



Trabajo Fin de Grado

IMPLEMENTACIÓN DE UN AFUSTE DE 12,70 mm PARA CC LEOPARDO

Autor

CAC. Diego Salós Aguirán

Director académico: Dra. Noelia Marcano Aguado

Director militar: Cap. Sergio Ramón Blanco Irazábal

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2023



PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO



Agradecimientos

La realización de este Trabajo de Fin de Grado supone la culminación a cuatro años de esfuerzo y sacrificio en el Centro Universitario de la Defensa y de su grado de Ingeniería de Organización Industrial. Por ello quisiera agradecer a las personas que han hecho posible dicho logro personal.

En primer lugar, me gustaría agradecer a la que ha sido mi directora Académica durante el desarrollo del Trabajo, la Doctora Noelia Marcano Aguado por su interés, sus consejos y el guiado de dicho proyecto de principio a fin.

En segundo lugar, agradecer en este documento al que ha sido mi director Académico durante toda la realización del citado trabajo, el Capitán de Infantería D. Sergio Ramón Blanco Irazábal por su permanente disposición a ayudarme.

Seguidamente, me gustaría agradecer a todos los docentes que han colaborado durante los cuatro años en la enseñanza de las diferentes asignaturas del Centro Universitario de la Defensa, aportando su granito de arena y dándome las herramientas necesarias sin las cuales este trabajo no podría haberse materializado.

En tercer lugar, agradecer a todos los componentes del Batallón “Flandes” I/4 encuadrado en el Regimiento Acorazado “Pavía” nº4, y en especial a la 3^a Cía, mandos y tropa por su disposición constante y por hacer que mi primera toma de contacto con el mundo profesional sea de la forma más amena y sencilla posible.

Por último, quisiera agradecer a mi familia por su incondicional apoyo diario y por inculcarme los valores que me han ayudado a superar estos cinco años de formación académica en la Academia General Militar.

A todos los anteriormente nombrados, nuevamente muchas gracias por ayudarme a conseguir el que siempre fue mi sueño y una de mis metas.



RESUMEN

Los carros de combate son vehículos militares que han servido a lo largo de la historia en diferentes conflictos armados y han sido de gran importancia. Por esta razón, el ejército español desde el año 1995 ha adquirido el carro de combate alemán Leopard 2E, que es una adaptación del Leopard 2A6.

El carro de combate Leopard 2E cuenta como principal arma con su cañón de 120 mm con un alcance de 2,5 km, el cual es complementado por dos armas secundarias, una ametralladora 7,62 mm antiaérea y una ametralladora coaxial.

A día de hoy, podemos comprobar la efectividad del carro de combate alemán en la Guerra de Ucrania, donde son empleados en la mayoría de las operaciones tanto en ofensiva como en defensiva.

Actualmente los ejércitos de diferentes países se encuentran en procesos de actualización de sus armas y materiales, y uno de ellos es el carro de combate. Dichos proyectos centrados en los carros de combate intentan dar una alternativa viable añadiendo nuevas capacidades al carro sustituyendo uno de sus sistemas de armas.

Este trabajo consiste en la realización de un acople (afuste) para integrar una ametralladora tipo Browning (12,70 mm) en el interior del carro. Con esta mejora, se pretende modernizar este vehículo, otorgando una serie de capacidades que le van a permitir mejorar su operatividad tanto en los conflictos actuales como en los futuros, en los que sin duda los carros de combate serán decisivos en el devenir de las operaciones.

Para la elaboración de dicho trabajo se ha llevado a cabo un estudio del actual sistema de armas de las unidades acorazadas en España, el Leopard 2E, analizando sus características y capacidades técnicas. Asimismo, se ha analizado el empleo y funcionamiento de la ametralladora coaxial existente actualmente y de dotación en el carro, explicando los pros y contras de su funcionamiento y el por qué sería necesario su sustitución.

Con la finalidad de cumplir con los objetivos de este trabajo, se han realizados diferentes análisis de condiciones de frontera, que permitan proponer un diseño de afuste que pueda ser acoplado a la ametralladora en cuestión y pueda resistir los esfuerzos generados por su operación.

En conclusión, se ha diseñado un afuste en Acero Din 1.2842 que es capaz de cumplir con las necesidades de la aplicación con un factor de seguridad de 1,3, el cual se entrega con un pliego de prestaciones técnicas (PPT) y un plan de proyecto de tal manera que el afuste diseñado pueda ser manufacturado e implementado sobre los carros de combate.

Palabras Clave

Carro de combate, Leopard 2E, Ametralladora.



ABSTRACT

Battle tanks are military vehicles that have served throughout history in different armed conflicts and have been of great importance. For this reason, the Spanish army since 1995 has acquired the German tank Leopard 2E, it is an adaptation of the Leopard 2A6.

The main weapon of the Leopard 2E main weapon is its 120 mm cannon with a range of 2,5 km, which is complemented by two secondary weapons, a 7,62 mm anti-aircraft machine gun and a coaxial machine gun.

Today we can verify the effectiveness of the German tank in the Ukrainian War where they are used in most operations both offensive and defensive.

Currently the armies of different countries are in the process of updating their weapons and materials, and one of them is the tank. In this project, an attempt is made to provide a viable alternative by adding new capabilities to the tank by replacing one of its weapon systems.

This project consists of making a coupling (mount) to integrate a Browning type machine gun (12,70 mm) inside the car. With this improvement, it is intended to modernize this vehicle, granting a series of capabilities that will allow it to improve its operability both in current and future conflicts, in which tanks will undoubtedly be decisive in the future of operations.

For the elaboration of this work, a study of the current weapons system of the armored units in Spain, the Leopard 2E, has been carried out, analyzing its characteristics and technical capabilities, likewise, the use and operation of the existing coaxial machine gun has been analyzed. Currently and endowment in the car, explaining the pros and cons of its operation and why its replacement would be necessary.

In order to meet the objectives of this work, different analysis of border conditions have been carried out, which allow proposing a mounting design that can be coupled to the machine gun in question and can resist the efforts generated by its operation.

In conclusion, a Din 1.2842 steel mount has been designed that is capable of reaching the needs of the application with a safety factor of 1.3, which is delivered with a technical specification (PPT) and a plan of project in such a way that the designed mount can be manufactured and implemented on the battle tanks.

KEYWORDS

Battle tanks, Leopard 2E, Machine Gun, Hull.



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	II
ABSTRACT.....	III
KEYWORDS	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. MARCO DEL PROYECTO	3
1.3. ÁMBITO DE APLICACIÓN	4
1.4. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	4
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	5
2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE	5
2.2. METODOLOGÍA	6
3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	8
3.1. HISTORIA DEL CARRO DE COMBATE	8
3.2. LEOPARDO 2E.....	8
3.3. AMETRALLADORA BROWNING DE 12,70 MM	10
4. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	12
4.1. SISTEMA DE ARMAS ACTUAL	12
4.1.1. CAÑÓN PRINCIPAL	12
4.1.2. AMETRALLADORA ANTIAEREA	13
4.1.3. AMETRALLADORA COAXIAL.....	13



4.2. ANÁLISIS DAFO	16
4.3. DISEÑO DEL AFUSTE	17
4.3.1. ANÁLISIS DE CONDICIONES DE ENTORNO	17
4.3.2. DISEÑO PRELIMINAR	19
4.3.3. SIMULACION Y VALIDACIÓN DE ESFUERZOS	21
4.4. DISEÑO DEFINITIVO Y PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS (PPT)	24
4.5. ESTRUCTURA DE DESGLOSE DE TRABAJO (EDT).....	25
4.6. DIAGRAMA DE GANTT.....	26
4.7. ANÁLISIS DE RIESGOS	27
4.8. ANÁLISIS DE COSTES	29
5. CONCLUSIONES	30
5.1. LINEAS FUTURAS	31
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
7. ANEXOS	1
Panel lateral.....	1
Panel inferior	2
Panel acople	3
Ensamble afuste	4
Análisis de Riesgos.....	5



ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1-1. Leopard 2E del Ejército de Tierra español. Defensa.com	2
Fig 1-2. Ametralladora Browning M2HB. Defensa.gob	3
Fig 1-3. Ametralladora Browning M2 QCB. Defensa.gob	3
Fig 3-1. Ametralladora Browning M2 HB sobre vehículo Humvee. Infodefensa.com.....	10
Fig 4-1. Sistema de cañón 120mm/L55 de Leopard 2E.	12
Fig 4-2. Sistema de ametralladora antiaerea Leopard 2E.	13
Fig 4-3. Sistema de ametralladora coaxial Leopard 2E.	14
Fig 4-4. Diagrama análisis DAFO de proyecto.....	16
Fig 4-5. Vista superior y lateral de ametralladora M2HB.	17
Fig 4-6. Vista lateral de ametralladora M2HB, Sistema de referencia y centro de masas.	18
Fig 4-7. Diagrama de cuerpo libre ametralladora M2HB, fuerza de retroceso.	18
Fig 4-8. Vista isométrica de ametralladora y afuste simple.	20
Fig 4-9. Vista lateral y superior del afuste de la ametralladora.	20
Fig 4-10. Modelo simplificado para simulación.	21
Fig 4-11. Propiedades de materiales designadas en el modelo Acero DIN 1.2085.	22
Fig 4-12. Resultados de simulación Acero DIN 1.2085.	22
Fig 4-13. Propiedades de materiales designadas en el modelo Acero DIN 1.2842.	23
Fig 4-14. Resultados de simulación Acero DIN 1.2842.	23
Fig 4-15. Vista isométrica diseño definitivo.	24
Fig 4-16. Vista lateral y superior de diseño definitivo.	24
Fig. 4-17 Estructura de desglose de trabajo.....	26
Fig. 4-18 Diagrama de Gantt del proyecto.....	27
Fig. 4-19 Matriz de Riesgos obtenida a partir de la Lista de Riesgos anexo 5.....	28



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

Cía – Compañía

QCB – Quick Change Barrel

MG – Machine Gun

BICC – Batallón de Infantería de Carros de Combate

EDT – Estructura de Desglose de Trabajo

DAFO – Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades

OTAN- Organización del Tratado del Atlántico Norte

APS – Active Protection System

HEAT – High Explosive Anti-Tank

PELE – Perforante con Efecto Lateral Potenciado

APAM – Antipersonal y Antimaterial

CM – Centro de Masas

PM – Project Manager

NA – No Aplica



1. INTRODUCCIÓN

La presente memoria es el resultado del Trabajo de Fin de Grado de Ingeniería de Organización Industrial, grado universitario cursado en el Centro Universitario de la Defensa de la Academia General Militar. El presente informe cuenta con información obtenida durante la estancia en las Prácticas Externas en el Batallón “Flandes” I/4, encuadrado en la Brigada “Aragón” 1.

El trabajo surge de la necesidad de mejorar las capacidades del modelo actual de carro de combate Leopard 2E, en dotación en las unidades de Infantería Acorazada del Ejército de Tierra español. El objetivo general de este trabajo es desarrollar un nuevo modelo de afuste de ametralladora tipo “Browning” de 12,70 mm para reemplazar la actual ametralladora coaxial de 7,62 mm con el fin de aumentar la distancia efectiva y la potencia de fuego del carro de combate. Esta memoria se centrará en la realización de una propuesta técnica y económicamente viable.

1.1. ANTECEDENTES

El actual denominado Batallón “Flandes” I/4 está encuadrado en el Regimiento Acorazado “Pavía” nº4, integrado en la Brigada “Aragón” 1. Se trata de uno de los Batallones de Infantería más antiguos del Ejército de Tierra que siguen en funcionamiento. Dicha unidad es heredera de la mítica Escuela de Flandes creada en 1633 con la denominación de Tercio de Don García. Entre sus heroicas actuaciones destaca la de la Campaña de Orán y la participación en la Guerra de la Independencia.

En el año 2016 sufre una gran transformación, en la que pasará a denominarse Batallón de Infantería de Carros de Combate “Flandes” I/4 con su actual encuadramiento en la Brigada “Aragón” 1, adquiriendo así los modernos carros de combate alemanes Leopard 2E, uno de los más modernos en cuanto a estructura en el Ejército de Tierra se refiere y que ha participado en despliegues en Zona de Operaciones en Letonia y Mali.

El carro de combate alemán Leopard 2E, es una adaptación del Leopard 2A6 adaptado al Ejército español. El Ejército Español comenzó la adquisición de dichos carros de combate durante el año 1995. Desde la fecha se han adquirido diversas unidades, algunas se han transferido desde el Ejército Alemán (Cadiil, 1999). A partir del año 2003, los carros de combate Leopard 2E (ver figura 1.1) se comenzaron a fabricar en territorio español gracias a Santa Bárbara Sistemas, que pese algunos problemas logró culminar la entrega del equipamiento militar en 2008 (Cadiil, 2004).



Fig. 1-1. Leopard 2E del Ejército de Tierra español. [Fuente: Defensa.com]

El carro de combate Leopard 2E se diferencia de la plataforma original debido a la incorporación de una armadura de cuña complementaria y el engrosamiento de su blindaje, lo cual le permite mejorar su protección. Dicho vehículo, cuenta como principal arma su cañón de 120 mm con un alcance de 2,5 km, el cual es complementado por dos armas secundarias: una ametralladora 7,62 mm antiaérea y una ametralladora del mismo calibre, pero coaxial, es decir, colocada y dispuesta en el interior del carro mediante un afuste específico y controlada desde el puesto de tirador.

El Ministerio de Defensa de España, ha incluido el plan de mejora de los carros de combate Leopard 2E en el Objetivo de Capacidades Militares (2019-2024), en el cual, incluye mejoras en la torre del carro y los simuladores a corto plazo (infodefensa.com, 2023). Adicionalmente, se cuenta con un plan de desarrollo de un modelo Leopard 2E Plus dentro del proyecto Fuerza 2035, en el cual se busca mejorar la protección del vehículo implementando mejoras en el blindaje y sistemas de protección activa, además se espera mejorar el armamento incluyendo diversos tipos de municiones.

