. M-48 y M-47 105 mm.
- Peso del disparo: 22,22 kg.
- Peso del proyectil: 10,3 kg.
- Carga explosiva: 970 g.
- Carga de proyección: 5,5 kg.
- Longitud del disparo: 1.058 mm.
- Velocidad inicial (Vo): 1.171 m/s.
- Alcance máximo: 8.975 m.
- Alcance efectivo: 1.500 m.
- Espoleta: de percusión con sistema piezoeléctrico en ojiva conectada por cable a una espoleta de culote.
- Vaina: Metálica, no combustible.
- Color del proyectil: Negro con letras amarillas.
- Penetración de RHA: 432 mm a 0° o 175 mm a 60°.

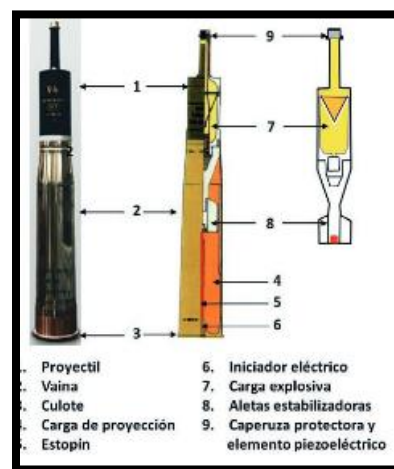


Figura 23. Características disparo HEAT. Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019.

Empleo:

Se usará para combatir blindados, y como munición secundaria contra carros que no dispongan de un blindaje especial. Como empleo secundario, se usará para atacar bunkers, casamatas y fortificaciones.

Funcionamiento:

El proyectil hace explosión por impacto, por acción de la espoleta situada en su parte anterior. El cono de cobre, alrededor del cual se encuentra la carga explosiva, se destruye creando una onda de choque de alta velocidad y un chorro de partículas incandescentes que penetra en el blanco, perforándolo por acción de la energía química.

ANEXO E: TABLA DE TIRO DEL PROYECTIL HEAT-T

ALCANCE (metros)	ELEVACIÓN DEL CAÑÓN (milésimas)	DISPERSIÓN EN ELEVACIÓN (metros)	DISPERSIÓN EN DIRECCIÓN (milésimas)	TIEMPO DE VUELO (segundos)	FLECHA (metros)	ABCISA DE LA FLECHA (metros)	ANGULO DE CAIDA (milésimas)	VELOCIDAD RESIDUAL m/s
0	0	0	0	0	0	0	0	1174
100	0,4	0	0	0,1	0	50	0	1145
200	0,7	0,001	0	0,2	0	99	1	1116
300	1,1	0,001	0	0,3	0,1	149	1	1088
400	1,5	0,002	0	0,5	0,2	200	2	1060
500	1,9	0,002	0	0,5	0,2	251	2	1032
600	2,4	0,003	0	0,6	0,4	302	3	1005
700	2,8	0,003	0	0,7	0,5	355	3	978
800	3,3	0,004	0	0,8	0,7	407	4	951
900	3,8	0,004	0	0,9	0,9	460	5	924
1000	4,3	0,005	0	1	1,1	514	5	898
1100	4,8	0,006	0	1,1	1,4	589	6	872
1200	5,3	0,007	0	1,2	1,7	623	7	846
1300	5,9	0,008	0	1,3	2,1	679	8	821
1400	6,5	0,009	0	1,4	2,5	735	9	795
1500	7,1	0,009	0	1,6	3	792	10	770
1600	7,7	0,01	0	1,7	3,5	849	11	740
1700	8,4	0,012	0	1,8	4,1	908	12	721
1800	9,1	0,013	0	2	4,8	966	13	697
1900	9,8	0,014	0	2,1	5,5	1026	15	673
2000	10,6	0,016	0	2,3	6,3	1086	16	650
2100	11,4	0,018	0	2,4	7,2	1147	18	627
2200	12,3	0,019	0	2,6	8,2	1209	20	605
2300	13,2	0,021	0	2,8	9,3	1272	21	583
2400	14,1	0,023	0	2,9	10,5	1335	24	561
2500	15,1	0,026	0	3,1	11,9	1399	26	540
2600	16,2	0,028	0	3,3	13,4	1464	28	519
2700	17,3	0,031	0	3,5	15	1530	31	499
2800	18,4	0,034	0	3,7	16,8	1597	34	480
2900	19,7	0,037	0	3,9	18,8	1665	37	460
3000	21	0,041	0	4,1	21	1733	41	442
3100	22,4	0,045	0	4,4	23,5	1802	45	424
3200	23,9	0,049	0	4,6	26,1	1873	49	406
3300	25,4	0,054	0	4,9	29,1	1944	54	389
3400	27,1	0,06	0	5,1	32,4	2015	59	372
3500	28,9	0,066	0	5,4	36,	2088	65	355

Tabla 19. Tabla de tiro del proyectil HEAT-T. Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019.

