



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Modificación Novedosa para el Sistema de Cadenas
del Vehículo de Combate de Infantería Pizarro

Autor

Gonzalo Sanz Cavanillas

Directores

Directora académica: Doña María Victoria Sebastián Guerrero

Director militar: Capitán Don Maudilio Diazdegeras Martínez

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

Año 2020

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco todo el apoyo y la plena disposición a mis tutores, tanto civil, Doña María Victoria Sebastián Guerrero, como militar, Capitán Don Maudilio Diazdegeras Martínez, que me han aconsejado en todo momento y orientado en la correcta realización del trabajo. Sin su guía la elaboración del trabajo hubiera sido una completa odisea.

En segundo lugar, mi más sincera gratitud a todos los componentes de la 3ª Compañía del Batallón Cantabria, encuadrado en el Regimiento de Infantería «Saboya» nº6, por su constante colaboración, aportación y predisposición de cara a la recogida de información del trabajo, más concretamente al Capitán Don Jaime MalloI de la Cierva y al Teniente Don Jorge Alfonso González, por tutelarme de forma exigente pero siempre desde la educación y el buen trato, impulsando la excelencia laboral y personal, sirviendo de ejemplo y referentes.

Por último, pero no por ello menos importante, doy las gracias a todos mis compañeros del arma de Infantería, a mis padres y hermana, que con su apoyo me estimulan a dar lo mejor de mí día a día.

Resumen

Hoy en día, los conflictos han evolucionado y se han transformado, desde guerras convencionales como la Primera Guerra Mundial, donde los ejércitos regulares se batían en duelo, hasta guerras de poder o conflictos de milicias. Esto resulta, no sólo en la incertidumbre en el campo de batalla, sino también en fuerzas irregulares que luchan entre sí por el poder económico, político y social. Este es el llamado "Entorno Operativo 2035". El Ejército español está actualmente involucrado en un proceso conocido como "Fuerza 2035". Con la intención de reponer completamente las capacidades de combate y mejorar el armamento, el Ejército comprará y desarrollará nuevos sistemas. Estos permitirán que las estrategias militares resuelvan rápidamente los conflictos con la menor pérdida humana posible. Además, los miembros del ejército recibirán un mejor entrenamiento para mejorar su desempeño en el combate.

El actual vehículo de combate de Infantería (VCI) utilizado en el Ejército español es el VCI Pizarro. Este vehículo fue diseñado por General Dynamics European Land System-Santa Bárbara y comprado por el Ministerio de Defensa en 2014. Su tripulación está formada por tres miembros, y la cámara de transporte tiene capacidad para acomodar hasta siete soldados.

Al principio, parecía capaz de desarrollar todas las tareas para las que estaba destinado, pero tan pronto como se desplegó en Letonia, se acumularon los fallos del sistema. Esto se debe al terreno helado y arenoso del país. El clima en la nación báltica es ártico, las temperaturas rondan los diez grados centígrados bajo cero y los quince grados centígrados positivos. El VCI Pizarro sufre averías, su sistema de cadenas es la principal debilidad. La arena se amontona resultando en el desacoplamiento de la cadena, dejando el vehículo inoperativo. Además, los componentes se desgastan debido a la fricción con el terreno, volviéndose inútiles y una vez más, perjudicando el rendimiento de todo el sistema.

Después del análisis de Fuerzas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas (DAFO) del VCI Pizarro, se obtienen los principales defectos. El vehículo necesita urgentemente una mejora, más precisamente en su sistema de cadenas, para poder cumplir todas las misiones para las que fue asignado. Las principales mejoras obtenidas de las entrevistas con los miembros del Batallón "Cantabria" que se pueden aplicar son: la incorporación de un disco para evitar el desacople de la cadena, la modificación de la rueda tensora y su segmentación, o la modificación de las zapatas de goma. En el proceso de esbozar las nuevas modificaciones se ha utilizado un programa de ordenador gratuito, Google Sketch Up. Para elegir entre las distintas opciones la más adecuada, se ha implementado el método Analytic Hierarchy Process (AHP).

Basado en los estudios realizados en el Ejército Ruso, más precisamente en el VCI BMP-3, que es el principal enemigo del vehículo Pizarro, utiliza una cadena sin zapatas de goma, cuyo rendimiento destaca en climas y lugares extremadamente fríos. Debido a la

utilización del método AHP, a los resultados obtenidos en las entrevistas y a la investigación realizada sobre el vehículo ruso, la conclusión a la que se llegó fue la necesidad de desarrollar un diseño de una zapata metálica que pueda ser cambiada por la de goma cuando, debido a las circunstancias, sea necesario.

El objetivo principal de la mejora es reducir la degradación de los componentes de la cadena. Además, también aumentará el agarre del VCI Pizarro y su uso resultará en un menor gasto en piezas de repuesto. La zapata metálica puede ser usada conjuntamente con la zapata de goma colocando un par de cada uno sucesivamente, en lugar de cada zapata de un solo tipo. Buscando información, el diseño se basa en los neumáticos off-road. Una vez tomada la decisión, el boceto final de la actualización se hace utilizando el modelo de diseño de ingeniería de Pahl y Beitz. En general, la zapata metálica aumentará la confianza y la resistencia del VCI Pizarro, mejorando su rendimiento final.

En conclusión, al utilizar la mejora, la arena se acumulará menos y la degradación de los componentes de la cadena disminuirá, así como la sobretensión que la tripulación del vehículo aplica. En el futuro, las mejoras que no se desarrollaron pueden llevarse a cabo e incorporarse al VCI Pizarro, mejorando su funcionamiento y superando a su principal competidor, el BMP-3 ruso.

Abstract

Nowadays, conflicts have evolved and transformed, from regular wars such as World War I, where regular armies dueled each other, to proxy wars or militia conflicts. This results into, not only uncertainty in the battlefield, but also irregular forces fighting each other over economic, politic and social power. This is the so called «Operating Environment 2035». The Spanish Army is currently involved in a process known as «Force 2035». With the intention of fully replenishing the combat capabilities and upgrading the weaponry, the Army will buy and develop new systems. These will enable military strategies to rapidly solve conflicts with the less human loss possible. In addition, army members will receive better training in order to improve their expertise when in combat.