Por otro lado, la ametralladora Browning de 12,70 mm tiene su origen en John Moses Browning, un diseñador de armas de fuego estadounidense que destacó por la invención a finales de la Primera Guerra Mundial de dicha ametralladora con el fin de disponer de un sistema de armas efectivo contra la infantería, así como vehículos blindados e incluso aeronaves que volasen a escasa altitud (Chinn, 1951).

Actualmente, la ametralladora Browning de 12,70 mm es empleada por más de 40 ejércitos de diferentes países del mundo, entre los que destacan nuestras Fuerzas Armadas, que emplean su variante H-2-HB (Heavy Barrel) y la variante M-2 QCB (Quick Change Barrel) (Figuras 1.2 y 1.3. respectivamente). Entre sus especificaciones técnicas cabe destacar su peso de 38 kg, su alcance efectivo de 1800 m o incluso su cadencia de disparo, llegando a alcanzar una cifra de 636 disparos/minuto, equiparable a la ametralladora belga FN Minimi. (Yeide, 2004).

Actualmente, una de las variantes de la ametralladora Browning M2 es utilizada en carros de combate de última generación como el Abrams M1A2 del Ejército de Estados Unidos de América, demostrando que, pese a tener 100 años de servicio, es una ametralladora de buenas prestaciones y fiabilidad que puede servir de actualización para los carros de combate Leopard 2E, dotándolos de mayor versatilidad de combate.



Fig 1-2. Ametralladora Browning M2HB. [Fuente: Defensa.gob]



Fig 1-3. Ametralladora Browning M2 QCB. [Fuente: Defensa.gob]

1.2. MARCO DEL PROYECTO

El Batallón de Infantería de Carros de Combate “Flandes” I/4 cuenta como vehículo principal el carro de combate Leopard 2E, una máquina de fabricación alemana y que cuenta como principal protagonista su cañón de 120 mm capaz de batir cualquier tipo de objetivo terrestre o aéreo situado a una distancia de hasta 2,5 km, así como poder ser utilizado como pieza de artillería si así hiciera falta en caso de necesidad.

Adicionalmente, el carro de combate cuenta con dos armas secundarias, una ametralladora 7,62 mm antiaérea cuyo objetivo es batir elementos aéreos, la cual es manipulada por el radio cargador (RC) y una ametralladora coaxial del mismo calibre, la cual realiza su movimiento en conjunto y se encuentra ajustada en el interior del carro mediante un afuste específico y controlada desde el puesto de tirador (T).

Respecto a la tripulación, el carro de combate Leopard 2E cuenta con una tripulación



conformada por cuatro integrantes, donde cada uno tiene asignada una función específica logrando así en su conjunto conseguir que esta potente arma tenga el poder de destrucción necesario para completar la misión. Entre sus integrantes se encuentran el jefe de carro (JC), principal responsable del funcionamiento y mantenimiento del carro, así como de todo lo relativo a éste; el tirador (T), encargado del movimiento de la torre así como el mecanismo del cañón y de la ametralladora coaxial de 7,62 mm; el radio cargador (RC), cuya misión principal es abastecer de munición al cañón así como ser el encargado del funcionamiento de las radios “eco” (E), “charlie” (C), y “delta” (D); y por último el conductor (C), principal responsable del movimiento del carro de combate (CC).

1.3. ÁMBITO DE APLICACIÓN

La ametralladora Browning ha sido desde sus inicios, una ametralladora que ha marcado la diferencia en el campo de batalla, especialmente en las unidades de infantería, por ello se emplea en gran cantidad de ocasiones y para batir objetivos de todo tipo.

El principal ámbito de aplicación de este producto son las unidades regulares de infantería del Ejército de Tierra, excluyendo algunas unidades específicas. Pese a llevar utilizándose algo más de 80 años, han sido muy pocas las modificaciones que se han ido realizando a la ametralladora, es por ello, que en este trabajo se intentará dar una visión renovadora, incluyéndose en el sistema de armas de los carros de combate Leopard 2E.

1.4. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

El presente documento de memoria está estructurado en 5 partes.

- Capítulo 1: Introducción: Se realiza una aproximación al lector a los carros de combate y a la ametralladora Browning.
- Capítulo 2: Objetivos y metodología: Se expone el propósito del trabajo, la finalidad, las fases que se han seguido en su desarrollo y las herramientas utilizadas en cada fase del trabajo.
- Capítulo 3: Antecedentes y marco histórico: Se centra en explicar la evolución del carro de combate Leopard 2E así como la de la ametralladora Browning.
- Capítulo 4: Desarrollo: Análisis y resultados: En este apartado se presenta el grueso del trabajo en el que se mostrarán los diseños del afuste, así como los diferentes estudios de viabilidad realizados.
- Capítulo 5: Conclusiones: En este último apartado se darán a conocer las conclusiones del trabajo y las posibles líneas futuras.



2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo general de este trabajo es el de desarrollar un nuevo modelo de afuste de ametralladora de 12,70 mm para el carro de combate Leopard 2E, en dotación en las unidades de Infantería Acorazada del Ejército de Tierra español con el fin de mejorar las capacidades del modelo actual, que cuenta con un acople de ametralladora coaxial para el modelo de ametralladora MG-42 de 7,62 mm. De este objetivo general, se pueden desglosar cuatro objetivos secundarios, que se exponen en los siguientes puntos:

- Identificar los puntos clave a mejorar en el actual afuste de ametralladora coaxial utilizada en los carros de combate Leopard 2E, así como encontrar las necesidades de las unidades de Infantería Mecanizada respecto a este elemento.
- Definir los componentes necesarios para el producto y los requisitos técnicos de cada uno de ellos.
- Buscar similitudes actuales empleadas en otros ejércitos que se puedan adaptar a nuestras necesidades operativas.
- Confección de un PPT (Pliego de Prescripciones Técnicas).

El alcance general del producto viene definido por los siguientes requisitos y características esperadas del afuste para ametralladora 12,70 mm:

- Aumentar la distancia efectiva del sistema de armas coaxial actual.
- Optimizar el espacio dentro del carro de combate Leopard, aspecto fundamental en los carros de combate.
- Emplear un diseño óptimo que permita el montaje y desmontaje del sistema de armas de la forma más rápida posible.
- Utilizar el mínimo material necesario para llevarlo a cabo, optimizando tiempo, material y recursos económicos.

Tal como se ha mencionado en el capítulo anterior del presente documento, el Batallón “Flandes” I/4 ha propuesto la realización de este Trabajo de Fin de Grado (TFG). Como resultado del consenso realizado junto a directores Militar y Académico respectivamente, se llegó a la conclusión de que el fin principal del presente trabajo es poder evaluar la viabilidad de la futura implementación de las mejoras mencionadas en los carros de combate Leopard 2E.

En cuanto al alcance del proyecto, se pretende realizar una propuesta de mejora en la potencia de fuego del Leopard 2E, y concretamente con el diseño de un nuevo afuste para la ametralladora de tipo Browning de 12,70 mm de dotación en las unidades del Ejército de Tierra. Para estudiar y mostrar la viabilidad técnica del proyecto se mostrarán una serie de diseños mecánicos. Es importante destacar que el proyecto se centra en el planeamiento y el análisis de viabilidad de las mejoras, pero no incluye la instalación de éstas en el carro de combate. Sin embargo, en la memoria se indicarán las fases a seguir para la implementación del proceso completo.

Adicionalmente, se propone determinar previamente cuáles han sido los problemas o carencias del actual sistema de armas, con la finalidad de contextualizar el estado actual de los carros de combate y motivar la realización de este trabajo.



2.2. METODOLOGÍA

El éxito del presente proyecto y por consecuente la consecución de los resultados esperados será posible debido a las herramientas descritas en el presente apartado de la memoria del Trabajo Final de Grado.

El inicio del proyecto está limitado por el desconocimiento técnico de la unidad Leopard 2E, así como de los medios y técnicas de uso aplicadas por la tripulación y todo el personal relacionado a los carros de combate. Es por ello, que se realizan entrevistas al personal integrante del BICC “Flandes” I/4, abordando a Oficiales, Suboficiales y personal de Tropa, de tal manera que se pueda obtener una muestra de la población lo más amplia posible.

Seguidamente, se complementará la información brindada por los integrantes del BICC “Flandes” I/4 mediante una revisión bibliográfica que permita mejorar la compresión del estado del arte, obteniendo así no solo información complementaria sobre los carros de combate en cuestión, sino también información relevante del estado de la técnica que permita diseñar el acople para instalar la ametralladora mencionada en el carro de combate Leopard 2E.

A continuación, se definirán las actividades necesarias para la consecución de los objetivos específicos y por consecuente del objetivo general del presente proyecto, definiendo así una Estructura de Desglose de Trabajo (EDT). Dicha estructura consiste en el desglose piramidal del trabajo, en el que se muestran las diversas actividades intermedias y sus respectivos entregables, además, se define un jefe de proyecto y las respectivas fechas de inicio y fin de cada actividad.

También se realizará un Análisis DAFO, por sus siglas (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades), herramienta fundamental para analizar la situación actual dentro del Ejército y poder tomar la decisión más adecuada.

Se realizará un diagrama de Gantt utilizando la base definida por la EDT anteriormente descrita. Para su realización, se utilizará la plataforma de Microsoft Excel para su correcta visualización. El diagrama Gantt tendrá como objetivo principal el definir una línea temporal en el que queden reflejadas todas las actividades a realizar, así como la fecha de inicio y fin de las respectivas actividades. El diagrama, permitirá establecer una visión estructurada del proyecto y de las futuras actividades con la finalidad de tener una visión más estructurada del alcance del Trabajo Final de Grado descrito en esta memoria y de las posibles actividades que permitan aprovechar los resultados expuestos.

Una vez definidas las actividades necesarias, se llevará a cabo el desarrollo técnico del proyecto. Inicialmente, definirá la posible solución a partir del análisis de necesidades realizado previamente, dicha solución será analizada de manera técnica y se desarrollará una vez confirmada su viabilidad. El análisis técnico propuesto, corresponde a un estudio mecánico que permita determinar la resistencia de la solución a las condiciones de uso real.

El grueso de la realización de este proyecto se basa, al tratarse del diseño de un producto, en la realización de diferentes modelos tanto en 2D como en 3D, para el cual se han utilizado los programas SolidWorks y AutoCAD respectivamente. La simulación de esfuerzos llevada a cabo en el estudio mecánico se ha realizado con Solidworks Simulation.

Una vez evaluada la viabilidad técnica del modelo de afuste, se ha realizado un análisis de costes y un análisis de riesgos con el fin de completar el estudio de viabilidad del modelo propuesto.



Finalmente, se entregará un archivo técnico con todos los cálculos y diseños realizados para acoplar la ametralladora Browning de 12,70 mm al carro de combate Leopard 2E del Ejército Español. El archivo técnico mencionado, incluirá toda la información necesaria para entender el funcionamiento de la solución propuesta y consecuentemente poder aplicarla en los carros de combate del BICC “Flandes” I/4.



3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

3.1. HISTORIA DEL CARRO DE COMBATE

Quedan ya muy lejos la Primera Guerra Mundial, conflicto bélico en el cual surgió el carro de combate como una nueva arma que aún no ha cerrado su página en la historia militar. No cabe duda de que existe una íntima correlación entre las exigencias operativas en cuanto al empleo y posibilidades del carro de combate y sus características principales relativas al diseño y proyecto.

Tras la primera guerra mundial, los carros de combate aumentaron su popularidad y comenzaron a ser más desarrollados por diferentes países como Alemania y la Unión Soviética. Esta etapa significó un periodo de mucho desarrollo para los carros de combate, donde se probaron diferentes configuraciones, llegando a un carro de combate más ligero como principal arma contra la infantería enemiga.

Luego de la segunda guerra mundial, pese a la derrota del ejército alemán, se comenzó un plan de rearmamento por parte de la Alemania Occidental debido a los recientes roces de la OTAN y la Unión Soviética. Al ser Alemania un país fronterizo con la Unión Soviética en ese entonces, debieron formar una primera línea de defensa para evitar una posible invasión a Europa. Durante este rearmamento y gracias al trabajo de ingenieros alemanes y franceses, nació el carro de combate Leopard I.

3.2. LEOPARDO 2E

El Leopard II, nace como respuesta a la incorporación del cañón antitanque de 120 mm introducido por el bando soviético. La nueva unidad fue una evolución del diseño anterior, el cual aumentó su blindaje para soportar lanzagranadas y diversos explosivos, así como proyectiles que impactaran de forma directa contra el chasis. Adicionalmente, el carro de combate Leopard II fue dotado de periféricos como periscopios de visión nocturna, sistema de puntería asistido, una nueva torreta, entre otras mejoras (MARIN).

El Ejército de Tierra Español introdujo los carros de combate en el país con la compra de los carros de combate FT-17 diseñados por ingenieros franceses, y que junto al carro de combate Schneider CA1 combatieron en la Guerra del Rif. El Leopard fue adquirido por el Ejército de Tierra Español a inicios del siglo XXI, en concreto su variante Leopard 2A6, la cual fue bautizada como Leopard 2E. El último carro de combate mencionado se encuentra equipado con un cañón L55 de 120 mm, el cual es ensamblado en España por Santa Barbara Sistemas y con una ametralladora MG de 7,62 mm fabricada por Santa Barbara Sistemas. (Europapress, 2004)

Tanto la Guerra de Corea como las Guerras árabe-israelíes confirmaron la validez de las unidades acorazadas y del carro de combate terrestre. Más recientemente, en los últimos conflictos que se han desarrollado, el carro de combate ha demostrado que continúa desarrollando un papel esencial, ya sea en un ambiente urbano, de jungla o en el desierto, como las acciones desarrolladas en Granada, Golfo Pérsico o Somalia han puesto de manifiesto. Hoy en día nos encontramos en el inminente conflicto entre Rusia y Ucrania donde podemos observar la gran importancia estratégica que tienen dichos materiales bélicos, siendo el Leopard 2 uno de los protagonistas, aportados por algunos estados miembros de la OTAN.