ANEXO F: TABLA DE TIRO DEL PROYECTIL APFSDS-T DM33

ALCANCE (metros)	ELEVACIÓN DEL CAÑÓN (milésimas)	DISPERSIÓN EN ELEVACIÓN (metros)	DISPERSIÓN EN DIRECCIÓN (milésimas)	TIEMPO DE VUELO (segundos)	FLECHA (metros)	ABCISA DE LA FLECHA (metros)	ANGULO DE CAIDA (milésimas)	VELOCIDAD RESIDUAL m/s
0	0	0	0	0	0	0	0	1455
100	0,2	0	0	0,1	0	50	0	1450
200	0,5	0	0	0,1	0	99	0	1445
300	0,7	0,001	0	0,2	0,1	149	0	1440
400	1	0,001	0	0,3	0,1	200	0	1435
500	1,2	0,001	0	0,3	0,1	251	1	1430
600	1,4	0,001	0	0,4	0,2	302	1	1425
700	1,7	0,001	0	0,5	0,3	355	1	1419
800	1,9	0,002	0	0,6	0,4	407	1	1414
900	2,2	0,002	0	0,6	0,5	460	2	1409
1000	2,4	0,002	0	0,7	0,6	514	2	1404
1100	2,7	0,002	0	0,8	0,7	569	2	1399
1200	2,9	0,003	0	0,8	0,9	623	2	1394
1300	3,2	0,003	0	0,9	1	679	3	1389
1400	3,4	0,003	0	1	1,2	735	3	1384
1500	3,7	0,003	0	1,1	1,4	792	3	1379
1600	3,9	0,004	0	1,1	1,6	849	4	1374
1700	4,2	0,004	0	1,2	1,8	908	4	1369
1800	4,4	0,004	0	1,3	2	966	4	1364
1900	4,7	0,005	0	1,4	2,2	1026	4	1359
2000	5	0,005	0	1,4	2,5	1086	5	1354
2100	5,2	0,005	0	1,5	2,8	1147	5	1349
2200	5,5	0,005	0	1,6	3	1209	5	1344
2300	5,7	0,006	0	1,6	3,3	1272	6	1339
2400	6	0,006	0	1,7	3,6	1335	6	1334
2500	6,3	0,006	0	1,8	4	1399	6	1329
2600	6,5	0,007	0	1,9	4,3	1464	6	1324
2700	6,8	0,007	0	1,9	4,7	1530	7	1319
2800	7,1	0,007	0	2	5	1597	7	1314
2900	7,3	0,007	0	2,1	5,4	1665	7	1309
3000	7,6	0,008	0	2,2	5,8	1733	8	1304
3100	7,9	0,008	0	2,3	6,2	1802	8	1299
3200	8,2	0,008	0	2,3	6,7	1873	8	1294
3300	8,4	0,009	0	2,4	7,1	1944	9	1289
3400	8,7	0,009	0	2,5	7,6	2015	9	1284
3500	9	0,009	0	2,6	8,1	2088	9	1279

Tabla 20. Tabla de tiro del proyectil APFSDS-T DM33 . Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019.

ANEXO G: CAUSAS DE LA DISPERSIÓN EN EL TIRO.

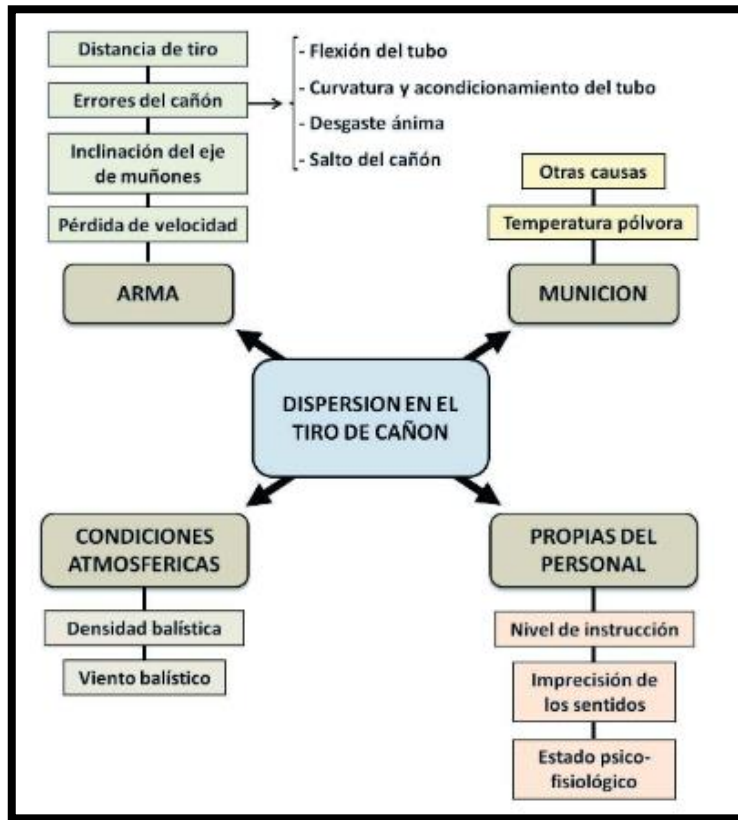


Tabla 21. Causas de la dispersión en el tiro con cañón. Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019.

ANEXO H: PIRÁMIDE DE LA INSTRUCCIÓN

La pirámide de la instrucción hace referencia a los niveles o “escalones” que hay que ir alcanzando para que la tripulación de una determinada plataforma se considere preparada para el combate. Esta pirámide, por consiguiente, va marcando el ritmo de la instrucción.