The currently armored fighting vehicle (AFV) used in the Spanish Army is the AFV Pizarro. This vehicle was designed by General Dynamics European Land System-Santa Bárbara and bought by the Ministry of Defense in 2014. Its crew is formed by three members, and the transport chamber has the capacity to accommodate up to seven soldiers.

At first, it seemed capable of developing all of the tasks it was meant to do, but as soon as it was deployed in Latvia, system failures accumulated. This is due to the icy and sandy terrain within the country. The weather in the Baltic nation is arctic, temperatures round minus ten degrees Celsius and positive fifteen degrees Celsius. The AFV Pizarro suffers from breakdowns, its chain system is the main weakness. The sand piles up and bulks the chain, resulting in the decoupling of it, leaving the vehicle inoperative. Moreover, the components wear out due to the friction with the terrain, becoming useless and once more, impairing the performance of the whole system.

After the Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats (SWOT) analysis of the AFV Pizarro, the main defects are obtained. The vehicle needs an improvement urgently, more precisely in its chain system, to be able to accomplish all the missions it was assigned for. The main upgrades obtained from interviews with members of «Cantabria» Battalion that can be applied are: the incorporation of a disk to avoid the misplacement of the chain, the modification of the tensioning wheel and its segmentation, or the modification of the rubber shoes. In the process of outlining the new modifications, a free computer program has been used, Google Sketch Up. To choose from the various options the most adequate, the method Analytic Hierarchy Process (AHP) has been implemented.

Based on the studies made on the Russian Army, more precisely in the AFV BMP-3, which is the main enemy of the vehicle Pizarro, uses a non-rubber shoe chain, which its performance excels in extremely cold weathers and locations. Due to the utilization of the Analytic Hierarchy Process method, the results obtained from the interviews, and the research made on the Russian vehicle, the conclusion reached was the need to develop a

design of a metallic shoe that can be changed for the rubber shoe when, due to the circumstances, is needed.

The upgrade main objective is to reduce the degradation of the chain components. Furthermore, it will also increase the grip of the AFV Pizarro and its use will result in less expense in spare parts. The metallic shoe can be used jointly with the rubber shoe by placing a pair of each one successively, instead of every shoe of a single type. By searching information, the design has it bases on off-road tires. Once the decision has been made, the final sketch of the upgrade is made by using the Engineering Design Model of Pahl and Beitz. Overall, the metallic shoe will increase the reliance and endurance of the AFV Pizarro, improving its final performance.

In conclusion, when using the upgrade, the sand will accumulate less and the degradation of the chain components will decrease, as well as the over tension that the vehicle crew applies. In the future, the improvements that were not developed can take place and be incorporated to the AFV Pizarro, enhancing its running and overcoming its main competitor, the Russian BMP-3.

Índice

<i>Agradecimientos</i>	<i>I</i>
<i>Resumen</i>	<i>II</i>
<i>Abstract</i>	<i>IV</i>
<i>Índice de Tablas</i>	<i>VIII</i>
<i>Índice de Ilustraciones</i>	<i>IX</i>
<i>Lista de Acrónimos</i>	<i>X</i>
<i>1. Introducción</i>	<i>1</i>
<i>1.1. Pasado y presente de los vehículos de combate de Infantería</i>	<i>2</i>
<i>1.2. Futuro 2035 para el Ejército de Tierra</i>	<i>3</i>
<i>1.3. Ámbito de aplicación</i>	<i>5</i>
<i>1.4. Objetivos y alcance</i>	<i>5</i>
<i>1.5. Distribución de la memoria</i>	<i>6</i>
<i>1.6. Metodología</i>	<i>6</i>
<i>2. Estudio del tren de rodaje del vehículo de combate de Infantería Pizarro..</i> <i>7</i>	
<i>2.1. Funcionamiento de la zapata de goma</i>	<i>7</i>
<i>2.2. Ventajas e inconvenientes del sistema de cadenas actual</i>	<i>9</i>
<i>3. Estudio del tren de rodaje del vehículo de combate de Infantería BMP-3..</i> <i>14</i>	
<i>3.1. Sistema de cadenas del vehículo de combate de Infantería BMP-3</i>	<i>14</i>
<i>4. Modificación propuesta para el tren de rodaje del vehículo de combate de Infantería Pizarro</i>	<i>16</i>
<i>4.1. Posibles mejoras</i>	<i>16</i>
<i>4.2. Zapata metálica propuesta</i>	<i>21</i>
<i>5. Conclusiones y líneas futuras</i>	<i>27</i>
<i>5.1. Conclusiones</i>	<i>27</i>
<i>5.2. Líneas futuras</i>	<i>28</i>
<i>Referencias</i>	<i>29</i>

Anexos.....	32
Anexo A: Organigrama del Regimiento de Infantería «Saboya» 6	32
Anexo B: Perfil, Planta y Alzado del VCI Pizarro.....	33
Anexo C: Perfil, Planta y Alzado del VCI BMP-3.....	34
Anexo D: Encuesta.....	35
Anexo E: Resultados de la Encuesta	36
Anexo F: Analytic Hierarchy Process	37
Anexo G: Ingeniería de Diseño, Modelo de Pahl y Beitz.....	40

Índice de Tablas

Tabla 1. DAFO Sistema de cadenas actual.....	10
Tabla 2. Escala de Saaty.	19
Tabla 3. Matriz de valoración de criterios.	19
Tabla 4. Matriz de ponderación de criterios.	20
Tabla 5. Matriz de valoración de alternativas.....	20
Tabla 6. Matriz de ponderación de alternativas.....	21
Tabla 7. Materiales.	25