El carro de combate sigue siendo un sistema de armas principal de las fuerzas terrestres. Su



potencia de fuego y choque, protección y movilidad le permiten penetrar las defensas del adversario, posibilitar la ocupación del terreno por parte de la infantería mecanizada y alcanzar los objetivos tácticos fijados en la retaguardia enemiga. Es, además, el único medio capaz de sobrevivir en áreas fuertemente contaminadas por agentes químicos, biológicos y radiactivos. Dichos vehículos, no han desaparecido de ningún ejército occidental, es más, los existentes han mejorado y potenciado habiéndose entrado ya en la denominada Tercera Generación, cuyos representantes más relevantes son el M1 A2 ABRAMS norteamericano, el LECRERC francés, el LEOPARD 2 A5/A6 alemán, y el CHALLENGER II británico.

Es por ello que la tecnología militar está sujeta a constante evolución y los cambios que cabe esperar son ciertamente radicales. Sin embargo, no se espera que se modifique el espíritu y esencia del combate de las unidades acorazadas. El énfasis que se pone en Occidente en proteger al combatiente exigirá mejoras en el blindaje y la utilización de carros de combate y vehículos acorazados, como se ha hecho evidente en las intervenciones de la OTAN en la antigua Yugoslavia hace ya dos décadas.

Los carros de combate hoy en día se centran en tres diferentes aspectos:

- Movilidad: el actual carro de combate Leopard 2 se encuentra potenciado por un motor MTU MB 873 Ka-50, el cual cuenta con un volumen de hasta 47.700 centímetros cúbicos y que es capaz de desarrollar hasta 1500 caballos de fuerza. Las orugas o huellas son la zona de contacto del tanque con el suelo y por donde transmiten la potencia del motor al suelo para lograr su movimiento. Pueden estar formadas por cientos de eslabones y permite a los carros de combate como el Leopard 2 a sobrepasar cualquier obstáculo.
- Blindaje: El blindaje de los carros de guerra está formado por diversas placas metálicas que se intercalan con otros materiales como cerámicos, que protegen al vehículo y su tripulación del impacto del armamento enemigo y de las posibles condiciones ambientales que se presenten. Adicionalmente, los carros de combate también pueden contar con sistemas de protección activa, los cuales pueden considerarse parte de su blindaje, debido a que sirve como primera línea de defensa ante los ataques de proyectiles aéreos. Estos sistemas se pueden observar en las mejoras propuestas al Leopard 2E en el programa “Brigada 2035”.
- Armamento: El poder de fuego de los tanques es de suma importancia debido a que es su principal base para imponer respeto y poder atacar a unidades enemigas, siendo este proporcionado por un cañón principal y armas secundarias. El carro de combate Leopard 2E cuenta con un cañón Rheinmetall de 120 mm como arma principal, mismo cañón que usa su homólogo el M1 Abrams. Adicionalmente, cuenta con una ametralladora Rheinmetall MG3 de 7,62 mm, la cual se caracteriza por ser un arma resistente y con una fiabilidad alta, sin una potencia de fuego abrumadora. (Álvarez, 2017)

Actualmente, el Ejército de Tierra español ha presentado el plan denominado “Brigada 2035”, donde expone la posibilidad de sumarse al proyecto del futuro carro de combate europeo. Además, el Ejército propone modernizar el actual Leopard 2E, el cual consideran ha llegado a su media vida. En el plan “Brigada 2035”, destaca el aumento de blindaje en los vehículos militares y la adición de un sistema de autoprotección tipo APS (Active Protection System) como uno de sus medios de combate principales.

Dicho esto, se entiende que una mejora necesaria en el armamento del carro de combate Leopard 2E es el cambio de su ametralladora secundaria por una de mayor calibre e independiente, que aumente la potencia de fuego del vehículo y le proporcione de mayor versatilidad durante los combates.



3.3. AMETRALLADORA BROWNING DE 12,70 MM

La ametralladora Browning H2 de 12,70 mm es una de las armas más icónicas de la historia militar moderna, habiendo sido diseñada por el renombrado ingeniero y diseñador de armas, John Moses Browning, a finales de la Primera Guerra Mundial. Esta arma ha sido utilizada en una amplia variedad de conflictos armados desde su introducción, incluyendo la Segunda Guerra Mundial, la Guerra de Corea, la Guerra de Vietnam y muchos otros. (Gander, 1998).

La ametralladora Browning H2 es particularmente conocida por su versatilidad y durabilidad. Es capaz de disparar ráfagas de alta velocidad de hasta 1.200 balas por minuto, lo que la convierte en una de las armas más mortales del campo de batalla. Además, la ametralladora cuenta con variantes que le permiten incorporar ligeras modificaciones que le permiten cumplir con la labor de torreta, lo que la hace una opción popular para los vehículos militares.

En particular, la variante M2HB de la ametralladora Browning H2 es ampliamente utilizada por las fuerzas militares de todo el mundo en una variedad de vehículos de combate. Por ejemplo, el Ejército de El Salvador utiliza la variante M2HB (Figura 3.1) en sus vehículos Humvee y Cashuat, mientras que el Ejército de Estonia la utiliza en sus vehículos Pasi XA-180 y XA-188. Asimismo, el Ejército de Finlandia la utiliza en sus vehículos Patria AMV, lo que demuestra la versatilidad y adaptabilidad de esta arma para satisfacer las necesidades de las fuerzas militares en todo el mundo.



Fig 3-1. Ametralladora Browning M2HB sobre vehículo Humvee. [Fuente: Infodefensa.com]

En cuanto a sus ventajas, la ametralladora Browning H2 tiene una serie de características que la hacen altamente efectiva en el campo de batalla. Además de su alta velocidad de disparo, la ametralladora cuenta con una gran capacidad de alcance y precisión, lo que la hace especialmente útil en situaciones de combate a larga distancia. Además, la ametralladora es altamente fiable y duradera, lo que la convierte en una opción popular para las fuerzas militares que buscan armamento de calidad y confiable.



En resumen, la ametralladora Browning H2 es una de las armas más longevas que aún siguen en servicio, y su uso en una amplia variedad de conflictos militares a lo largo de la historia demuestra su efectividad en el campo de batalla. Además, su adaptabilidad y versatilidad la hacen una opción popular para los vehículos militares de todo el mundo, y sus características únicas, como su alta velocidad de disparo y precisión, la convierten en una opción altamente efectiva para las fuerzas militares que buscan armamento de calidad y confiable.

La ametralladora Browning M2HB tiene varias ventajas significativas sobre una ametralladora antiaérea de menor calibre, como la ametralladora de 7,62 mm. En primer lugar, la ametralladora Browning M2HB tiene un calibre de 12,7 mm, lo que significa que sus balas son mucho más grandes y poderosas que las balas de 7,62 mm. Esto le da una mayor capacidad de penetración y letalidad, lo que la hace mucho más efectiva contra objetivos más resistentes como vehículos blindados y edificios fortificados.

En segundo lugar, la ametralladora Browning M2HB tiene un alcance efectivo mucho mayor que una ametralladora de 7,62 mm, lo que la hace mucho más útil en situaciones de combate a larga distancia. Esto es especialmente importante en la guerra moderna, donde los enfrentamientos a menudo tienen lugar a grandes distancias y la precisión y el alcance son cruciales.

Además, la ametralladora Browning M2HB es mucho más resistente y duradera que una ametralladora de 7,62 mm. Debido a su mayor tamaño y capacidad de fuego, la ametralladora está diseñada para soportar un uso intensivo en el campo de batalla, lo que la hace más confiable y resistente en situaciones de combate prolongadas.

En resumen, la ametralladora Browning M2HB tiene varias ventajas significativas sobre una ametralladora antiaérea de menor calibre, como la ametralladora de 7,62 mm. Su mayor calibre, alcance efectivo y durabilidad la hacen más efectiva contra objetivos más resistentes y en situaciones de combate a larga distancia. Por estas razones, la ametralladora Browning M2HB sigue siendo una de las armas más efectivas y populares en el campo de batalla hoy en día.



4. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. SISTEMA DE ARMAS ACTUAL

En el actual apartado se realizará una revisión de los principales sistemas de armas del Leopard 2E, haciendo hincapié en la ametralladora coaxial, de la que es objeto este proyecto.

4.1.1. CAÑÓN PRINCIPAL

Se trata del arma principal de los carros de combate y la que verdaderamente da la potencia de combate definitiva. El cañón es el encargado de batir objetivos blindados y marcar la diferencia en el campo de batalla debido al calibre de su munición. Entre los diferentes tipos de munición que este cañón puede disparar, podemos destacar las municiones de Carga Hueca Multipropósito (HEAT-MP), la Rompedora de Fragmentación Controlada (HEF), la Perforante con Efecto Lateral Potenciado (PELE), la Antipersonal y Antimaterial (APAM), la de Metralleta (Canister) y las de tipo Flecha de Guerra e Instrucción (APFSDS-T DM 33 y TPFSDS-T M 865 respectivamente).

El cañón del carro de combate Leopard 2E (Figura 4.1), cuenta con dos partes principalmente, el cilindro que conforma el cañón en sí y la culata con la cuña de cierre.

- **Cilindro:** Se trata de una pieza longitudinal de 6.667 mm, de ánima lisa y calibre de 120 mm. Se aplica al principio de la fabricación un proceso de autozunchado en dos etapas.
- **Culata y cuña de cierre:** Ambas piezas, montadas junto con otra serie de componentes forman el conjunto del cierre, que asegura la hermeticidad de la recámara en el momento del disparo. Son piezas de gran resistencia mecánica en cuanto al material del que están fabricadas.



Fig 4-1. Sistema de cañón 120 mm/L55 de Leopard 2E.



4.1.2. AMETRALLADORA ANTIAEREA

Los carros de combate son excelentes opciones para el combate terrestre, siendo capaces de neutralizar casi cualquier amenaza que se les presente en este sector. Sin embargo, como todos los vehículos militares, presenta una serie de desventajas entre las que destaca su inevitable vulnerabilidad contra ataques aéreos, debido principalmente a su escasa visibilidad desde las escotillas y el escaso rango en altura del cañón.

Es por esa razón, que se decidió implementar un tipo de defensa antiaérea para poder protegerse (en la medida de lo posible) de diferentes tipos de ataques aéreos, principalmente helicópteros. La ametralladora antiaérea del Leopard 2E es la tan conocida MG-42 (Figura 4.2), de dotación en todas las unidades de las Fuerzas Armadas. Para una mayor precisión y comodidad del operario, cuenta con un afuste creado específicamente para dicha ametralladora.

Al tratarse de una ametralladora empleada desde fuera de la escotilla, (lo cual es un gran inconveniente al perder protección) es manejada por el Radio Cargador (RC) de la tripulación.

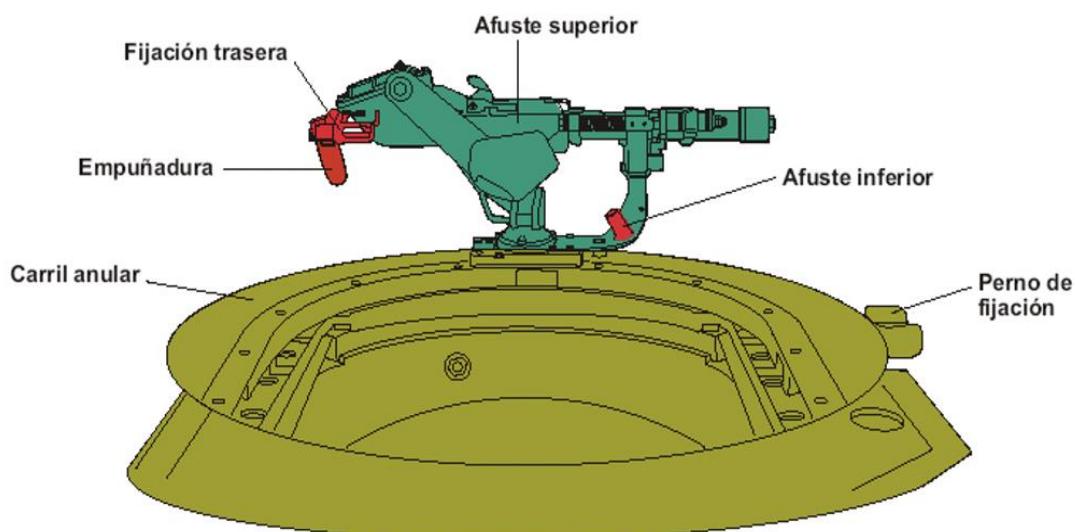


Fig 4-2. Sistema de ametralladora antiaérea Leopard 2E.

4.1.3. AMETRALLADORA COAXIAL

Como apoyo al cañón, se encuentra otra ametralladora unida al mismo eje que este último mediante un afuste fijo sobre la que se coloca, en el caso del Leopard 2E, la MG-42 en su versión coaxial (que se diferencia de la MG-42 antiaérea al no tener culatín y poseer una bocacha específica para esta función). Este sistema de ametralladora coaxial se muestra en la figura 4.3.

La ventaja que poseemos con una ametralladora coaxial es, que siempre va a estar apuntando en la misma línea de tiro que el cañón, por lo que, si el carro de combate se queda



sin munición en su arma principal (cañón), siempre se podrá emplear su arma secundaria, en este caso la MG-42 de calibre 7,62mm.