Pirámide de la instrucción

	NIVEL	INSTRUCCIÓN / ADIESTRAMIENTO EN UNIDAD	INSTRUCCIÓN / ADIESTRAMIENTO EN CENAD/CT,s
PROCEDIMIENTOS COMUNES	8	EX. TACTICO GT (OPFOR) VRCC Centauro 105	STEEL BEASTS ENFRENTAMIENTO CONTRA OPFOR
	7	EX. TACTICOS SC. Y SG/T. (OPFOR) VRCC Centauro 105	STEEL BEASTS Sec / SCON: CT. BOYERO TIRO FUEGO REAL
	6	TIRO PN. Y SC. PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE FUEGO VRCC Centauro 105	STEEL BEASTS Sec / Pn: CT. BOYERO TIRO FUEGO REAL VALIDACIÓN DE TRIPULACIONES EN CT BOYERO
	5	ADIESTRAMIENTO TACTICO DE SC. CC VRCC Centauro 105	STEEL BEASTS
	4	PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE FUEGO DE SECCION VRCC Centauro 105	PROCEDIMIENTOS COMUNES MANUAL IAT MI14-207 STEEL BEAST
	3	INSTRUCCIÓN DE TRIPULACION VRCC Centauro 105	STEEL BEASTS
	2	INSTRUCCIÓN DE PUESTO TACTICO VRCC Centauro 105	STEEL BEASTS
	1	CONOCIMIENTO TECNICO Y TAREAS COMUNES VRCC Centauro 105	STEEL BEASTS

Tabla 22. Pirámide de la instrucción. Fuente: Mando de Adiestramiento y Doctrina, 2019.

ANEXO I: FORMA DE ENFOCAR LA INFLUENCIA HACIA LOS STAKEHOLDERS.

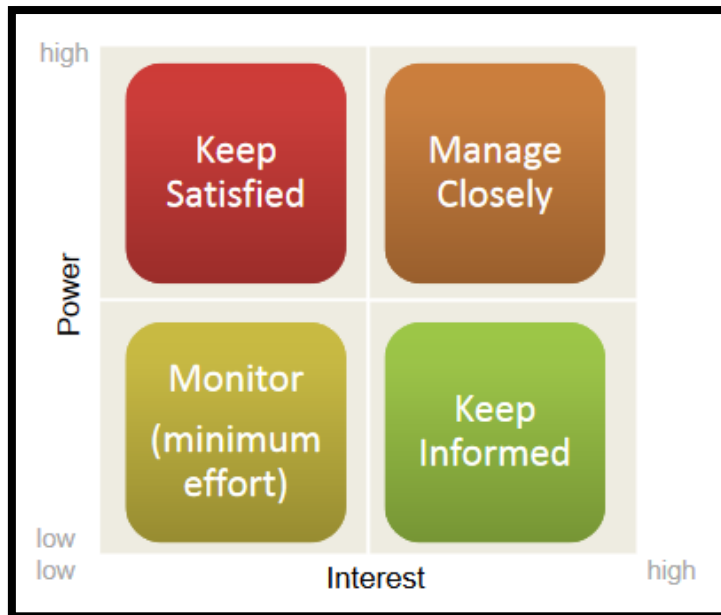


Tabla 23. Forma de enfocar la influencia hacia los stakeholders. Fuente: Sancho Val, J y Torralba Gracia, M, 2021.

ANEXO J: ELEMENTOS SIMULADOR DE TIRO

1. Cable disparador: se trata del cableado por el que circula la corriente desde el disparador del VRCC Centauro hasta el inversor que forma parte del circuito del emisor láser. La corriente tiene una tensión de 12V. El código del cable disparador es N.º A50145 y su longitud es de 152mm.



Figura 24. Cable disparador subcalibre AIMTEST105. Fuente: elaboración propia.



Figura 25. Láser MIL-H-1122. Fuente: imagen obtenida de Ultralaser

2. Emisor Láser: se trata del MIL-H-1122, desarrollada por la compañía CNI Laser. Emite un haz láser con una longitud de onda de 1112 nm y una potencia de entre 0,5W. Además, es capaz de operar a temperaturas entre 10 y 35 grados. Por otro lado, necesita de un voltaje de entre 90 a 264 VAC, tiene una vida útil de unas 10.000 horas, pesa un total de 0,9kg y sus dimensiones son las siguientes: 153 x 77 x 60 mm³. Este dispositivo es ampliamente utilizado en el campo de la investigación científica, destacando funciones como la de la medición, la comunicación o la detección.

3.1 Inversor: se encarga de transformar la corriente continua en alterna, así como de modificar los valores de la tensión. El inversor elegido es el de Green Cell el cual varía el valor de la tensión desde 12V hasta 220V, para permitir un correcto funcionamiento del emisor láser, adaptado en serie con el elemento anterior. A través de un conector permitiría enlazarse con el cable disparador y que la corriente fluyese por el inversor, el cual se encuentra a su vez conectado con el emisor láser a través de un conector especial. Además, el inversor tiene una serie de protecciones para evitar una posible sobretensión. Por último, el inversor pesa 0,83 kilogramos y sus dimensiones son 202 x 109 x 65 mm³.



Figura 26. Inversor para simulador de tiro VRCC Centauro. Fuente: imagen obtenida de Amazon.

3.2 Cableado: por otro lado, el segundo elemento que forma parte de este circuito interno sería el cableado (diferentes tipos) que permite la corriente conexión de todos los elementos.



Figura 27. Recámara del VRCC Centauro.

Fuente: elaboración propia.