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Vehículo de combate de Infantería Pizarro	2
Ilustración 2. Vehículo de combate de Infantería del ejército canadiense	3
Ilustración 3. Zapata nueva.....	8
Ilustración 4. Cadena con zapatas nuevas.	8
Ilustración 5. Zapatas desgastadas.....	8
Ilustración 6. Desgaste irregular.	8
Ilustración 8. Acumulación de sedimento.	9
Ilustración 7. Sedimento en parte superior.	9
Ilustración 9. Familia VCI Pizarro.	12
Ilustración 10. Carro T3E2 con sistema Christie.....	14
Ilustración 11. BMP-3 venezolano desfilando.	15
Ilustración 12. Rueda tensora segmentada.	17
Ilustración 13. Perfil rueda tensora segmentada.....	17
Ilustración 14. Planta rueda tensora segmentada.....	17
Ilustración 15. Árbol de decisión AHP.....	18
Ilustración 16. Modelo de Pahl y Beitz.	22
Ilustración 17. Dibujos de neumáticos.	23
Ilustración 18. Zapata metálica derecha.	24
Ilustración 19. Perfil zapata metálica derecha.	25
Ilustración 20. Planta zapata metálica derecha.....	25
Ilustración 21. Organigrama del Regimiento de Infantería «Saboya» 6.	32
Ilustración 22. Perfil, planta y alzado del VCI Pizarro.....	33
Ilustración 23. Perfil, planta y alzado del BMP-3.	34
Ilustración 24. Árbol metodología AHP.....	37

Lista de Acrónimos

AFV	Armored Fighting Vehicle/ Vehículo de Combate de Infantería
AHP	Analytic Hierarchy Process/ Proceso de Análisis Jerárquico
BIMZ	Batallón de Infantería Mecanizada
BIP	Batallón de Infantería Protegida
BMP	Boyevaya Mashina Pekhoty/ Vehículo de Combate de Infantería
BRIEX	Brigada Experimental
Cía	Compañía
CUMA	Cuadros de Mando
DAFO	Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades
ET	Ejército de Tierra
FAS	Fuerzas Armadas
IED	Improvised Explosive Device/ Artefacto Explosivo Improvisado
LAV	Light Armored Vehicle/ Vehículo Ligero Protegido
MBT	Main Battle Tank / Carro de Combate
MPa	Megapascales
OTAN	Organización del Tratado Atlántico Norte
RAC	Regimiento Acorazado
RI	Regimiento de Infantería
SIL	Sección de Infantería ligera
SILP	Sección de Infantería ligero protegida
TO	Teatro de Operaciones
TOA	Transporte Oruga Acorazado
TOM	Transporte Oruga Montaña
VCI	Vehículo de Combate de Infantería
ZO	Zona de Operaciones

(Página intencionalmente en blanco)

1. Introducción

El arte bélico tiene sus orígenes con el inicio de las civilizaciones. Sus causas siempre han sido diversas, disputas territoriales, económicas o políticas, y estas se han mantenido hasta hoy día. Sin embargo, los conflictos han evolucionado y sufrido transformaciones en otros muchos aspectos. El armamento, así como el entorno en el cual tienen lugar las acciones violentas, han sido objeto de las principales modificaciones.

A día de hoy existe una gran variedad de modelos de vehículos mecanizados y acorazados. Concretamente, en los Batallones de Infantería Mecanizada (BIMZ) del Ejército de Tierra (ET), como el Batallón Cantabria perteneciente al Regimiento de Infantería (RI) «Saboya» cuyo organigrama se encuentra en el anexo A, se emplean los vehículos de combate de Infantería (VCI) Pizarro y el carro Leopard 2E en los Regimientos Acorazados (RAC). Los vehículos sobre orugas han sufrido serias mejoras desde las primeras creaciones, allá por la Primera Guerra Mundial. Sin embargo, el sistema de propulsión de estos vehículos, más concretamente sus cadenas, han sido sometidas a cambios mínimos en comparación con el resto de los componentes.

Los medios mecanizados y acorazados se caracterizan por su blindaje y potencia de fuego que, comparado con los vehículos que poseen las Secciones de Infantería ligera (SIL) o ligero protegida (SILP), otorga una mayor protección y capacidad de combate. También destacan por su velocidad, movilidad, flexibilidad y fluidez; es decir, su posibilidad de maniobra es más extensa que la del guerrillero a pie. Sin embargo, la logística y el mantenimiento es mucho más acusado. El desembolso de dinero, no solo en la adquisición de este tipo de armamento sino también en las reparaciones y revisiones diarias, es enorme.

El tren de rodaje del VCI Pizarro fue desarrollado por Santa Bárbara Sistemas, así como la mayoría de los componentes de esta máquina de combate. En la actualidad, los VCI Pizarro cuentan con un simple pero efectivo sistema de cadenas, como se muestra en la ilustración uno, propulsado por un motor de setecientos veinte caballos de vapor, basado en siete pares de ruedas de rodaje, uno en cada lado, una rueda tensora por cadena, al igual que una rueda tractora. Además de esto, la oruga metálica posee zapatas de goma que son la parte activa que se encuentra en contacto directo con el suelo.

Las zapatas de goma son muy comunes, empleándose tanto en vehículos de transporte oruga acorazado (TOA) como en cualquier carro de combate, por ejemplo, el Leopard 2E, actualmente en dotación. Dicho componente se desgasta muy rápidamente, debido al gran tonelaje y a los movimientos en estático que pueden realizar los vehículos, más acentuado aún cuando el vehículo circula por asfalto.

Además, se debe tener en cuenta el estudio del entorno operativo 2035 que se muestra a continuación. El principal país en el que se centra dicho análisis es Letonia, ya que en este se encuentra actualmente desplegada la Fuerza española.



Ilustración 1. Vehículo de combate de Infantería Pizarro. Fuente [1].

Aparecen terrenos muy arenosos, los cuales dificultan el empleo de medios mecanizados ya que sufren muchos problemas mecánicos. Las orugas se desgastan en exceso debido al sedimento que se acumula en ellas, imposible de evacuar, dañando todos los componentes de estas.

En este trabajo se presenta una novedosa modificación en el sistema de cadenas del vehículo de combate de Infantería Pizarro que pretende mejorar la durabilidad y utilidad de dicho sistema, reduciendo el desembolso económico, sin sacrificar tanto el rendimiento como la sencillez.

1.1. Pasado y presente de los vehículos de combate de Infantería

Los primeros carros de combate surgieron con la Primera Guerra Mundial y la Segunda Revolución Industrial, como solución a la situación de avance bajo fuego enemigo. Gracias a los rudos primeros diseños se podían romper las, antes inamovibles, líneas de trincheras, envolviendo al enemigo en pequeñas burbujas y alcanzando así la victoria. Los diseños han evolucionado según las distintas necesidades del combate, siempre condicionados por la situación y terreno en el que los conflictos bélicos tienen lugar, desde la Guerra de Corea hasta Afganistán, pasando por Vietnam y Yom Kippur [2].