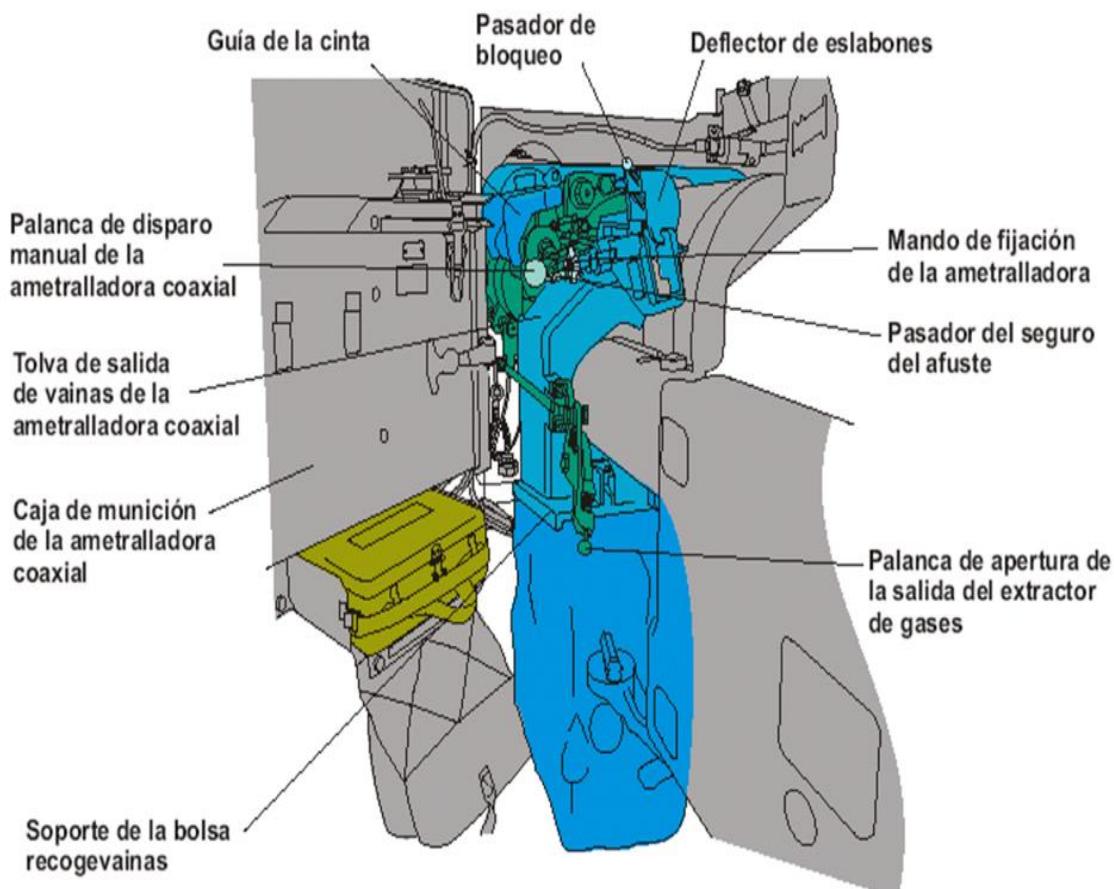


Fig 4-3. Sistema de ametralladora coaxial Leopard 2E.

La ametralladora coaxial es operada por el Tirador (T) del Leopard 2E, donde puede intercambiar la configuración para poder disparar o bien el cañón, o dicha ametralladora, es por tanto un funcionamiento automático y dirigido remotamente mediante dicho miembro de la tripulación, del mismo modo, puede emplearse en su modo manual (solo en caso de fallo eléctrico) por el Radio-Cargador (RC) del carro.

Las desventajas más acusadas de esta ametralladora son:

- El montaje y desmontaje costoso en tiempo en cuanto a su afuste se refiere.
- La limitación en cuanto a su alcance eficaz (1200 m).
- El elevado número de interrupciones en su funcionamiento combinado.
- El posible fallo electrónico en el mando del tirador.

Dichas desventajas se han extraído gracias a la experiencia en el manejo del sistema por parte del personal de tropa del BICC "Flandes" I/4 y de las consultas a los Sargentos del EMAN (Escalón de Mantenimiento) de dicho Batallón.



Es por ello por lo que se plantea en esta memoria la posibilidad de sustituir la actual máquina por el modelo americano Browning M2, de calibre 12,70 mm modificando de esta manera el afuste actual por uno que se adapte a las nuevas dimensiones del modelo norteamericano.



4.2. ANÁLISIS DAFO

Como resultado a las entrevistas y operaciones prácticas en el del BICC “Flandes” I/4 por parte del autor y mencionadas en capítulos anteriores, se decide realizar un análisis tipo DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) para determinar la viabilidad del proyecto. (Speth, 2016). Dicho análisis se representa en la Figura 4.4.

El principal objetivo del sistema DAFO es poder visualizar de una forma más clara la decisión de implementar un nuevo sistema de afuste, y por lo tanto, de ametralladora coaxial en el Leopard 2E.



Fig 4-4. Diagrama análisis DAFO de proyecto. [Fuente: Elaboración propia]



4.3. DISEÑO DEL AFUSTE

4.3.1. ANÁLISIS DE CONDICIONES DE ENTORNO

Como ingenieros, a la hora de proponer un diseño que solucione algún tipo de problema, se debe hacer un análisis de las condiciones de entorno que permitan entender las necesidades específicas que se deben cubrir. Es por ello, que en este apartado analizaremos las condiciones geométricas de la ametralladora Browning M2HB y sobre todo sus condiciones operativas, con la finalidad de poder hacer la propuesta de un primer diseño preliminar.

4.3.1.1. Condiciones geométricas

La ametralladora Browning M2HB tiene una longitud total de 1.656 metros, donde, 1.123 metros corresponde a su cañón. Con el fin de analizar sus condiciones geométricas se ha partido de la base de tener un modelo a escala digitalizado de la ametralladora como se muestra en la figura.

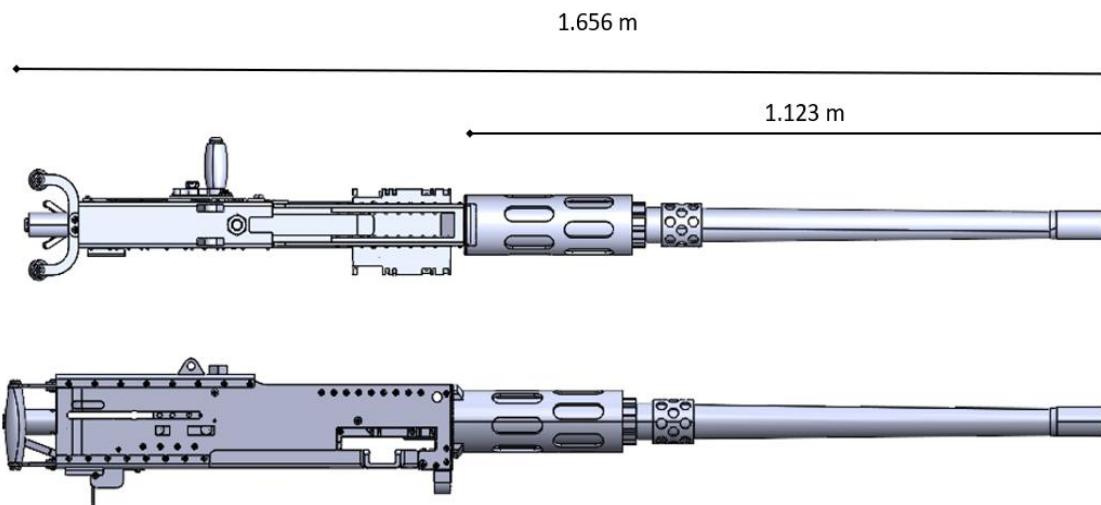


Fig 4-5. Vista superior y lateral de ametralladora M2HB. [Fuente: Elaboración propia].

Para definir el centro de masa (ecuación 1) de esta ametralladora, se ha modelizado la ametralladora como un cuerpo sólido simétrico en sus ejes Z e Y. De esta manera se simplifica su cálculo, así como también el de otras propiedades geométricas en un futuro. La figura 4.6 muestra la posición del centro de masas de la ametralladora M2HB obtenido mediante la ecuación propia para el centro de masas.



$$(1) \quad X = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i}$$

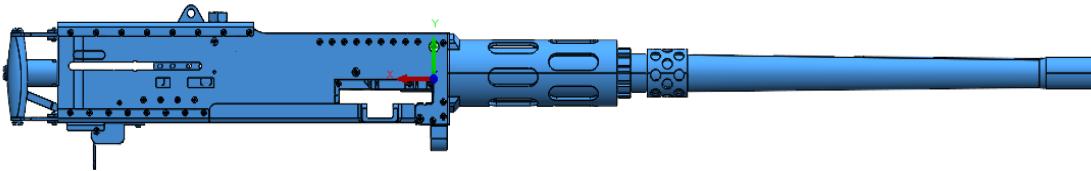


Fig 4-6. Vista lateral de ametralladora M2HB, donde se muestra el sistema de referencia y la posición del centro de masas (CM) calculada como se describe en el texto. [Fuente: Elaboración propia].

La ametralladora en su configuración M2HB tiene un peso de 38 kilogramos en total, es por ello por lo que a la hora de diseñar el afuste se debe tener en cuenta un diseño capaz de soportar el peso de esta.

4.3.1.2. Condiciones operativas

Las condiciones operativas, hacen referencia a las circunstancias sobre las cuales trabajará la ametralladora durante su uso, y las cuales pueden afectar al afuste. Dicho esto, el diseño del afuste quedará limitado por dichas condiciones operativas de tal manera que pueda resistir al desgaste y esfuerzo sometido durante las maniobras y operaciones en las que se emplee.

La ametralladora Browning M2HB cuenta con una cadencia de disparo que varía desde 450 hasta los 635 disparos/minuto, siendo la velocidad máxima de salida de cada munición de 930 m/s. Las municiones que utiliza esta ametralladora son las municiones de 12,7 mm x 90 mm de la OTAN, las cuales además de las dimensiones mencionadas tienen un peso de 42 g en la bala y 115 g en el cartucho.

En primer lugar, se procede a calcular la fuerza de retroceso (F_r) que la bala genera sobre la ametralladora. Para ello recurrimos a un modelo simple, donde supondremos al fusil y la bala como un sistema aislado. En este modelo despreciaremos las fuerzas de rozamiento que ejerce el aire sobre la bala, y analizaremos el movimiento en el eje longitudinal. En ese modelo, el movimiento de la bala se deberá a la acción que le ejerce el fusil en el eje longitudinal del equipo. Para ello, se tomará en cuenta la velocidad de salida de la munición además de su peso, solo se considerará el peso de la bala y no del casquillo, debido a que esta es la que recorre el cañón. (Budynas, 2008)

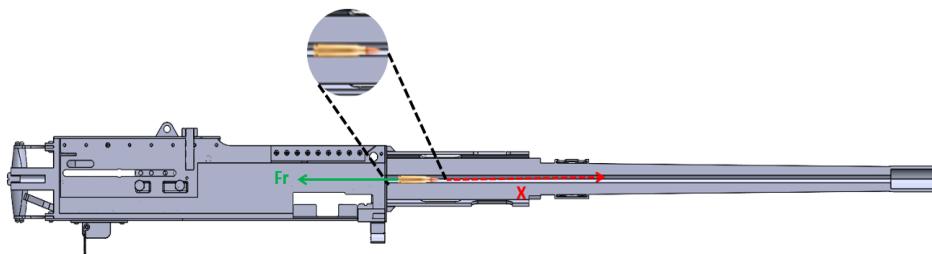


Fig 4-7. Diagrama de cuerpo libre ametralladora M2HB, fuerza de retroceso. [Fuente: Elaboración propia].

El análisis de la fuerza de retroceso se plantea con las ecuaciones básicas de



dinámica correspondientes al Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (2) y (3) (Burbano, 1993).

$$(2) x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$(3) v = v_0 + a t$$

Para el problema en concreto se supone que la distancia y la velocidad iniciales son iguales a cero, debido a que se entiende la bala parte del reposo y en la coordenada cero del cañón respectivamente. Aplicando esta afirmación, se consigue la igualdad (2b).

$$(2b) x = \frac{1}{2} a t^2$$

Resolviendo el sistema de dos ecuaciones y dos incógnitas obtenido con las ecuaciones (2b) y (3) se obtiene el tiempo que tarda el proyectil en salir del cañón y su respectiva aceleración, la cual se reemplaza en la segunda ecuación de las leyes de Newton ($F = m_{\text{bala}} a_{\text{bala}}$). Así se obtendría la fuerza que el fusil ejerció sobre la bala. Aplicando la tercera ley de Newton (acción y reacción) (Burbano, 1993) se obtiene la fuerza de retroceso en la ametralladora, la cual es de 384kN.

La importancia del cálculo de esta fuerza radica en el futuro análisis de esfuerzos del afuste diseñado: al conocerse la fuerza y asumirse como una fuerza puntual se pueden hacer los cálculos de esfuerzo estáticos. Adicionalmente, si se evalúa la fuerza de retroceso como una fuerza periódica se pueden conocer los niveles de fatiga que debe soportar el afuste diseñado, que es sin duda una de las preocupaciones más importantes a la hora de diseñar el afuste.

4.3.2. DISEÑO PRELIMINAR

Se ha decidido realizar un diseño preliminar lo más simple posible que pueda satisfacer todas las necesidades planteadas en los apartados anteriores. La figura 4.8 y 4.9 muestran la vista isométrica y la vista lateral, respectivamente del diseño propuesto. Para el diseño se ha contemplado un afuste dividido en dos partes, una parte fija (Naranja) que reposa sobre el carro de combate y cuenta con 4 guías enroscadas sobre las cuales calzará el cuerpo del afuste (Verde), que podrá ser deslizado a su posición y posteriormente apretar las guías enroscadas.