4 Montura emisor láser: hace referencia a todos aquellos elementos que buscan que el emisor láser se encuentre correctamente fijado y centrado en la recámara. Para evitar que las vibraciones y el movimiento del cañón y del vehículo modifiquen la posición del emisor láser. Como se puede observar en el [Apartado de Propuesta de diseño y situación de los elementos](#), la montura del emisor láser estará compuesta por dos piezas principales, una de ellas fijará al inversor y la otra al propio emisor láser. Dichas piezas estarán juntas y rodeadas por un material que absorberá los posibles golpes y vibraciones del cañón y de la recámara. La primera de las piezas tendrá unas dimensiones de 202mm de largo, un diámetro exterior de

135mm y el interior de 126,9mm, servirá para fijar al inversor. La segunda de las piezas (de mayor importancia) se encarga de fijar al emisor láser y medirá 153mm de largo, contará con el mismo diámetro exterior que el anterior, y tendrá un diámetro interior de 97,61mm. Por otro lado, es necesario calcular el volumen de ambas piezas, pues afectará, no solo a las dimensiones de la propia Montura, sino también al precio total del simulador. De esta forma, y sabiendo que la estructura que se busca tiene una forma de cilindro hueco, tendremos que el volumen será:

$$V_{total} = V_{pieza1} + V_{pieza2}$$

$$V = (\pi \times h_1 \times R^2) - (\pi \times h_2 \times r^2)$$

Siendo h la longitud de la pieza (h_1 y h_2 en este caso serán el mismo valor h), R el radio exterior y r el interior. Por otro lado, y sabiendo que el valor de R para la pieza 1 y para la 2 es el mismo, y que los valores de r son conocidos tanto para la pieza 1 (63,45mm) como para la 2 (48,80mm), tendremos que:

$$V_{total} = 336559,43mm^3 + 1045352,16mm^3 = 1381911,60mm^3$$

5 Receptores: este elemento es clave en el simulador de tiro para VRCC Centauro, pues son los encargados de detectar el impacto del disparo del haz láser, una vez que lo detectan, se pone en marcha el circuito para indicar visualmente y en la Unidad de Control. Los receptores seleccionados son los denominados *BeMatik*. Se trata de unos sensores cúbicos fotoeléctricos de tipo barrera, cuyas dimensiones son 75 x 65 x 25 mm³. Actúan con un voltaje de entre 24 y 30 V, y cada uno de los sensores pesa alrededor de 80 gramos. Los sensores tipo barrera son aquellos en los que el emisor y el receptor están separados en dos elementos distintos, y se encuentran alineados uno con el otro. De esta forma, el receptor recibe toda la potencia del láser emisor, permitiendo que los factores ambientales que afectan al funcionamiento lo hagan mínimamente.



Figura 28. Receptor del sistema de blancos del simulador de tiro para VRCC Centauro. Fuente: imagen obtenida de Amazon.

6 Cableado Sistema Blancos: este cableado hace referencia a todo el circuito que unirá a los diferentes receptores con el resto del sistema. Tomando como referencia el [ANEXO M](#), que describe la situación de los receptores en el blanco, se calcula que harán falta unos 11m para unir a los receptores en total. Asimismo, a estos 11m se suman 2m para unirlo a la batería que les da corriente. A este total de 13m hay que sumarles los 2m de cableado que se suman del resto del circuito ocupado por el *timeout* y por los rotativos y otras fuentes de corriente. La suma total asciende a 16m de cableado.



Figura 29. Fuente de alimentación receptores, batería OKoman litio.
Fuente: imagen obtenida de Amazon.

7.1 Batería externa Sistema Blancos: estas fuentes de alimentación permiten la circulación de corriente por los diferentes circuitos que conforman el sistema de blancos. En primer lugar, la batería conectada a los receptores se trata de una batería de litio de 24V de la marca *OKoman* con una capacidad de 6000mAh. Las características más representativas son las siguientes: sus dimensiones son de 110 x 66 x 38 mm³, consta de unos sistemas de protección automática que evitan la sobrecarga de la batería, la sobredescarga y la sobrecorriente. Por otro lado, cuenta con una vida operativa de más de 1000 descargas completas. Por último, y para que sirva de referencia, esta batería tiene diversas aplicaciones, como por ejemplo para coches, motos y bicicletas eléctricas, o para dar corriente a herramientas utilizadas en bricolaje.

7.2 Batería externa sensor: por otro lado, cabe destacar que para la alimentación del sensor encargado de cerrar el interruptor y de activar el *timeout* se utilizará una batería DSK 10362, que se trata de una batería de Plomo recargable de una tensión de salida y una intensidad de 12V y 7,2Ah respectivamente. Esta batería tiene unas dimensiones de 151mm de longitud, 65mm de anchura y 94mm de altura. Por último, es interesante destacar que la mencionada la *DSK* suele ser utilizada para sistemas de seguridad y comunicación, así como para la alimentación de luces de emergencia.



Figura 30. Fuente de alimentación sensor, batería DSK 10362. Fuente: imagen obtenida de Amazon.

8.1 Sensor: este elemento se encarga de cerrar el interruptor que permite a la corriente circular por el circuito, lo que permite a los rotativos empezar a funcionar. Además, también permite a la antena de radiofrecuencia emisora enviar los datos relacionados con el disparo.

8.2.1 Antena de radiofrecuencia emisora: es la encargada de enviar la señal de que se ha producido un impacto en el blanco a la Unidad de Control. Esta antena se encuentra instalada en el sensor (elemento anterior) y la corriente que circula por el mismo tiene una tensión de 12V, corriente que aporta una batería externa que alimenta al sensor. La antena RF se trata de una *Eachine Transmisor TS832*, tiene una frecuencia de 5.8G (700 MHz y 3.500 MHz) y una potencia de transmisión de 600 mA. Además, es necesita un voltaje de entrada de entre 7.4 y 16V, lo que cuadra con la batería del sensor (12V). Por otro lado, su peso es de unos 22g y sus dimensiones son de 54 x 32 x 10mm³. Por último, es posible elegir entre 48 canales diferentes de entre todo el rango de frecuencias que abarca.