En la actualidad estos vehículos acorazados son fundamentales en el arte de la guerra, teniendo gran número de empleos, desde el reconocimiento y la vigilancia hasta llegar al choque y fuego, pasando por el transporte de tropas. A posteriori de los carros de combate, también conocidos como Main Battle Tank (MBT) surgieron los vehículos de combate de Infantería, complementando el uso y empleo de los anteriores gracias a su gran agilidad y velocidad.

Los VCI no solo están diseñados para transportar tropas al frente de batalla, sino que además poseen un cañón, en el caso del sistema español, de treinta milímetros, y ametralladoras, que permiten realizar fuego directo y eficaz sobre un enemigo ligero o ligero protegido. La gran mayoría de los vehículos de este tipo emplean un sistema de tracción de tipo cadenas, aunque también existen sobre ruedas como el Light Armored Vehicle (LAV), perteneciente a las filas canadienses mostrado en la ilustración número dos.

El blindaje proporciona protección contra artefactos explosivos improvisados, del inglés improvised explosive device (IED), además de lanzagranadas, lanzacohetes y fuego de fusilería. Por último, los vehículos cuentan con un sistema que los convierte en estancos, requisito fundamental de cara a la guerra sucia, aquella en la que se emplean agentes químicos y gases tóxicos.

A nivel Organización del Tratado Atlántico Norte (OTAN) se encuentran en uso, además del VCI Pizarro y el carro de combate Leopard, los vehículos M2 Bradley americano, con sus distintas variantes, Ajax inglés, AMX francés y Puma alemán, entre otros [3].



Ilustración 2. Vehículo de combate de Infantería del ejército canadiense. Fuente [4].

1.2. Futuro 2035 para el Ejército de Tierra

Para continuar, se debe tener en cuenta que los viejos conflictos y guerras de guerrillas han quedado en el ayer. El Ejército actúa cooperando a nivel internacional, contra una amenaza híbrida, que se identifica con actores estatales y no estatales, la cual emplea todo tipo de medios tanto políticos como civiles y militares [5], y que, para combatirla, se precisa de tecnología puntera en el sector. Surge la imperiosa necesidad de actualizar la milicia.

El Ejército de Tierra ha iniciado un proceso de cambio denominado «Fuerza 35» el cual consiste en la modernización de todas las Unidades terrestres. Esta renovación permite el aumento de la capacidad de combate, así como la rapidez y acometividad de las acciones que se realicen en el teatro de operaciones (TO). La hoja de ruta para llevar a cabo la renovación se ha planteado en tres fases que se solapan en ciertos puntos. Estas son, fase de estudios conceptuales, ya terminada en la actualidad, fase de experimentación, que comenzó en noviembre de dos mil dieciocho y aún sigue en marcha, y fase de implantación, que tuvo su inicio en diciembre de dos mil diecinueve y continúa hoy día. Para llevar a cabo esta renovación, el papel de la Brigada Experimental (BRIEX) resulta fundamental. Se ha designado la Brigada Rey Alfonso XIII como punta de lanza en todo el

proyecto, siendo esta la responsable de la realización de tareas de investigación y experimentación, que tienen como objetivo recabar los datos e información necesaria para el desarrollo e implementación de la «Fuerza 35». Con todo lo mencionado anteriormente, España podrá cumplir los objetivos propuestos en el ámbito de Defensa, logrando el éxito en combate y minimizando el número de bajas, tanto propias y aliadas como civiles [6].

Citando al Jefe de Estado Mayor del Ejército de Tierra, el General de Ejército Don Francisco Varela Salas:

«El Ejército de 2035, componente esencial de la Fuerza Conjunta, estará capacitado para constituir organizaciones operativas flexibles y cohesionadas, dotadas de medios tecnológicamente avanzados y formadas por personal altamente motivado y preparado. Será capaz de operar en todo tipo de entornos y de integrarse en estructuras multinacionales para asegurar la protección de la población y el control del territorio y recursos.» Página 6 de la Visión del JEME. Fuerza 35.

El entorno operativo 2035, es decir, el espacio donde se desenvuelven las acciones de combate en la actualidad y en un futuro a corto plazo, se caracteriza por el incremento y diversificación del número de actores, existiendo estrategias tanto de combate convencional como de no convencional, desarrollándose en un ambiente híbrido, denominado zona gris. El entorno estratégico se transforma a causa de la globalización, la escasez de recursos, la aparición de nuevas disputas regionales y auge de los nacionalismos, entre otros. La demografía sufre cambios debido al crecimiento desigual entre continentes, ejerciendo presión migratoria, y el envejecimiento de la población afecta a la disponibilidad de recursos para los Ejércitos.

La mayoría de los enfrentamientos se desarrollan en zonas urbanas, densamente pobladas, donde el desempeño de medios mecanizados se puede ver mermado por las estrechas calles y múltiples ángulos que no pueden cubrir. Además, los alrededores de estas ciudades también deben ser controlados. En el caso de Letonia, que se desarrolla a continuación, los suburbios se caracterizan por lo boscoso y arenosos que son, lo que daña las partes del tren de rodaje del VCI Pizarro debido a la acumulación de sedimento en este como consecuencia de los movimientos realizados.

Letonia, país báltico en el cual se encuentra desplegado el contingente español, tiene frontera al Norte con Estonia, al Sur con Lituania y al Este con Rusia. La nación cuenta con extensos bosques y numerosos ríos que desembocan en el golfo de Riga, la capital del país [7]. Las características del terreno en combinación con la climatología extrema que ronda los diez grados bajo cero y los quince grados sobre cero, para lo que las Unidades mecanizadas no se encuentran perfectamente preparadas e instruidas, provoca la disminución de la operatividad y la disposición de los vehículos. Por ejemplo, un problema muy común que surge es que las partes de goma del tren de rodaje del VCI Pizarro se cuartejan y las piezas móviles se congelan debido a las temperaturas bajo cero que se dan a lo largo del año en el país.