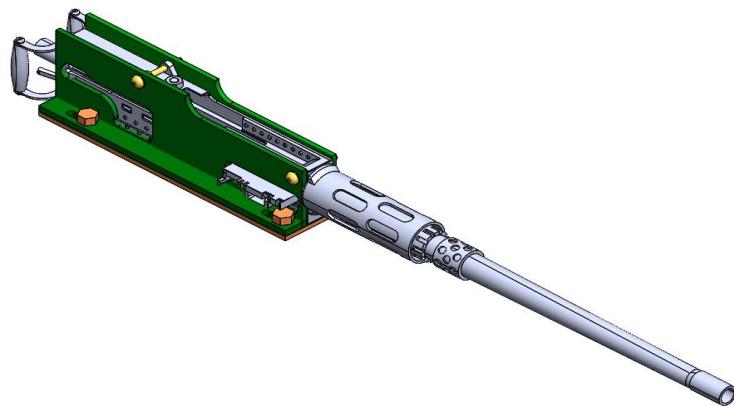


Fig 4-8. Vista isométrica de ametralladora y afuste simple. [Fuente: Elaboración propia].

Este diseño soluciona la necesidad de que se pueda montar y desmontar la ametralladora con facilidad y rapidez del carro de combate, de tal manera que la parte fija del afuste estará acoplada al carro y la ametralladora siempre se moverá junto al cuerpo de este, el que luego podrá ser desmontado una vez este fuera de dicho vehículo.

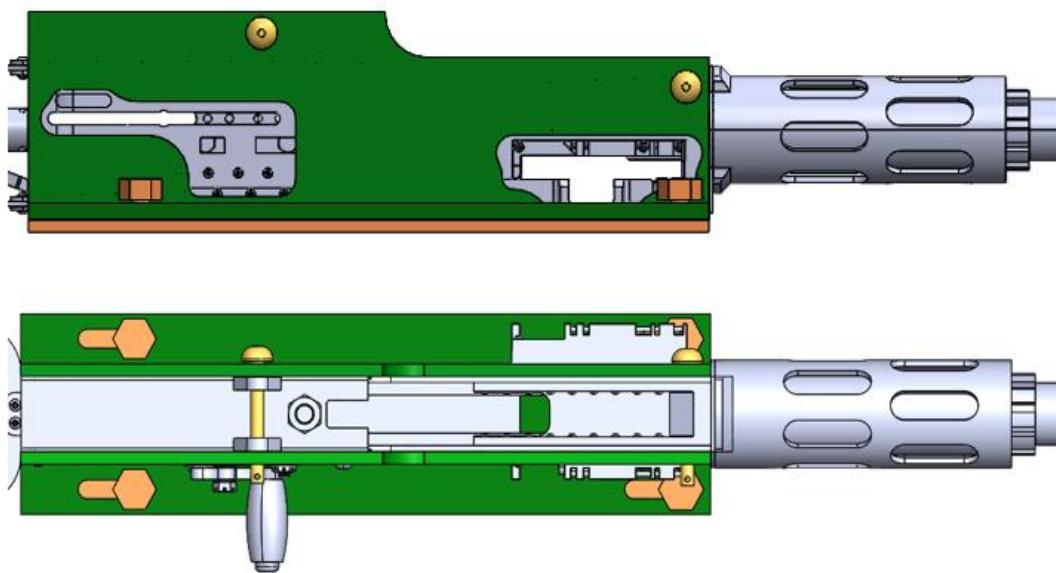


Fig 4-9. Vista lateral y superior del afuste de la ametralladora. [Fuente: Elaboración propia].

Si bien se entiende que es un diseño simple y que aún no se han contemplado los métodos de sujeción de la base al carro de combate, el modelo preliminar permite realizar las simulaciones y cálculos necesarios para poder definir si este diseño soportará las cargas a las cuales se verá sometido durante el funcionamiento de la ametralladora. Es importante notar que el modelo presentado en este apartado es un modelo totalmente simplificado, al cual le faltaría el mecanismo de resortes que permitiría reducir el efecto del retroceso de la propia ametralladora y el ajuste al carro de combate.



4.3.3. SIMULACION Y VALIDACIÓN DE ESFUERZOS

Con la finalidad de determinar si el diseño preliminar cumple con los requerimientos de la aplicación, se realiza una simulación estática para entender si el afuste diseñado es capaz de soportar las fuerzas a las cuales se somete durante la operación de la ametralladora y las cuales fueron calculadas previamente en la presente memoria de trabajo (380kN).

El paquete computacional utilizado para las simulaciones es el entorno de análisis "SOLIDWORKS Simulation", este entorno permite utilizar los modelos creados y discretizar su geometría a modo de malla, además permite aplicar las restricciones necesarias para la aplicación y las fuerzas que actúan sobre la pieza. El aplicativo de Dassault Systèmes ofrece versatilidad y acceso a simulaciones de elementos finitos a usuarios inexpertos, cuenta con un sistema que calcula el tamaño de la malla para la discretización de la geometría según un input relativo, para el caso se ha seleccionado el mínimo tamaño de elemento disponible según nuestra geometría, entendiendo que lo simple de la geometría no penalizaría en tiempo de cómputo según el tamaño de malla. (Dassault Systèmes. , 2020)

Las simulaciones, se han realizado sobre una geometría simplificada del diseño preliminar, de tal manera que se pueda reducir el tiempo de cálculo computacional de manera considerable y a su vez simplificar las condiciones de frontera. En este modelo simplificado (ver figura 4.10), se han aplicado las restricciones de fijación en los puntos donde se harían los anclajes del carro de combate y las fuerzas se han designado en los pernos que ajustarían la ametralladora al afuste, suponiendo que esta se distribuye uniformemente por ambos pernos. (Lázaro, 2014)

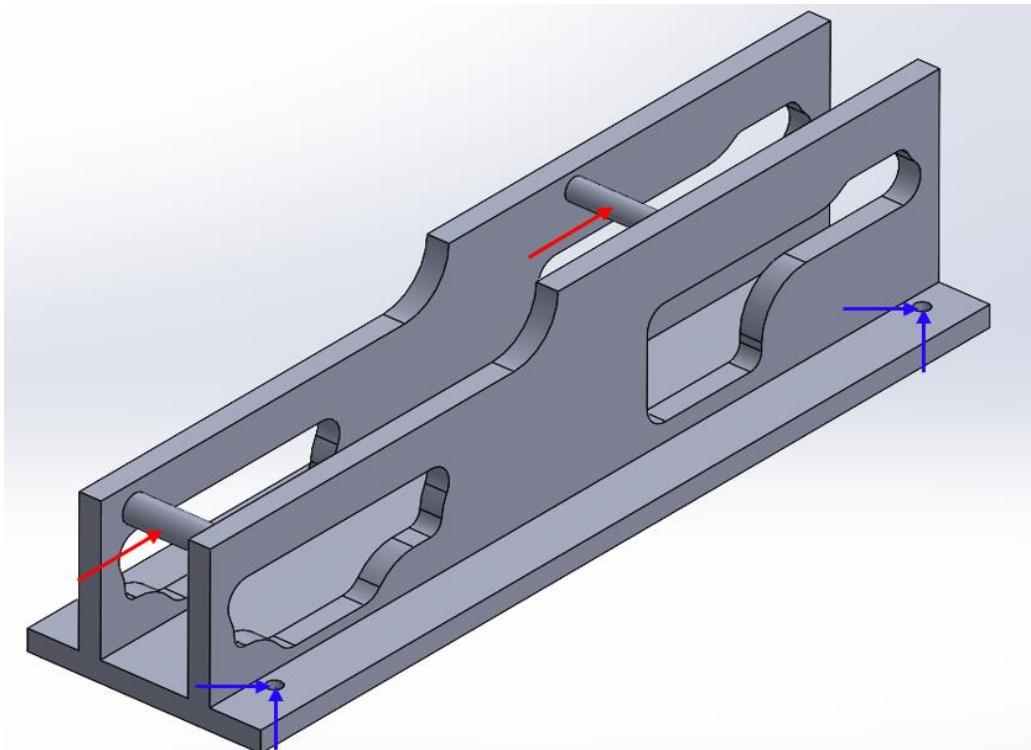


Fig 4-10. Modelo simplificado para simulación. [Fuente: Elaboración propia].



Se ha asignado como material del afuste ha sido Acero DIN 1.2085 (MatWeb, s.f.). Se trata de un acero de alta dureza utilizado para la fabricación de herramientas que se verán sometidas a impacto. Se ha elegido este material debido a que se asumen los golpes generados por el disparo de la ametralladora como impactos en el afuste, el cual se espera tenga una alta dureza y un límite elástico alto.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	207000	N/mm ²
Coeficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	79000	N/mm ²
Densidad de masa	7750	kg/m ³
Límite de tracción	1160	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	950	N/mm ²
Coeficiente de expansión térmica	1.1e-05	/K
Conductividad térmica	14	W/(m·K)
Calor específico	440	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Fig 4-11. Propiedades de materiales en el modelo Acero DIN 1.2085. [Fuente: MatWeb].

Como resultado, se ha obtenido que los esfuerzos alcanzados son superiores al límite elástico de la pieza, llegando así a un factor de seguridad menor a 1, lo cual no puede ser admisible para una pieza que estará en operación de un vehículo militar. Sin embargo, se ha encontrado que las deformaciones son menores a 1 mm, las cuales son aceptadas y se entiende que no van a generar ningún impacto en la operación de la ametralladora y el afuste (ver Figura 4.12).

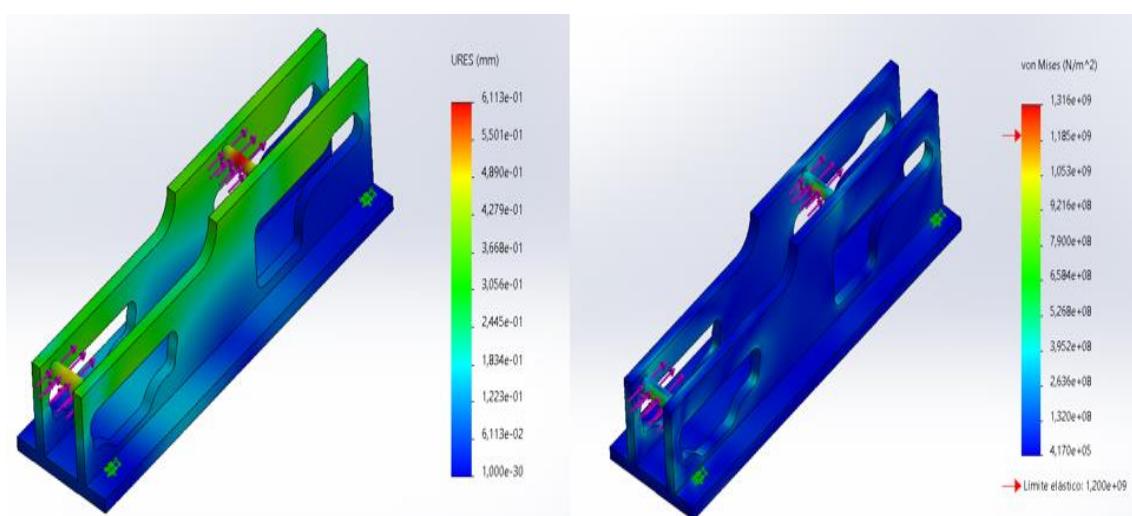


Fig 4-12. Resultados de simulación Acero DIN 1.2085. [Fuente: Elaboración propia].

Debido a que los resultados obtenidos no han satisfecho las necesidades de la aplicación, se ha tomado la decisión de realizar una segunda iteración cambiando de material,



de tal manera que se tenga un límite elástico más alto y se pueda aumentar el factor de seguridad. Se ha seleccionado como nuevo material el Acero DIN 1.2842 (MatWeb, s.f.) (ver Figura 4.13), el cual cuenta con un mayor límite elástico.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	210000	N/mm ²
Coeficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	79000	N/mm ²
Densidad de masa	7610	kg/m ³
Límite de tracción	1930	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	1750	N/mm ²
Coeficiente de expansión térmica	1.1e-05	/K
Conductividad térmica	14	W/(m·K)
Calor específico	440	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Fig 4-13. Propiedades de materiales en el modelo Acero DIN 1.2842. [Fuente: MatWeb].

Los resultados de la simulación para el Acero DIN 1.2842 se muestran en la Figura 4.14. Se obtiene que los esfuerzos alcanzados son inferiores al límite elástico de la pieza, llegando así a un factor de seguridad de 1.32, por lo cual se puede considerar que la pieza no es propensa a un fallo mecánico cuando se encuentra sometida a los esfuerzos ocasionados por los disparos de la ametralladora. De esta manera, se valida el diseño preliminar siempre y cuando se utilice el Acero DIN 1.2842.