Figura 31. Antena RF Emisora del sensor del Sistema de Blancos. Fuente: imagen obtenida de Banggood,



Figura 32. Rotativo JBM 51964. Fuente: imagen obtenida de Amazon.

8.2.2 Rotativos: son los elementos que pertenecen al sistema de blancos y que, a través de su luz, indican visualmente que se ha alcanzado el objetivo. La corriente que recorre los rotativos se encuentra a una tensión de 24V, por lo que necesitarán de un potenciómetro que permita disminuir el voltaje hasta lo aceptable por este elemento (12V). Los rotativos son los *JBM 51964*, fabricados por *JBM Campllong S.L.* Cuentan con una lámpara *H1* de alta durabilidad, así como una lente *ABS*. Cabe destacar que sus dimensiones son de 244 x 134 x 134 mm³ y que pesan 1.1 kilogramos.

8.3 Estructura blancos: la estructura que sostiene a los receptores del blanco está compuesta por una serie de elementos que se van a describir a continuación.

En primer lugar, cabe destacar la estructura sobre la que deben situarse los receptores, dicha estructura es de poliestireno expandido (el coloquialmente llamado "corchopan"), se ha escogido un modelo fabricado por *Imballaggi.Point*, que se trata de un tipo de placa de 1cm de grosor y de unas dimensiones de 1000mm x 500mm. Se ha escogido este tipo por su bajo coste. Además, cabe mencionar que cada placa estará unida mediante tornillos. Para cada Blanco será necesario adquirir 20 placas de poliestireno por Blanco. Sin embargo, y como se puede deducir, en función de la colocación de las placas sobre el blanco, sobrarán más o menos superficie, de forma que se ha elegido colocar la placa de forma que el lado que mide 500mm sea la base, mientras que el lado de 1000mm sea el lateral. De este modo sobrarán 250mm de altura de placa en 5 de esos blancos. Teniendo en cuenta que cada sistema de simulación tiene un total de 4 blancos, se deben adquirir 80 placas.

Por otro lado, la estructura de blancos necesitará de un elemento que permita a los receptores fijarse a los blancos. Este elemento está representado por el velcro, donde una de las partes irá en la parte posterior del receptor y la otra en las placas de poliestireno expandido. Cada unidad de velcro medirá el equivalente a la base de los receptores (75 x 65 mm²). Por ello, si los blancos están compuestos por nueve agrupaciones de receptores, y cada agrupación de receptores está conformada por 4 receptores, y cada receptor ocupa en total una superficie de 4875mm², vemos que se necesita un total de 175500mm² de velcro, Por ello se ha seleccionado el velcro tipo marca *TEUVO Coudre*, de 110mm de ancho y 2000mm de largo (sería necesario cortarlo según las dimensiones que se necesitan).

Debido al viento, a la lluvia, y a otros factores meteorológicos, es necesario fijar la estructura de blancos de una forma segura que elimine la posibilidad de que la estructura de los blancos no resista las condiciones climáticas. Para ello, se utilizarán unas varillas de acero resistentes al óxido y a la corrosión, que se encuentren unidas a las placas de poliestireno. Las varillas que se colocarán en el lado superior serán de la marca *TOPINCN* y tendrán una longitud de 500mm (por lo que harán falta 5 varillas por blanco) y un diámetro de 8mm. Sin embargo, para los laterales será necesario un tipo diferente de varillas. Por consiguiente, las varillas que se utilizarán serán las de la marca *Asixxsix*, de unas dimensiones de 500mm de longitud y 8mm de diámetro. Sin embargo, como se puede observar, los laterales del blanco miden 1750mm, y las tres varillas medirán un total de 1500mm, así que es necesario una varilla que cubra esta longitud, por esa razón también se adquirirán varillas de la marca *EsportsMJJ* con unas dimensiones de 250mm y el mismo diámetro que las anteriores. Es decir, 8mm.

En relación con lo anterior, debe existir un elemento que permita la unión entre las varillas de los laterales con las del lado superior. Para ello se procederá a utilizar un codo de conexión de latón de la marca *Yinettech*, de 8mm de diámetro.

Por último, cabe mencionar a un elemento que se encargará de fijar a todos estos elementos anteriores al suelo, para incrementar la estabilidad de los blancos. Este papel lo desempeñarán las argollas del kit de vientos desarrollados por la empresa *Ingesco*. Se tratan de dos argollas de 40mm de diámetro, de tres puntos de apoyo cada una, que se encuentran en los dos vértices superiores del blanco. Dos de los puntos de apoyo se utilizarán para anclar el blanco al suelo mediante un viento de acero de 5m de longitud y un diámetro de 4mm, el punto de apoyo restante se utilizará para fijar los rotativos.



Figura 33. Unidad de control PDA "HTC Desire C".
Fuente: imagen obtenida de Amazon.

9 Unidad de control: este dispositivo permite al DIREX el control del ejercicio mediante una PDA donde se replican todos los resultados del disparo, los cuales llegan a través de la antena RF emisora que se encuentra conectada al sensor del sistema de blancos. Para este proyecto se ha elegido el dispositivo *HTC Desire C 4GB*, con sistema operativo Android. Esta herramienta tipo smartphone permite la edición de los resultados obtenidos en el ejercicio de tiro, ya que se encuentra conectado con el sistema de Blancos a través de enlace por radiofrecuencia. Las características más destacadas de este producto son su capacidad de memoria de 4GB, una pantalla de 3,5 pulgadas, unas dimensiones de 11,9mm x 60,6 x 107,2 mm³, un peso de alrededor de 50 gramos, una RAM de 512MB y una velocidad de procesador de 0,6GHz.