Por otra parte, el continuo progreso de las nuevas tecnologías, así como el acceso a estas, tiene una importante relevancia en el entorno operativo 2035. Cabe destacar el uso que el enemigo hace del ciberespacio para la captación de nuevos miembros o difusión de imágenes o el que realiza el

propio Ejército de Tierra, obteniendo nuevas vías de acceso a la población para poder influir en ella. Es por esto que cobra especial importancia la ciberdefensa y los ciberataques.

Así, los ambientes en los que se desarrollan los conflictos se caracterizan por un espacio de batalla no lineal, en el que el enemigo es asimétrico, la población puede ser neutral o incluso hostil y aparece una clara multinacionalidad. El transcurso de las acciones en zonas urbanas propicia la aparición de nuevas necesidades como la instrucción en combate de subsuelo o la capacidad de combate en medios embarcados y desembarcados. El enemigo puede poseer una gran potencia de fuego, similar o mayor que la propia, con oportunidad de guerra electrónica. No debe ser obviado que se realizan tareas de apoyo a autoridades civiles, siendo necesaria la adecuada cooperación con estas ya que pueden llegar a ser un elemento clave [8].

Los medios de combate que poseen las Fuerzas Armadas (FAS) deben ser actualizados y adecuados en función de los requisitos que presentan los nuevos retos. El estudio de la situación y de los factores principales realizado anteriormente es imprescindible para comprender la dirección de avance y la motivación del trabajo.

1.3. Ámbito de aplicación

El trabajo realizado tiene la intención de proponer una novedosa mejora para el tren de rodaje de los medios mecanizados, que se puede implementar en cualquier BIMZ, obteniendo una mayor durabilidad del sistema de cadenas incurriendo así en un menor gasto en sus repuestos. Las principales opciones consideradas para llevar a cabo la mejora son la modificación de la rueda tensora, el empleo de cadenas tipo Transporte Oruga de Montaña (TOM) y el modelado de una zapata metálica. El diseño escogido debe evitar recoger una gran cantidad de arena y evacuar aquella que consiga almacenarse. Además, su utilidad y uso se debe proyectar principalmente para ambientes del entorno operativo 2035, específicamente Letonia que es la incumbencia de los Batallones mecanizados a día de hoy.

1.4. Objetivos y alcance

El objetivo general de este trabajo es el diseño de una mejora para el sistema de cadenas actual empleado por los vehículos mecanizados del Ejército de Tierra.

Para poder cumplir el objetivo general se deben completar los siguientes objetivos secundarios:

- Identificar los puntos débiles del sistema actual.
- Identificar los requisitos que debe tener el sistema para que cumpla adecuadamente con su función.
- Decidir qué opción de mejora es la óptima.
- Estudiar los posibles materiales que pueden ser empleados para la fabricación de la mejora.

1.5. Distribución de la memoria

La siguiente memoria se estructura en las partes que se muestran a continuación; una primera introducción, localizada anteriormente y en la que se habla sobre el ámbito de aplicación del proyecto, la historia de los carros de combate y los vehículos de combate de Infantería, además del entorno operativo futuro en el que se realizarán las acciones tácticas. También se muestran los objetivos del trabajo, así como la metodología empleada para su desarrollo.

Posteriormente, en el segundo punto se detalla la zapata de goma actual, así como su funcionamiento junto con el tren de rodaje, explicando los puntos fuertes y débiles del sistema en dotación. Posteriormente, en el tercer capítulo, se muestra el sistema que posee el ejército ruso, enemigo potencial al que se pueden enfrentar las Unidades mecanizadas españolas.

A continuación, el cuarto punto expone la propuesta de pieza, razonando el proceso desarrollado hasta alcanzar el producto final, así como el material que se debe emplear en su fabricación, además de otras posibles opciones que han sido valoradas y los motivos por los que han sido descartadas.

Por último, en las conclusiones obtenidas del trabajo, se muestra la clara necesidad de implementar esta mejora además de las probables líneas futuras que permitan al Ejército de Tierra obtener una ventaja armamentística respecto a sus principales adversarios.

1.6. Metodología

Para la realización del estudio y la correspondiente propuesta de mejora se ha llevado a cabo una búsqueda de información a través de páginas web, artículos doctrinales y documentos sobre el VCI Pizarro. También se ha encuestado a cincuenta militares de distintos empleos pertenecientes al Batallón mecanizado Cantabria, los cuales, gracias a sus años de experiencia y despliegues en Letonia, han proporcionado el asesoramiento necesario para el desarrollo de una propuesta de mejora del sistema de cadenas del vehículo de combate de Infantería Pizarro.

Entre las herramientas principales utilizadas para el desarrollo del trabajo cabe destacar el empleo de un análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (DAFO), el cual evalúa las ventajas e inconvenientes del tren de rodaje del vehículo actual. Para el bocetado de las distintas piezas propuestas se emplea el programa gratuito Google Sketch Up [9]. Además, se hace uso de una herramienta de ayuda a la toma de decisión, Analytic Hierarchy Process (AHP) [10], empleada con el objetivo de, ante las posibles soluciones planteadas, escoger aquella que permita incrementar el rendimiento de las Unidades mecanizadas. Por último, con el objetivo de realizar el diseño de la novedosa mejora, se hace uso del Modelo de Ingeniería de Diseño de Pahl y Beitz [11], el cual establece el proceso para obtener la forma de la actualización del tren de rodaje.

2. Estudio del tren de rodaje del vehículo de combate de Infantería Pizarro

En el siguiente apartado se muestra el funcionamiento del conjunto del tren de rodaje del vehículo de combate de Infantería Pizarro, así como el desempeño que tiene la zapata. También aparecen los defectos e inconvenientes que surgen de su uso en campos de maniobras nacionales y en Zona de Operaciones (ZO).

Los vehículos mecanizados Pizarro fueron adquiridos de General Dynamics European Land System-Santa Bárbara por el Ministerio de Defensa en dos mil catorce, llegando a las Unidades ese mismo año. La tripulación que opera el sistema son el jefe de vehículo, el tirador y el conductor. En la cámara de transporte se pueden introducir hasta siete fusileros. Sus características principales son: su peso de treinta y una toneladas, una velocidad máxima en carretera de setenta kilómetros por hora, autonomía máxima de quinientos kilómetros, una pendiente longitudinal superable del sesenta por ciento, una pendiente lateral superable del treinta por ciento y una capacidad de vadeo de un metro y medio [12]. En el anexo B se pueden encontrar las distintas vistas del vehículo de combate de Infantería Pizarro.