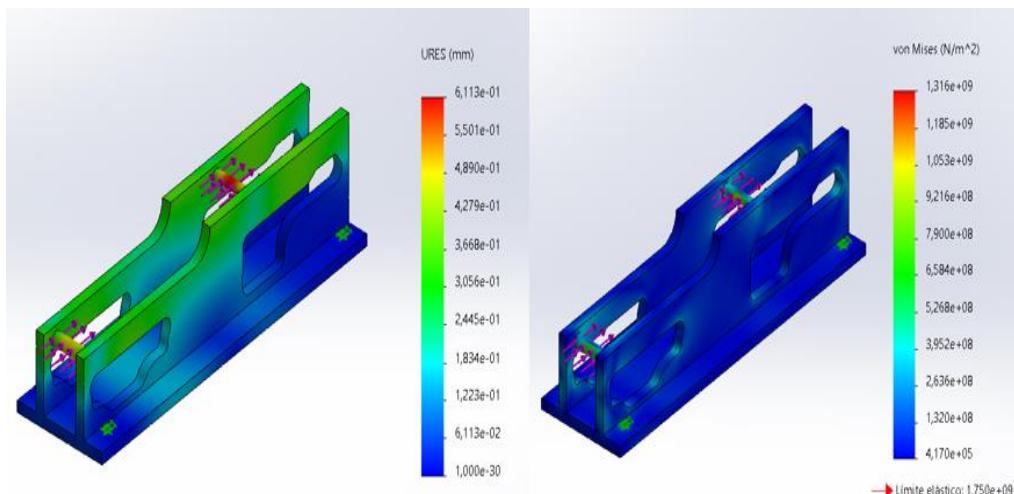


Fig 4-14. Resultados de simulación Acero DIN 1.2842. [Fuente: Elaboración propia].



4.4. DISEÑO DEFINITIVO Y PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS (PPT)

Las simulaciones realizadas en el apartado anterior comprueban que el diseño preliminar realizado cuenta con las características necesarias para cumplir con las necesidades del afuste de la ametralladora.

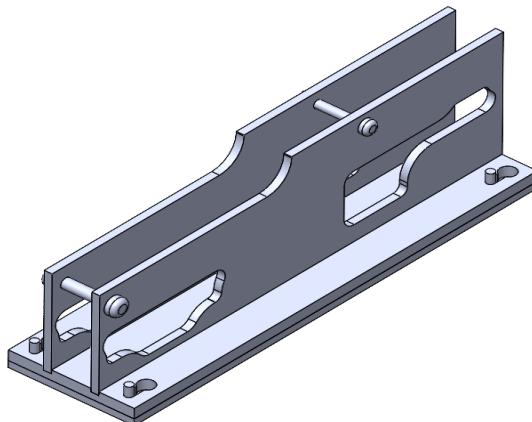


Fig 4-15. Vista isométrica diseño definitivo. [Fuente: Elaboración propia].

En el diseño definitivo, mostrado en las Figuras 4.15 y 4.16. se han revisado los espesores, para garantizar utilizar espesores de materiales comerciales. Además se han trabajado las tolerancias del diseño, de tal manera que se pueda preparar el diseño preliminar para una futura producción.

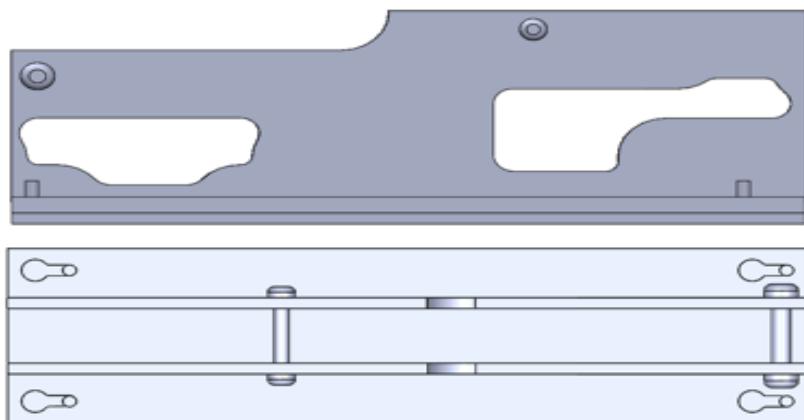


Fig 4-16. Vista lateral y superior de diseño definitivo. [Fuente: Elaboración propia].

Finalmente, se ha realizado un Pliego de Prescripciones Técnicas (PPT) que se incluye en el apartado de anexos del presente documento. En dicho PPT, se incluyen todos los planos de las piezas y del ensamblaje del afuste necesarios para poder replicar la pieza diseñada en el presente trabajo.



4.5. ESTRUCTURA DE DESGLOSE DE TRABAJO (EDT)

Con la finalidad de que el presente trabajo de grado no se quede en el papel, se propone una estructura de desglose de trabajo (EDT) (Ver Figura 4.17), que permita realizar una planificación preliminar de un futurable proyecto de actualización de los carros de combate Leopard 2E que permita llevar a cabo la mejora descrita.

El proyecto se ha dividido en tres diferentes fases dentro del EDT. La primera de ellas consiste en la definición del alcance de dicho proyecto. Si bien en el presente trabajo solo se realiza un análisis teórico y un diseño hipotético, el futurable proyecto debería llegar a una implementación del diseño, por lo cual la definición de los alcances de este es de suma importancia.

La segunda fase, consiste en el diseño y la confección del nuevo afuste para la mejora de ametralladora. La fase se puede dividir en dos partes: La primera parte está orientada al diseño del afuste, el cual comienza con la evaluación de las condiciones de frontera que permitan llegar a un diseño preliminar que pueda ser validado mediante cálculos. La segunda parte de la fase consiste en la fabricación del afuste, la cual será llevada a cabo por un proveedor previamente seleccionado.

La tercera y última fase del proyecto, consiste en la validación en operación del afuste diseñado y fabricado. Esta fase es de suma importancia para determinar si el trabajo realizado en este trabajo de fin de grado cumple con los estándares requeridos para el funcionamiento del sistema de armas. Esta validación en parte la dará el feedback de la unidad experimental tras haber realizado los diferentes ejercicios de instrucción y adiestramiento, y comunicar así si este afuste es apto para prepararlo en un futuro despliegue en Zona de Operaciones.

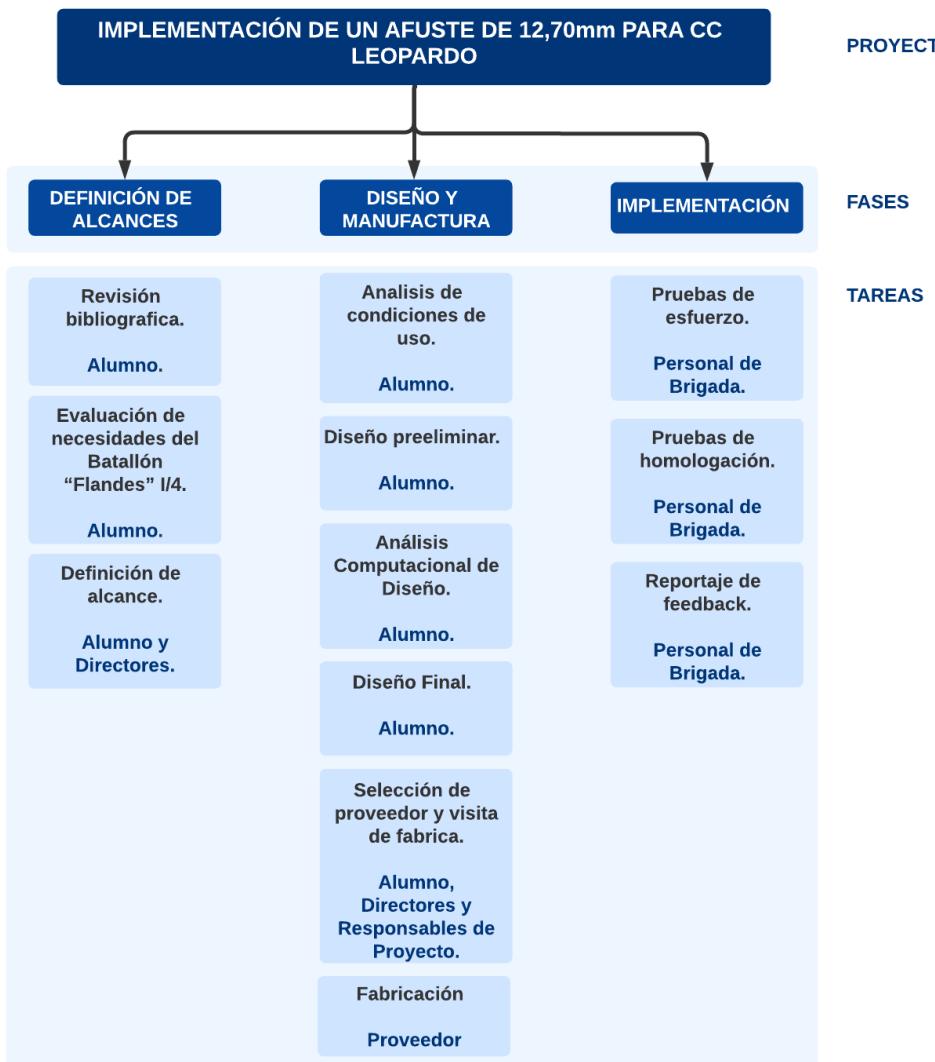


Figura 4-17. Estructura de desglose de trabajo. [Fuente: Elaboración propia].

4.6. DIAGRAMA DE GANTT

La consecución exitosa del proyecto depende de una planificación temporal correcta, con tiempos suficientes para lograr todas las actividades.

Se ha definido el inicio del proyecto para septiembre del año 2023 y una duración máxima de dos años, llegando hasta septiembre del año 2025. La figura 4.18 muestra la secuencia completa del proyecto desde la definición del proyecto hasta su cierre. Cabe destacar que en la presente memoria solo se contempla el propio diseño del afuste sin la secuencia completa del proyecto.

La planificación temporal se ha plasmado en un Diagrama de Gantt, el cual se encuentra dividido en tres etapas, basadas principalmente en los responsables de cada tarea (vistos previamente en el EDT). La primera etapa, descrita como la definición del proyecto, corresponde a las actividades a realizar por el alumno, las cuales se llevarán a cabo desde el inicio del proyecto y finalizarán 4 meses después con la definición del proveedor y la visita a su fábrica.



El proyecto continuará con una etapa destinada a las actividades de fabricación por parte del proveedor seleccionado, el cual iniciará con la fabricación en el mes de enero del año 2024 y tendrá un máximo de tres meses para cumplir con dicha tarea.

Al haberse realizado únicamente la fase de diseño en la presente memoria, el resto de fases son “ficticias” y, por ende, las fechas de inicio y de fin son aproximadas acercándose lo máximo posible a la realidad.

La última etapa descrita en diagrama de Gantt presentado corresponde a las actividades a ser realizadas por los miembros de la brigada. Esta etapa es la más larga de todas, debido a la gran cantidad de pruebas que deben ser realizadas para validar el funcionamiento del afuste diseñado.



Figura 4-18. Diagrama de Gantt del proyecto. [Fuente: Elaboración propia].

4.7. ANÁLISIS DE RIESGOS

Finalmente, se ha realizado un análisis cualitativo de riesgos sobre el proyecto con la finalidad de poder analizar los posibles obstáculos que se puedan tener. En el estudio se han clasificado los riesgos en base a la probabilidad de aparición de los mismos y su impacto. La clase de riesgo (medido como 1, 2 o 3) es el conjunto de la probabilidad de que el riesgo ocurra. En cuanto al impacto del riesgo, se han definido cuatro diferentes niveles de riesgo: bajo (L), moderado (M), importante (H) e intolerable, respectivamente.

Los riesgos bajos (L), son aquellos que solo supondrán un retraso en el proyecto, pero no generarán problemas en actividades adyacentes. El riesgo moderado (M), se designa a aquellos que no solo causan retraso en el proyecto si no que afectan directamente a las actividades colindantes. La categoría de riesgo importante corresponde a los riesgos que puedan suponer una pausa en el proyecto. Finalmente, los riesgos intolerables son aquellos que supondrán el fracaso del proyecto o el riesgo a lesiones humanas.

En el anexo 5 se recoge la tabla donde se clasifican los riesgos. La matriz de riesgos que resulta del análisis se muestra en la figura 4-19. Se puede observar como la mayoría los riesgos son medios. Esto se debe a que pese que algunos de los riesgos no son probables, se tiene que por el tipo de aplicación el impacto puede ser medio o alto. Tras el análisis de riesgos se identifica un riesgo crítico que hace referencia al retraso en la entrega de materiales para



fabricar el afuste. El impacto se podría reducir o bien adquiriendo un segundo proveedor para los materiales o bien optimizando la cadena logística.

Matriz riesgos proyecto

Probabilidad	3	0	1	1
	2	0	1	2
	1	1	1	1
	Low	Medium	High	
Impacto				

Estadística

Clase riesgo	Número
Crítico	1
Alto - medio	3
Medio	3
Bajo	1
Total:	8

Figura 4-19.- Matriz de Riesgos obtenida a partir de la Lista de Riesgos del Anexo 5. [Fuente: Elaboración propia].

En el proceso de análisis de riesgo de un proyecto se han identificado tres categorías de riesgo diferentes. Cada categoría se ha enfocado en diferentes aspectos del proyecto y ha identificado diferentes tipos de riesgos.

La primera categoría de riesgo identificada es la de presupuesto. En esta categoría se han analizado los posibles riesgos relacionados con la falta de financiación y el aumento de precios de los materiales. Ambos riesgos han sido calificados como de nivel medio, lo que significa que aunque son importantes y deben ser considerados, no son los más críticos del proyecto.

La segunda categoría de riesgo identificada es la de fabricación. En esta categoría se han identificado dos riesgos altos-medios, relacionados con la calidad de la fabricación y los accidentes. Además, se han identificado riesgos medios asociados a fallos en la maquinaria. Estos riesgos pueden tener un impacto significativo en la calidad del producto final, así como en la seguridad de los trabajadores.

La tercera y última categoría identificada se refiere a los riesgos de operación. En esta categoría, se ha identificado un riesgo alto-medio asociado con el fallo del afuste durante la operación. Este riesgo puede tener un impacto significativo en la seguridad de los trabajadores y en la calidad del producto final. También se ha identificado un riesgo bajo relacionado con el retraso del proyecto debido a la demora en las actividades de montaje. Sin embargo, el único riesgo crítico del proyecto es el retraso en la entrega de materiales para fabricar el afuste. El impacto se podría reducir o bien adquiriendo un segundo proveedor para los materiales o bien optimizando la cadena logística.