A modo de resumen, se presenta una tabla que describe de forma general todos los elementos que componen el sistema de simulación de tiro para VRCC Centauro:

GRUPO DE ELEMENTOS	ELEMENTO	N.º ID	MEDIDAS	PESO
SISTEMA EMISOR LÁSER	Cable disparador	1	1,52m longitud	-
	MIL-H-1122	2	153 x 77 x 60 mm ³	0,9 kg
	Circuito interno emisor láser	3	-	-
	Inversor	3.1	202 x 109 x 65 mm ³	0,83 kg
	Cableado	3.2	1 m aprox.	-
	Montura emisor láser	4	355mm (l) x 135mm (diám.)	8 kg
SISTEMA BLANCOS	Receptores	5	75 x 65 x 25 mm ³	0,8 kg
	Cableado	6	15 m aprox.	-
	Fuentes de alimentación	7	-	-
	Batería externa receptores	7.1	110 x 66 x 38 mm ³	-
	Batería externa sensor	7.2	151 x 65 x 94 mm ³	2,15 kg
	Circuito interno Blancos	8	-	-
	Sensor	8.1	-	-
	Antena RF Emisora	8.1.1	54 x 32 x 10 mm ³	0,22 kg
	Rotativos	8.1.2	244 x 134 x 134 mm ³	1.1 kg
	Estructura de los Blancos	8.4	-	-
SISTEMA UNIDAD DE CONTROL	Unidad de control	9	11,9mm x 60,6 x 107,2 mm ³	0,05 kg

Tabla 24. Elementos que componen el Sistema de simulación de tiro para VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Amazon, Bangood y Ultralasers

ANEXO K: ANÁLISIS DAFO OPCIONES 2 Y 4

Las Opciones 2 y 4 planteadas en el [Apartado Estudio de opciones](#) son las más interesantes para poder compararlas y analizarlas por separado. Si bien es cierto que son opciones relativamente parecidas, hay ciertos aspectos y características que los diferencian y que los hacen mejores y peores en diferentes aspectos.

Observando la Tabla 25, y analizando las fortalezas y oportunidades, cabe destacar que ninguna de las Opciones presenta una ventaja clara frente a la otra, pues el aspecto más importante es el que figura en la Opción 2 (“Experiencia previa en la colocación de un emisor láser en boca”). Sin embargo, la Opción 4 también se cuenta con experiencia previa en esta forma de instalar el simulador en el vehículo (“Adaptación de elementos del subcalibre al simulador”), por lo que podría decirse que no queda claro a partir de las fortalezas y de las oportunidades cuál de las dos Opciones es mejor. Sin embargo, y al pasar a analizar las debilidades y amenazas, se puede observar que en el caso de la Opción 2 son todas de enorme importancia, mientras que en la Opción 4, de entre las pocas debilidades y amenazas que presenta, la mayoría también figuran en la Opción 2. Debido a esto, y teniendo en cuenta la matriz de apoyo a la decisión que figura en el Subpartado de Decisión Final, se puede concluir que la Opción 4 es la adecuada para ser desarrollada.

DAFO OPCIÓN 2: EMISOR LÁSER EN BOCA DE CAÑÓN		DAFO OPCIÓN 4: EMISOR LÁSER EN EL INTERIOR DE LA RECÁMARA	
Debilidades	Amenazas	Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> -Difícil acceso, el Emisor Láser no puede ser modificado ni recolocado desde el interior. -Problemas en la instalación por la longitud del cableado. -Posibilidad de quedar desajustado. 	<ul style="list-style-type: none"> -Posibilidad de roturas en el cableado al estar en el exterior del vehículo. -Posibilidad de sobrecostes. 	<ul style="list-style-type: none"> -Necesidad de desarrollar un elemento que mantenga el Emisor Láser fijo y centrado en la recámara. -Posibilidad de quedar desajustado. 	<ul style="list-style-type: none"> -Posibilidad de sobrecostes.
Fortalezas	Oportunidades	Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> -Experiencia previa en la colocación de un Emisor Láser en boca. -La estructura que lo sujeta existe en otros tipos de simuladores (simuladores DSS). 	<ul style="list-style-type: none"> -Posibilidad de exportarlo una vez desarrollado. -Se puede utilizar personal formado en el simulador DSS para el mantenimiento, o para la enseñanza en la colocación del mismo. -Aparición de nuevos simuladores para el VRCC Centauro. 	<ul style="list-style-type: none"> -Fácil acceso al Emisor Láser. -Mayor protección ante las condiciones meteorológicas. -Adaptación de elementos del subcalibre al simulador. 	<ul style="list-style-type: none"> -Posibilidad de exportar el producto desarrollado. -Aparición de nuevos simuladores para el VRCC Centauro.

Tabla 25. Análisis DAFO Opción 2 (Izq.) y 4 (Der.). Fuente: elaboración propia con información extraída de EAC del GCPAC I/8 de Paracaidistas.

ANEXO L: CUESTIONARIO Y RESULTADOS “UTILIDAD SIMULADOR DE TIRO PARA VRCC CENTAURO”.

UTILIDAD DE UN SIMULADOR DE TIRO PARA EL VRCC CENTAURO

Este formulario tiene como objetivo analizar la aceptación que tendría el desarrollo de un simulador de tiro para el VRCC Centauro.
Muchas gracias por su colaboración

***Obligatorio**

1. Indique la escala a la que pertenece *

Marca solo un óvalo.