El sistema de cadenas actual del vehículo Pizarro está compuesto por siete ruedas de rodaje, cuatro rodillos de apoyo, una rueda tractora y una rueda tensora; en cada lateral. El motor, situado en la parte delantera, transmite la potencia a la rueda tractora, la cual posee dientes que se acoplan a la cadena y permiten el movimiento. La función de la rueda tensora es vital. Está situada en la parte trasera y con un simple mecanismo de grasa y aceite se modifica la tirantez de la cadena. Esta presión debe ser adecuada y es imprescindible para el correcto funcionamiento del conjunto, su exceso puede producir que la oruga se fracture y su defecto que se desacople. Los rodillos de apoyo se localizan en la zona superior del tren de rodaje y sirven de punto intermedio entre rueda tractora y tensora. Las ruedas de rodaje o de marcha se alojan en la parte inferior, a través de ellas se distribuye el peso y se da forma a la cadena [13].

2.1. Funcionamiento de la zapata de goma

Las actuales orugas del VCI Pizarro poseen zapatas de goma de dimensiones 12.5x7.5 centímetros que se montan cortando la oruga, colocando la pieza de caucho en su posición y con una herramienta tipo mazo se introduce aplicando fuerza. La pieza desliza y con una pestaña que posee se acopla en una posición fija. Para sacarla se utiliza una herramienta tipo ganzúa, que la desacopla en su posición haciendo saltar la pestaña. En la ilustración 3 se muestra dicho elemento prácticamente nuevo y en la ilustración 4 el conjunto.

Estas zapatas son convenientes cuando se circula por asfalto ya que reducen el impacto de la cadena y mejoran la amortiguación del vehículo, pero se desgastan rápidamente, debido a la abrasión, y se cuarteán con el tiempo. A parte de esto, el componente es macizo, por lo que una vez que algún tipo de sedimento se introduce en la cadena, tiene poca o ninguna escapatoria. En la ilustración 5

se puede apreciar como las zapatas de gomas se descuartizan, no solo en pequeñas escamas sino también en grandes pedazos, produciendo desequilibrios en la oruga y daños en la cadena.

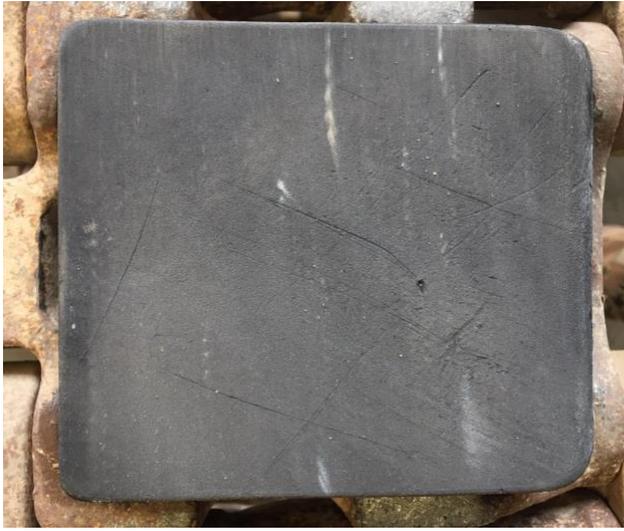


Ilustración 3. Zapata nueva. Elaboración propia.



Ilustración 4. Cadena con zapatas nuevas. Elaboración propia.

En la ilustración 6 se observa que, además de la elevada degradación de las zapatas, el desgaste es desigual. Al igual que ocurre con los neumáticos de un coche, esto indica que recae una mayor presión sobre la parte más corroída de la cadena del vehículo de combate.



Ilustración 6. Zapatas desgastadas. Elaboración propia.



Ilustración 5. Desgaste irregular. Elaboración propia.

La grave obstrucción provocada por el sedimento queda patente tanto en la ilustración 7 como en la ilustración 8. Todos los componentes, fijos y móviles, de la cadena, así como de la parte del tren de rodaje que queda expuesta se encuentran cubiertos por una gruesa capa de sedimento que actúa como una lija. A diferencia de los automóviles, no existe ninguna cubierta que proteja los elementos itinerantes. En el VCI Pizarro los brazos articulados de la suspensión, de la rueda tractora, tensora, de las de marcha y de los rodillos de apoyo, acumulan de forma inevitable componentes extraños.



Ilustración 8. Sedimento en parte superior. Elaboración propia.



Ilustración 7. Acumulación de sedimento. Elaboración propia.

2.2. Ventajas e inconvenientes del sistema de cadenas actual

Tomando como base el informe del Sargento Don Jorge Manuel Flores Leal, realizado tras el despliegue en Letonia al inicio de mayo de 2017, además de la experiencia acumulada por el personal de la Unidad «Saboya» 6 tras sus numerosas misiones, se puede deducir que la arena fina de playa característica de la zona erosiona los componentes de la cadena. Gran parte de esta erosión afecta a los tornillos de los conectores, localizados en el suelo de la oruga, resultando así en la imposibilidad de retirarlos debido a que su cabeza hexagonal se deforma completamente [14].

Otra vicisitud que se produce es que, ya que todo el sedimento que se acumula no puede desalojarse de forma autónoma, la cadena se sale del tren de rodaje por la parte posterior, quedando inutilizado y dañando los componentes de este. Con la intención de solventar el problema, una comisión de ingenieros politécnicos del Ejército aplicó una mejora que resultó ser poco efectiva. Se instaló un disco metálico en la parte delantera para evitar que la cadena saltase de su posición. Finalmente se observó que era inútil ya que la avería se producía en la parte trasera, por lo que el disco debería estar ahí. La idea se tomó de los carros de combate, en los cuales la rueda tractora se encuentra en la parte posterior del vehículo al igual que su motor. En el vehículo Pizarro en cambio, el motor y la rueda tractora se encuentran en la vanguardia del vehículo.