4.8. ANÁLISIS DE COSTES

El análisis de costes es una herramienta clave en la gestión de proyectos, y puede ser muy útil en el presente trabajo de fin de grado. A continuación, se describen los principales aspectos que se tienen en cuenta para el análisis de costes del proyecto:

- **Identificación de costes:** Lo primero que se debe hacer es identificar todos los costos que estarán asociados al proyecto que vas a analizar. En primer lugar, se tiene el material del afuste, el cual es el acero de nomenclatura DIN 1.2842.
- **Estimación de costes:** Una vez identificados los costos, se debe estimar cuánto costará cada recurso. Es por ello, que se evalúa el costo de los diferentes recursos en el mercado español. El material del afuste seleccionado ha sido DIN 1.2842, el cual tiene un precio en España de 822 €, por una barra de 10 cm x 2 mts (ALMACENES GENERALES R. ANDRADE, S.L, 2023). Adicionalmente, se toma como referencia al costo de manufactura el precio promedio de mecanizado en España, el cual está definido como 70 €. Finalmente, también se toma en cuenta el salario mínimo de un oficial de primera en el convenio del metal que corresponde a 1.950 €/mes. (Social, 2022)
- **Cálculo del coste total:** Una vez definido los costes según el recurso, se procede a realizar el cómputo del coste total. Para ello, se asume que el proceso de fabricación se realizará para poder tener dos afustes, llegando así a un costo de 1.644 € de material. Adicionalmente como se ha definido en el diagrama de Gantt, la fabricación se estima que tendrá una duración de dos meses, requiriendo así dos meses de trabajo de un oficial de primera por un total de 3.900 €. Finalmente, se asume que la mitad del tiempo de fabricación se llevará a cabo labores de mecanizado de la materia prima para poder fabricar las piezas requeridas, llegando a un coste de mecanizado de 9.800 €, suponiendo que un mes tiene un total de 140 horas laborables. Dicho esto, se puede determinar que el coste total de fabricación de ambos afustes será de 15.344 €. Además, se toma en cuenta un 50% de coste adicional bajo el concepto de “overheads”, de tal manera que se pueda contar con recursos económicos suficientes que permitan subsanar cualquier tipo de problemas durante la fabricación.

En resumen, la estimación del coste de fabricación de dos afustes idénticos para implementar las ametralladoras Browning M2HB en los carros de combate Leopard 2E es de un total de 213.016 €.



5. CONCLUSIONES

Este estudio ha demostrado la posibilidad de mejorar las capacidades defensivas de los carros de combate mediante la instalación de un afuste personalizado para la ametralladora Browning de 12,70 mm en el carro de combate Leopard 2E. Es importante señalar que llevar a cabo este proyecto requeriría una inversión significativa en términos de tiempo y recursos. El diseño del afuste que propone este trabajo ha sido validado desde el punto de vista técnico mediante simulaciones por elementos finitos, obteniendo un factor de seguridad de 1.30, lo que indica su alta fiabilidad y resistencia ante situaciones de estrés. El material empleado para el afuste es DIN 1.2842, lo que asegura su durabilidad y resistencia a la corrosión.

Adicionalmente, aunque este estudio se ha centrado en el uso de la ametralladora Browning de 12,70 mm, el afuste personalizado también podría adaptarse y escalarse para el uso de otros tipos de armamento. Por lo tanto, este proyecto tiene un gran potencial para contribuir a la evolución y mejora continua de los sistemas de defensa en España.

Con la finalidad de garantizar la solidez del proyecto, se ha llevado a cabo un análisis DAFO (Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas) y un análisis de riesgos detallado. Ambos análisis se han llevado a cabo con la participación de expertos en el campo de la defensa y la industria, lo que ha permitido obtener una visión integral y objetiva del proyecto. Los resultados de estos análisis han sido considerados en el diseño y la planificación del proyecto, lo que ha permitido garantizar su solidez y minimizar los posibles riesgos.

El análisis DAFO permitió identificar las fortalezas y debilidades del proyecto, así como las oportunidades y amenazas que podrían surgir durante su implementación. Por otro lado, el análisis de riesgos se enfocó en identificar, evaluar y mitigar los riesgos asociados al proyecto, lo que permitió tomar medidas preventivas y correctivas para reducir la probabilidad y el impacto de posibles riesgos. Este análisis ha permitido identificar y clasificar las posibles amenazas y riesgos en tres categorías: presupuesto, fabricación y operación. Es importante destacar que el único riesgo crítico identificado es el retraso en la entrega de materiales, por lo que se recomienda enfocar los esfuerzos en garantizar que los materiales necesarios estén disponibles a tiempo para cumplir con los plazos establecidos del proyecto.

En definitiva, la realización de un análisis DAFO y un análisis de riesgos ha sido fundamental para garantizar la viabilidad y éxito del proyecto de implementación del afuste personalizado para la ametralladora Browning de 12,70 mm en el carro de combate Leopard 2E. Esto demuestra el compromiso y la responsabilidad de los investigadores y líderes de la industria en garantizar la seguridad y eficacia de los sistemas de defensa del país.

Además, se llevó a cabo un análisis de costes del proyecto, el cual estimó que la fabricación de dos afustes personalizados para la ametralladora Browning de 12,70 mm requeriría un total de 21.250 €. Este resultado confirma que llevar a cabo el proyecto requeriría una inversión significativa en términos de recursos financieros, además de tiempo y esfuerzo. No obstante, considerando los beneficios en términos de mejora en las capacidades defensivas de los carros de combate y su impacto en la seguridad del país, se considera que la inversión es justificada y necesaria para mantener y mejorar la capacidad defensiva de las Fuerzas Armadas de España.

Es importante mencionar que el análisis de costes para la fabricación de los afustes personalizados se llevó a cabo mediante un análisis del coste unitario de los materiales y la mano de obra de mecanizado. Cabe destacar que no se incluyeron en el análisis los costes de otros métodos de manufactura o acabado, ya que se entiende que estos costes se incluyen en



el salario del personal.

5.1. LINEAS FUTURAS

Se espera que los hallazgos y conclusiones de este estudio sirvan como base para futuros desarrollos en el campo de los carros de combate y su capacidad defensiva. La implementación de esta tecnología podría tener un gran impacto en el Ejército Español, mejorando la efectividad y seguridad de las operaciones militares.

Es importante destacar que este proyecto representa un gran desafío técnico y logístico, pero también una oportunidad única para fortalecer la capacidad defensiva de nuestro país. Por lo tanto, recomendamos que se realicen investigaciones adicionales para evaluar la viabilidad de este proyecto y considerar su implementación como parte de los planes de modernización del ejército.

Según lo estimado, la implementación del afuste materializado tomaría un total de dos años a partir de septiembre de 2023. Durante este periodo, una fábrica seleccionada y la brigada que ha proporcionado la información (Brigada “Aragón” I) trabajarían en conjunto para garantizar la viabilidad y éxito del proyecto.

En resumen, este estudio ha proporcionado información valiosa y relevante sobre los carros de combate y sus capacidades de armamento. Esperamos que los hallazgos aquí presentados sirvan como una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos en este ámbito, y contribuyan a mejorar la efectividad de los sistemas de defensa de nuestro país.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMACENES GENERALES R. ANDRADE, S.L. (10 de 03 de 2023). ALMACENES GENERALES R. ANDRADE, S.L. Obtenido de <https://www.randrade.com/aceros-aleados-herramientas-f-521-f-522-f-523-f-524/1186-acero-dorrenberg-12842-f-522-cuadrado.html>
- Álvarez, F. (2017). Carros de Combate.
- Budynas, R. G. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.
- Burbano, S. Burbano, E. García, C. (1993). "Dinámica de una partícula". En: Burbano, S. Burbano, E. Gracia, C. Física General XXXI Edición. Zaragoza: Mira Editores, pp. 119-135.
- Cadil, A. (1999). Carros de Combate: Evolución, Presente y Futuro. Madrid: Isdefe.
- Cadil, A. (2004). Leopard 2E MBT Delivery Begins.
- Chinn, G. M. (1951). The Machine Gun: History, Evolution and Development of Manually Operated, Full Automatic, and Power Driven Aircraft Machine Guns.
- Dassault Systèmes. . (2020). Qué más puedo hacer con SOLIDWORKS Simulation.
- Europapress. (2004). Empresas santa barbara sistemas entrega ejercito tierra español primeros leopard2e. Eurppapress.
- Gander, T. (1998). Browning M2: Heavy Machine Gun.
- infodefensa.com. (25 de 02 de 2023). infodefensa.com. Obtenido de infodefensa.com: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3126460/espana-incluye-modernizacion-leopardo-necesidades-medio-plazo>
- inmoley. (s.f.). ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DE TRABAJO (EDT).
- Lázaro, A. V. (2014). Simulación con SoliWorks. MACRO.
- MARIN, F. A. (s.f.). CARROS DE COMBATE Y VEHICULOS DE CADENAS DEL EJERCITO ESPAÑOL I UN SIGLO DE HISTORIA.
- MatWeb. (05 de 03 de 2023). MatWeb. Obtenido de <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=2ebf170df5d947218f9e955197f4ee57>
- MatWeb. (06 de 03 de 2023). MatWeb. Obtenido de <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=c76077d96f0a44e1bc961e4150700385&ckck=1>
- Social, M. d. (2022). IV Convenio colectivo estatal de la industria, las nuevas tecnologías y los servicios del sector del metal.
- Speth, C. (2016). El análisis DAFO: Los secretos para fortalecer su negocio (Gestión y Marketing).