Tropa

Suboficiales

Oficiales

UTILIDAD DE UN SIMULADOR DE TIRO PARA EL VRCC CENTAURO

2. ¿Crees que los sistemas de simulación son útiles para las actividades de I/A? *

Marca solo un óvalo.

Si, son muy útiles

Si, pero hay que equilibrarlo con otras actividades de I/A

No son útiles

3. ¿Con qué simuladores ha trabajado a lo largo de su vida profesional?

4. ¿Conoce los simuladores actuales para VRCC Centauro? *

Selecciona todos los que correspondan.

Si

No

5. ¿Cree que los simuladores de VRCC Centauro son suficientes para una instrucción completa de dicha plataforma? *

Marca solo un óvalo.

Si, son suficientes

No, se deberían desarrollar nuevos simuladores

NS/NC

6. ¿Cree que sería interesante desarrollar un simulador de tiro para el VRCC Centauro? *

Marca solo un óvalo.

Si

No

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

Tabla 26. Cuestionario utilidad simulador de tiro para VRCC Centauro. Fuente: elaboración propia.

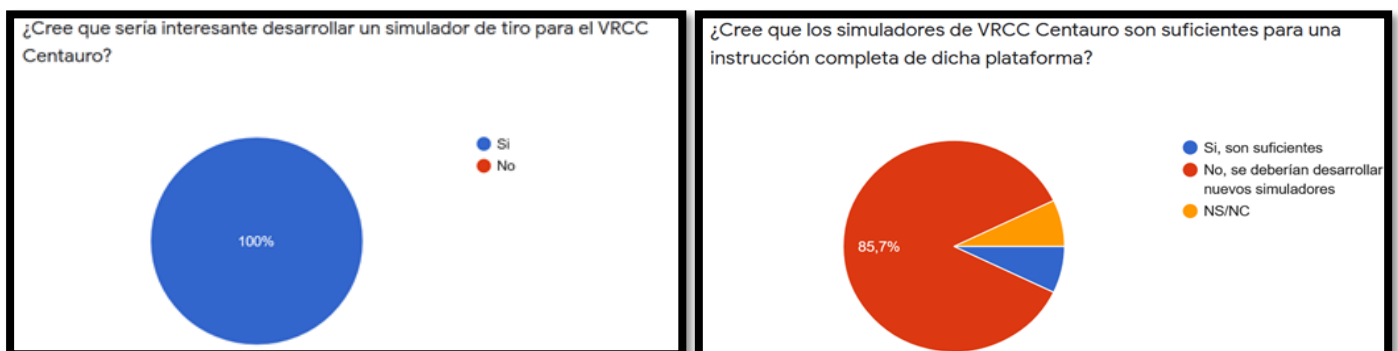


Figura 34. Resultados encuesta “Utilidad simulador de tiro para VRCC Centauro” (I). Fuente: elaboración propia.

ANEXO M: SITUACIÓN DE LOS RECEPTORES EN EL BLANCO

Es importante mencionar que realmente las dimensiones de los receptores son de 7,5cm x 6,5cm. Sin embargo, al considerarse de un tamaño inferior al que se busca en comparación con el del Blanco, se ha decidido agruparlos en conjuntos de cuatro receptores por agrupación de receptores. De forma que se reparten nueve agrupaciones por todo el blanco, sumando un total de 36 receptores.