Otro efecto no deseado que surge de la arena acumulada es el excesivo desgaste de los dientes de la rueda tractora. Estos salientes son los encargados de acoplarse a la oruga transmitiendo el movimiento del motor a esta misma. Si se produce una abrasión excesiva, los dientes no se acoplan correctamente a los huecos y el vehículo queda inoperativo.

Este desgaste debido a la fricción no solo afecta a piezas metálicas. Partes de goma como el recubrimiento de la rueda tensora, localizada en la parte trasera de la oruga y encargada de mantener tensa esta misma, se ven erosionados en la misma medida. Como la cadena salta de su posición se tiende a tensarla en exceso para fijarla. Esto produce daños en la rueda tensora, en el brazo en el cual se acopla y, además, no pone fin al problema del desacoplamiento de la cadena.

Por último, las piezas pequeñas como arandelas, juntas y tornillos se deforman y desgastan gravemente. Esto a priori puede no parecer relevante, pero desemboca en problemas mayores como la fricción entre componentes, fugas de lubricante y vibraciones que dañan el tren de rodaje del VCI Pizarro.

A todo esto, se suma que los vehículos desplegados en Letonia son VCI Pizarro Fase I, estando ya en dotación en las Unidades los VCI Pizarro Fase II. El primer modelo se ha visto mejorado gracias a su rediseño. Los vehículos de combate de Infantería de mayor antigüedad deberán ser sustituidos próximamente ya que en los Batallones mecanizados se trabaja con los más modernos. De no ser así, las tripulaciones del vehículo Pizarro localizadas en Zona de Operaciones, instruidos con la última versión del sistema de armas, es decir, el VCI Pizarro Fase II, no serán capaces de desarrollar sus cometidos individuales como es requerido ya que se verán obligados a trabajar con el VCI Pizarro Fase I.

A continuación, se muestra un análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades del sistema de cadenas actual del VCI Pizarro. Esta herramienta se emplea para, de forma esquemática, destacar las ventajas e inconvenientes del tren de rodaje del VCI Pizarro Fase II. Para realizar el análisis se ha contado con el apoyo de militares profesionales, de distintos empleos, del Regimiento de Infantería «Saboya» 6, que cuentan con un mínimo de tres años de experiencia en Unidades mecanizadas, los cuales también han cooperado en la búsqueda y aportación de ideas para solucionar los problemas del sistema de orugas.

Tabla 1. DAFO Sistema de cadenas actual. Elaboración propia.

	De origen interno	De origen externo
Puntos débiles	Debilidades -Mantenimiento exhaustivo y de alto costo. -Rápido desgaste de los componentes.	Amenazas -Menor rendimiento que los competidores. -Pérdida de capacidad de combate. -No apto para climas fríos.
Puntos fuertes	Fortalezas -Amortiguación y agarre. -Amplio conocimiento del sistema y experiencia.	Oportunidades -Intercambiabilidad con otros vehículos de la misma familia. -Circulación por carretera en territorio nacional.

Gracias al uso de esta herramienta se obtienen los principales aspectos a mejorar del vehículo. A continuación se analizan los factores del anterior DAFO.

- Debilidades:
 - El mantenimiento del tren de rodaje actual es demasiado exhaustivo debido a la complejidad de este y los numerosos fallos que produce. La mayoría de estos fallos, sobretudo en Zona de Operaciones, se dan debido a la acumulación de sedimento en los componentes tanto fijos como móviles. En caso de que el mantenimiento no sea el adecuado se produce un gasto elevado en recambios, lo que perjudica gravemente el presupuesto destinado a las Unidades mecanizadas.
 - Componentes del sistema de cadenas actual como arandelas, tornillos o zapatas sufren un desgaste muy elevado debido al rozamiento con la arena y la fricción con el asfalto. Esto resulta en gastos en recambios, pero, en caso de no disponer de ellos, el vehículo queda inutilizado, afectando a la operatividad de la Fuerza.
- Amenazas:
 - El diseño que posee el tren de rodaje del VCI Pizarro, así como los materiales de los que está compuesto, ha demostrado ser inferior una vez comparado con su principal rival, el vehículo BMP-3 ruso. Tras los consecutivos despliegues en Letonia, personal del Regimiento de Infantería «Saboya» 6 describe como los vehículos enemigos destacaban por su versatilidad, agilidad y durabilidad. En cambio, el sistema de armas en dotación sufría numerosas averías y desperfectos como se ha mencionado anteriormente.
 - Una vez más, la pérdida de capacidad de combate e inoperatividad condiciona enormemente a las Unidades mecanizadas. Si estas carecen de su principal medio, el vehículo de combate de Infantería Pizarro, su empleo queda reducido al mismo que el de cualquier Unidad ligera, para lo cual no han sido específicamente adiestradas.
 - El nuevo entorno operativo 2035 trae consigo climas fríos para los cuales no están preparados los componentes de los vehículos. Antes de esta gran evolución los conflictos se daban principalmente en ambientes desérticos. Tanto la barcaza como la torre y el tren de rodaje debe ser acondicionado para las exigencias de estos ambientes.
- Fortalezas:
 - El sistema de cadenas actual, con sus pastillas de goma, es ideal para garantizar la comodidad de los integrantes del vehículo. En suelos asfaltados estas piezas reducen el impacto y permiten no dañar el firme al pivotar o realizar cualquier otro tipo de movimiento. Además, otorgan un buen agarre y tracción, el cual se reduce sobre terrenos arenosos.
 - Debido a que el conjunto no ha sufrido variaciones significativas desde su adquisición, el conocimiento que posee la tropa y los suboficiales del Ejército de Tierra es muy amplio. Estos mismos se encargan del mantenimiento del sistema sin la necesidad de un

especialista, lo que otorga autonomía a las Unidades a la hora de comprobar el estado del vehículo y la necesidad de cambio de piezas en caso de desgaste o un mal funcionamiento.

- Oportunidades:

- Un aspecto muy importante, y que se debe conservar con la novedosa modificación, es que, como se observa en la ilustración número nueve, todas las modalidades del VCI Pizarro poseen el mismo tren de rodaje. A diferencia de las partes que integran las distintas torres, los elementos que componen el tren motriz son réplicas exactas, tanto en un vehículo Pizarro de Mando como en uno medicalizado o de recuperación.
- Finalmente, es necesario el uso de zapatas de goma para circular por territorio nacional, ya sea en las distintas bases o acuartelamientos que poseen medios mecanizados y acorazados, como en los campos de maniobras y zonas de instrucción que posee el Ministerio de Defensa. De estas pastillas solo se puede prescindir en caso de localizarse desplegado en el extranjero.