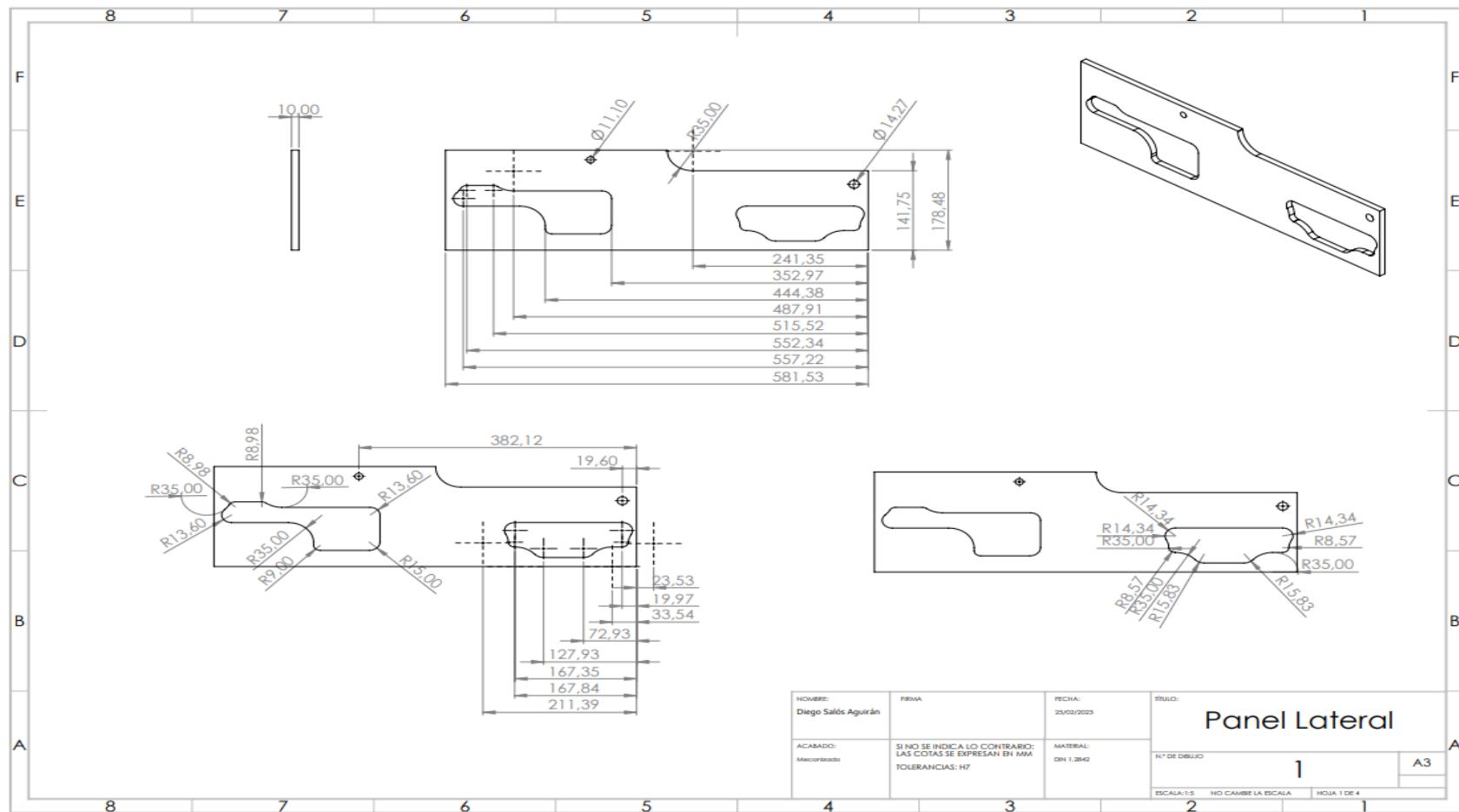


Yeide, H. (2004). The Tank Killer



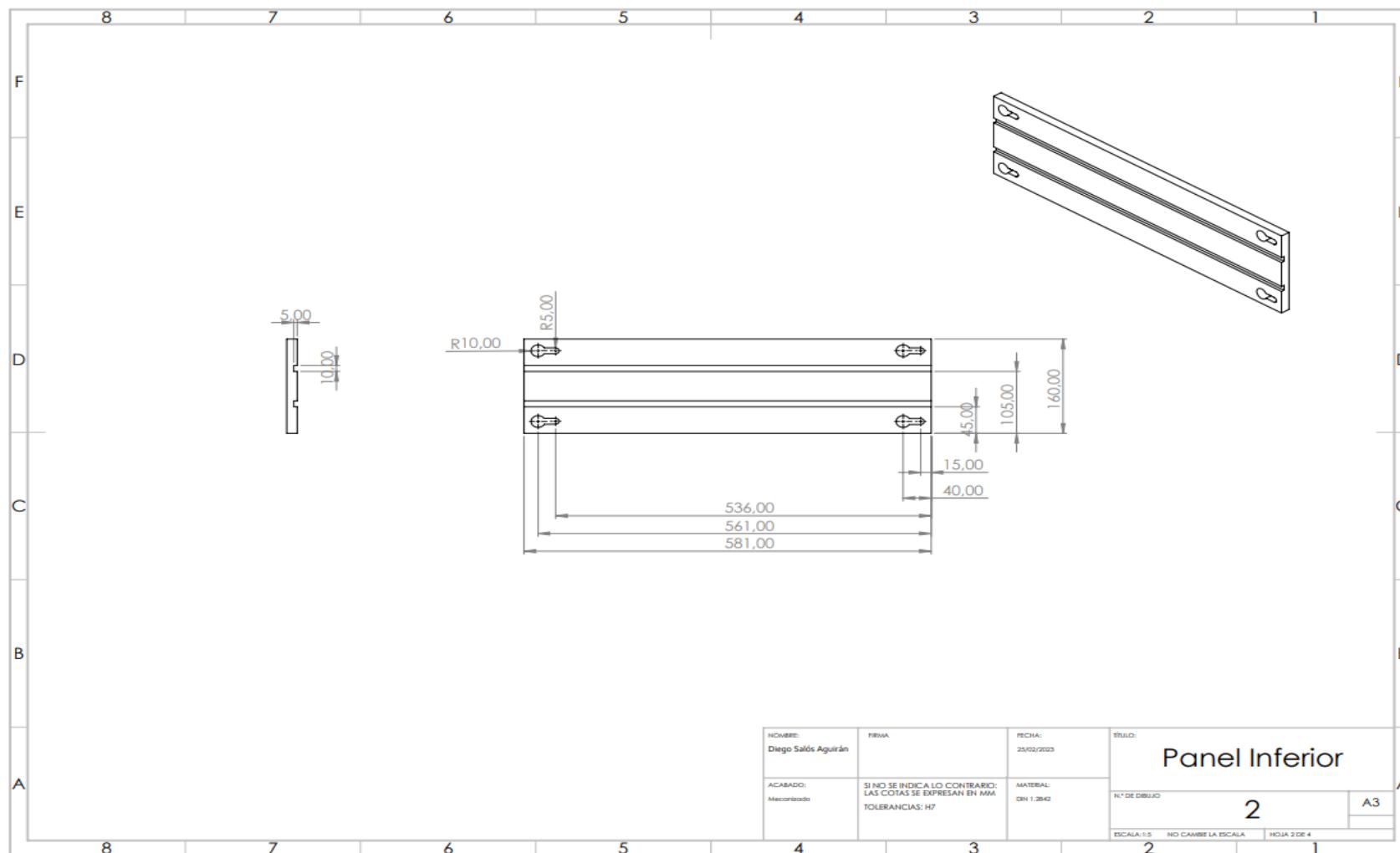
7. ANEXOS

7.1 Panel lateral



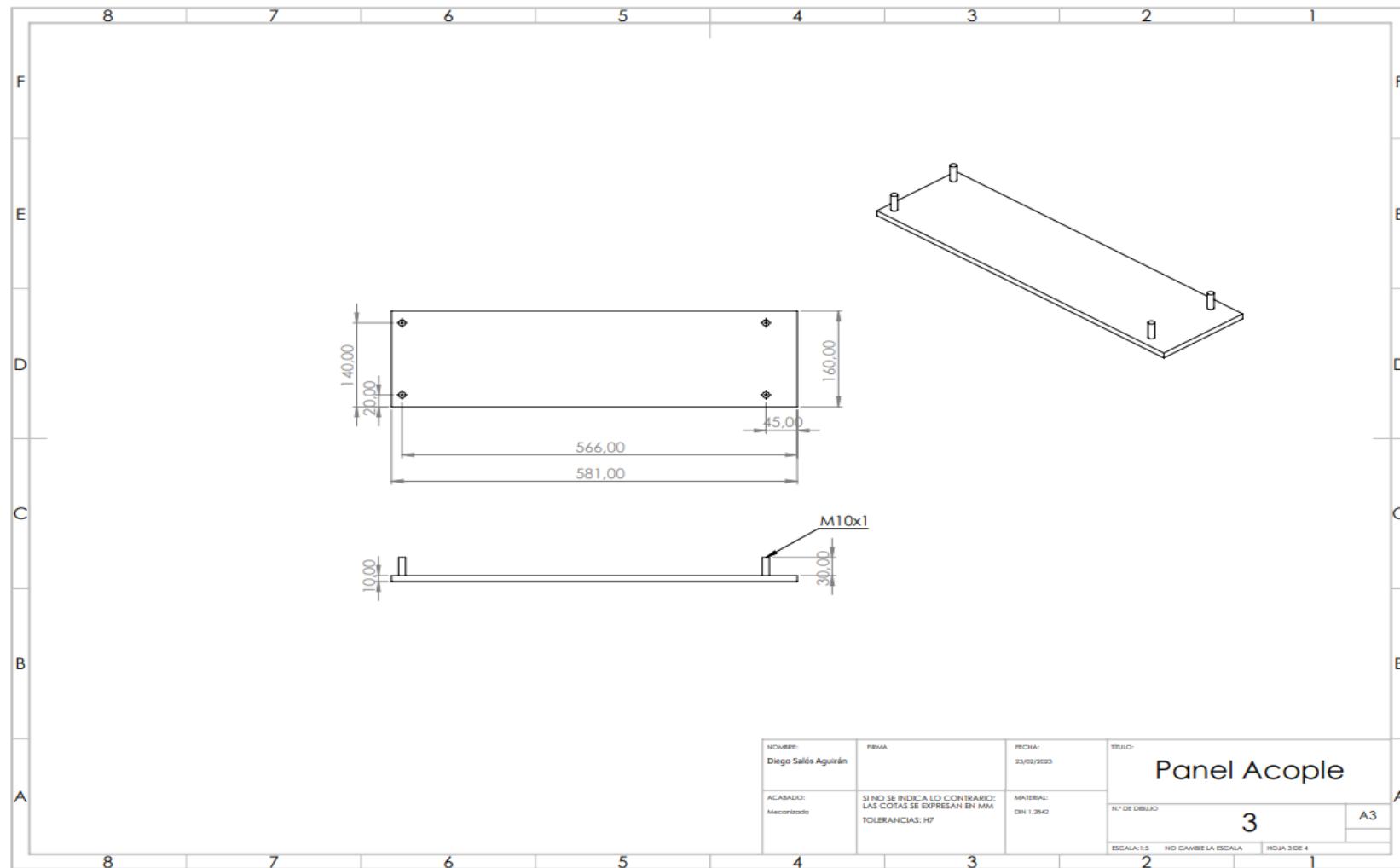


7.2 Panel inferior



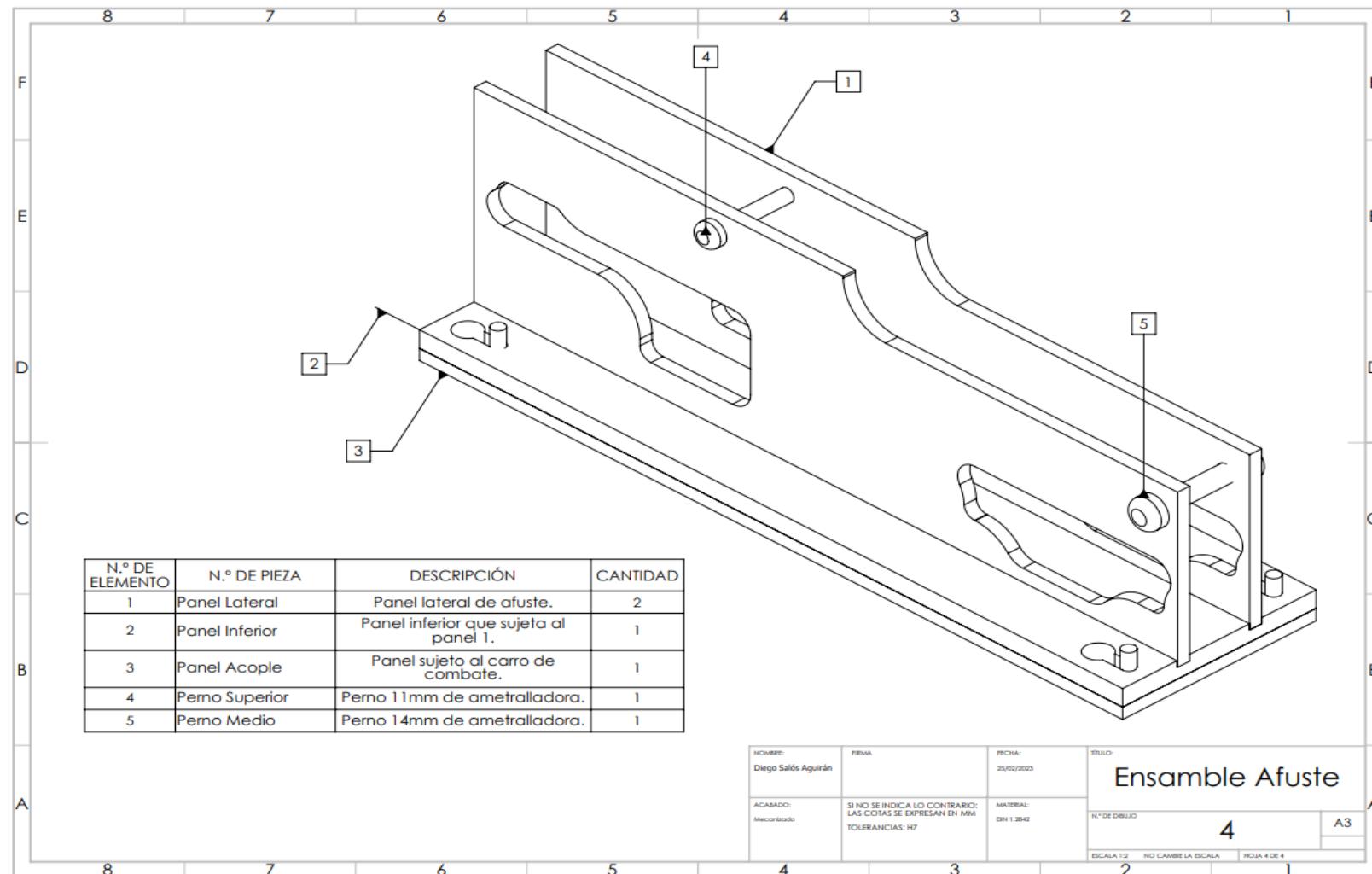


7.3 Panel acople





7.4 Ensamble afuste





7.5 Análisis de Riesgos

Análisis de riesgos																
Título Proyecto:		IMPLEMENTACIÓN DE UN AFUSTE DE 12,70 mm PARA CC LEOPARDO				Jefe de Proyecto:					Fecha cambio:					
Equipo de proyecto:										Fecha inicio:						
Evaluación de riesgos																
ID	Descripción riesgo	Categoría riesgo	Causa del riesgo	Impacto (H,M,L)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo	Efectos riesgo	Medida / Alternativas	Clase riesgo tras medida	Tendencia	Responsable	Fecha planificada	Fecha realización	Status		
1	Aumento de costes de fabricación	Presupuesto	Aumento de precios de las materias primas y servicios dada la situación económica actual	M	2	2M	Sobre costes en el proyecto	Reducción de materiales	Grado de riesgo	NA	PM	NA	NA	Open		
2	Falta de financiación	Presupuesto	Falta de recursos económicos destinados a los carros de combate	H	1	1H	Falta de flujo de caja para financiar el proyecto	Reducción de costes y financiación privada	Grado de riesgo	NA	PM	NA	NA	Open		
3	Mala calidad de fabricación	Fabricación	Fallo del proveedor	H	2	2H	Retraso y repetición de piezas	Altos controles de calidad y capacitación de personal	Grado de riesgo	NA	Proveedor	NA	NA	Open		
4	Accidente durante fabricación/montaje	Fabricación	Malas prácticas	H	2	2H	Retraso en producción y/o montaje	Altos controles de calidad y capacitación de personal	Grado de riesgo	NA	Proveedor	NA	NA	Open		
5	Fallo durante operación	Operación	Desconocido	M	3	3M	Retraso en producción y/o montaje	Altos controles de calidad y capacitación de personal	Grado de riesgo	NA	PM	NA	NA	Open		
6	Retraso Proyecto debido actividad	Operación	Desconocido	L	1	1L			Grado de riesgo	NA	PM	NA	NA	Open		
7	Retraso de entrega de materiales	Operación	Problemas de cadena de suministros	H	3	3H	Retraso en fabricación	Previsión de retrasos, selección de proveedores con stock	Grado de riesgo	NA	PM	NA	NA	Open		
8	Fallo de maquinaria	Fabricación	Mal mantenimiento de maquinaria	M	1	1M	Retraso en fabricación	Mantenimiento preventivo, buena selección de proveedor	Grado de riesgo	NA	Proveedor	NA	NA	Open		