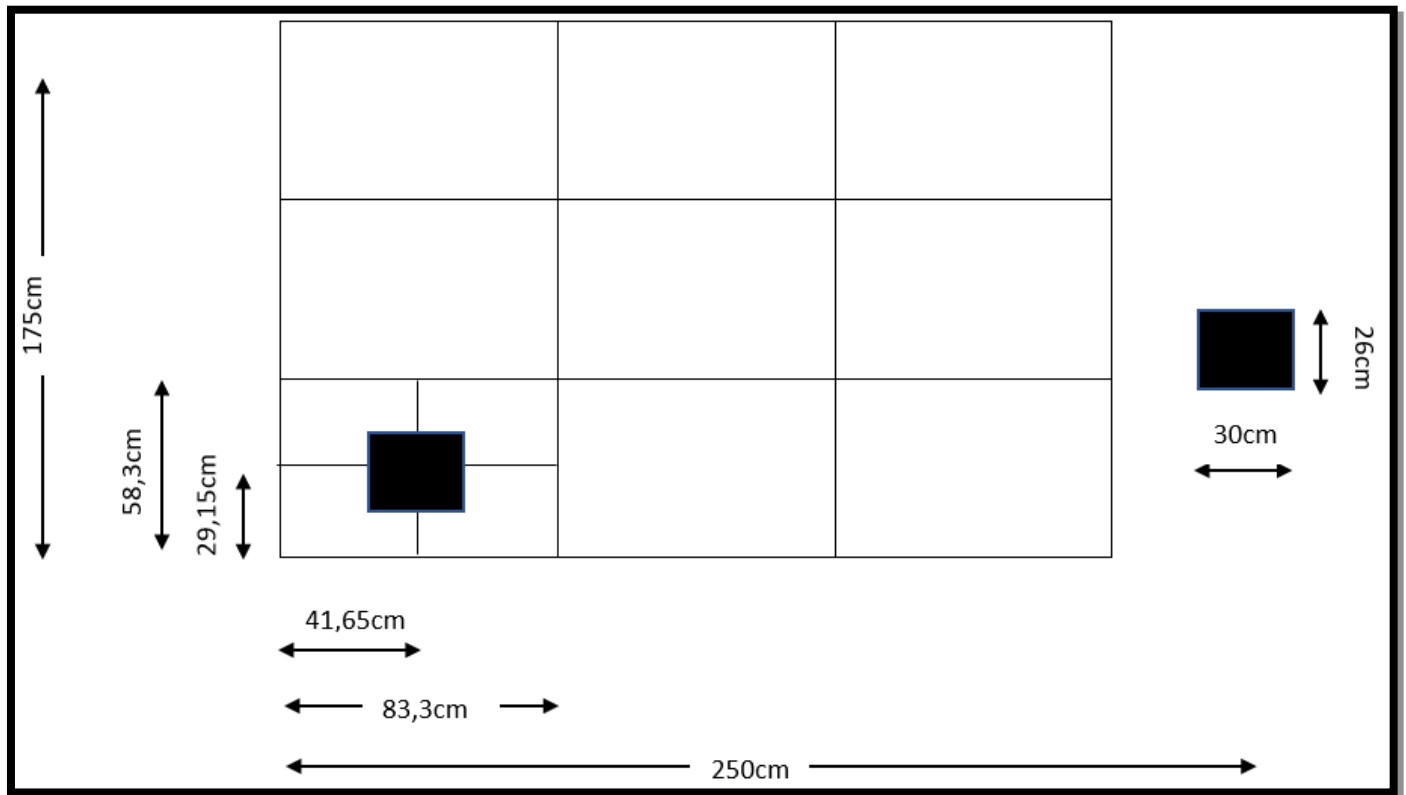


Figura 36. Situación de los receptores en el Blanco. Fuente: elaboración propia.

ANEXO N: FICHA DE TIRO PARA TRIPULACIONES VRCC CENTAURO Y ZONAS DE EJERCICIO

FICHA DE TIRO PARA TRIPULACIONES VRCC CENTAURO							
1. Ejercicio	2. Descripción del blanco				3. Munición		
TC1	Blanco	Estado blanco	Distancia	Tiempo de exposición	Cañón	AM	Lanzaartificios
	Vehículo "de frente"	FIJO	400 y 500m	Permanente	Disparos ilimitados		
4. Situación inicial	Condiciones del sistema: VRCC en óptimas condiciones de funcionamiento Actitud inicial: VRCC Centauro detenido						
5. Descripción	B1 y B2 a 400m del itinerario. Tiro en movimiento B3 y B4 a 500m del final del itinerario. Tiro estático						
6. Munición	Munición simulada						
7. Secuencia de acciones	El vehículo se encuentra detenido al comienzo del itinerario, avanzará hasta el final del itinerario, localizando B1 y B2 y abatiéndolos. Seguidamente se detiene en el final del itinerario y localiza y abate los blancos B3 y B4. El vehículo tendrá disparos ilimitados y sin límite de tiempo. Durante el ejercicio deberá realizarse la secuencia completa del tiro						
8. Condiciones de ejecución	Medición de distancias: telémetro láser						
	Degradación de sistemas: ninguna						
	Incidencias: ninguna						
9. Requisitos a alcanzar	La mayoría de los blancos localizados y abatidos						
10. Calificación	BIEN: todos los blancos localizados y abatidos						
	APTO: tres de los blancos localizados y abatidos						
	NO APTO: menos de tres blancos localizados y abatidos						
11. Observación	Las distancias se han referenciado respecto al itinerario principal						

Tabla 27. Ficha de tiro para ejercicio con simulador de tiro para tripulaciones VRCC Centauro con simulador de tiro. Fuente: elaboración propia.

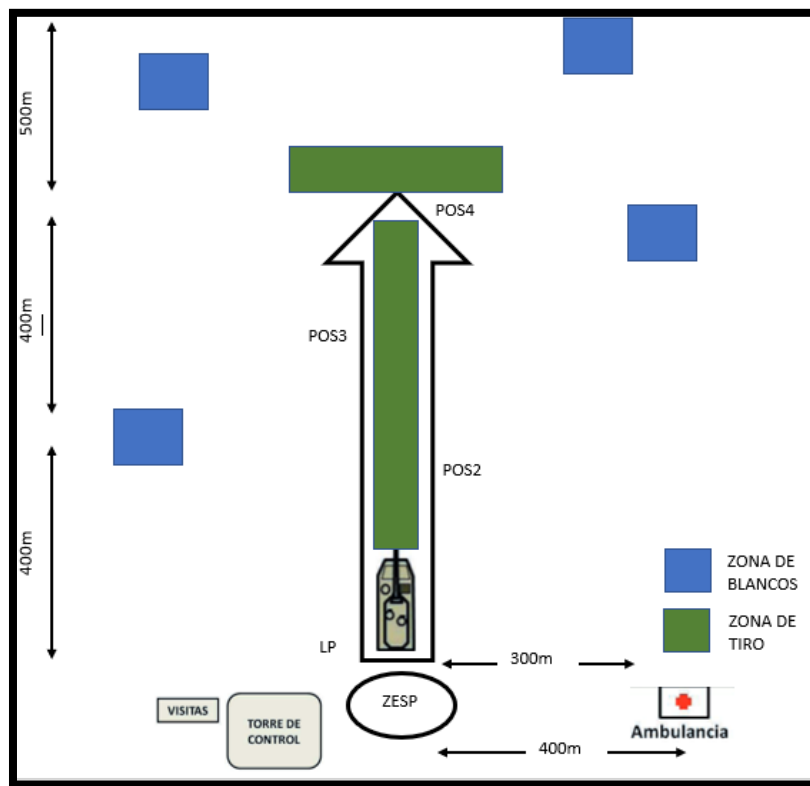


Figura 37. Zonas a establecer en un campo de tiro. Fuente: elaboración propia.