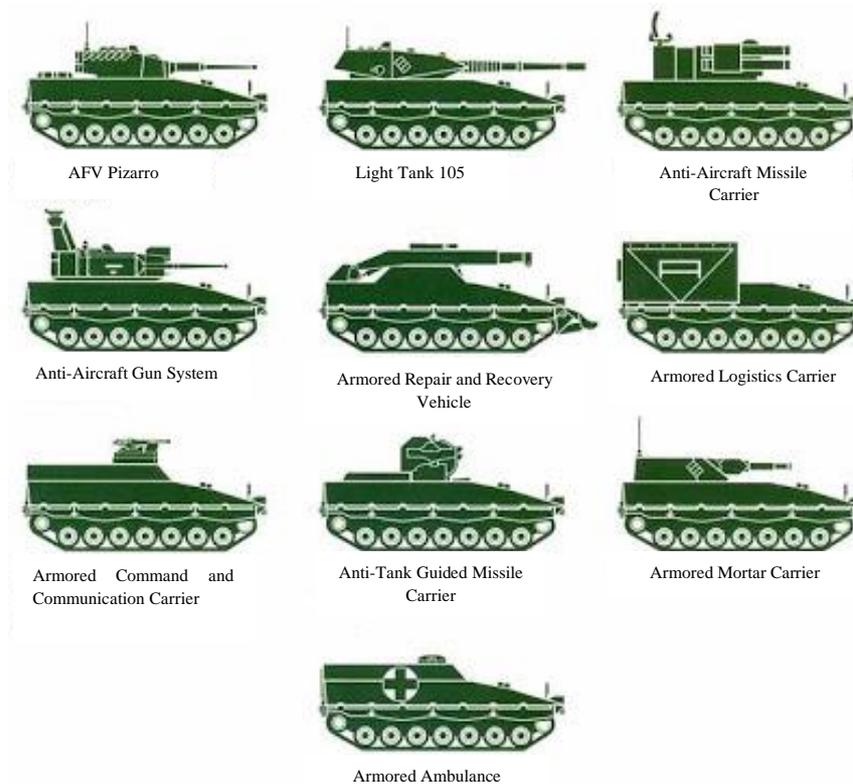


Ilustración 9. Familia VCI Pizarro. Fuente [15].

La propuesta de mejora debe conservar los principales aspectos positivos del actual sistema de orugas, es decir, no debe verse alterada la comodidad que ofrece el vehículo ni la simpleza del tren de rodaje. Su universalidad con la familia VCI Pizarro tampoco debe ser afectada por la implementación ya que resultaría en la incompatibilidad de recambios, es decir, mayores gastos en piezas. Los principales puntos negativos que deben ser erradicados son el gran desgaste que sufre el tren de rodaje debido a la abrasión y la pérdida de capacidad de combate debido a quedar

inutilizado el vehículo Pizarro. Una vez analizadas las ventajas e inconvenientes del sistema de cadenas del VCI Pizarro, se concluye que, para mantener la operatividad de las Unidades mecanizadas, es necesario realizar una modificación en su tren de rodaje.

3. Estudio del tren de rodaje del vehículo de combate de Infantería BMP-3

En el apartado que continúa se analiza la composición y funcionamiento del sistema de cadenas del VCI BMP-3. Además, se obtienen las conclusiones pertinentes que permiten evaluar las posibles mejoras que se pueden extraer del vehículo ruso y aplicar al VCI Pizarro.

3.1. Sistema de cadenas del vehículo de combate de Infantería BMP-3

Tomando como ejemplo países como Rusia, el potencial enemigo de la OTAN, cuyos sistemas de armas han sido diseñados para combatir en ambientes gélidos, se puede apreciar que las cadenas de sus carros de combate carecen de zapata, siendo enteramente metálicas. El sistema de automoción de los carros de combate rusos en sus inicios era de tipo Christie, es decir, carecía de rodillos de apoyo como se muestra en la ilustración diez. En la actualidad se ha reconvertido al modelo tipo Vickers, donde el tren de rodaje cuenta con rodillos de apoyo que sustentan la cadena en el trayecto de retorno hasta la rueda tensora. Con el sistema tipo Christie la cadena circula en ambos sentidos por las ruedas de marcha.



Ilustración 10. Carro T3E2 con sistema Christie. Fuente [16]

El vehículo homólogo eslavo al VCI Pizarro es el Boyevaya Mashina Pekhoty-3 (BMP), el cual aparece en la ilustración once. Este vehículo de combate de Infantería tiene su origen en la antigua Unión Soviética, ahora desmantelada. Entró en servicio en mil novecientos noventa y uno, encontrándose actualmente en uso en varios países a parte del creador, como Venezuela y Arabia Saudí. Su motor otorga quinientos caballos de potencia, cifra menor al motor del vehículo español, para un tonelaje similar. En cambio, su desempeño es mejor que los vehículos que posee el Ejército de Tierra español, requieren menos mantenimiento y sufren menos averías.

A diferencia del sistema de armas nacional, el vehículo ruso posee seis ruedas de marcha en lugar de siete. Esta divergencia no es de gran importancia, sin embargo, lo realmente relevante es que la rueda tractora está colocada en la parte trasera, al igual que el motor, y la rueda tensora en la parte delantera, al contrario que en el VCI Pizarro. La cámara de motor se encuentra junto a la cámara

de personal, restándole espacio y acumulando la mayoría del peso en esta parte del vehículo, no siendo así en el vehículo Pizarro, que concentra el tonelaje en la parte delantera. Todo ello se puede apreciar claramente en la ilustración número doce.



Ilustración 11. BMP-3 venezolano desfilando. Fuente [17].

Para continuar, la cadena rusa es enteramente metálica, es decir, no posee elementos de goma que sirvan de amortiguación entre el vehículo y el suelo. En asfalto y superficies duras esto supone una gran desventaja ya que la fricción de la oruga con el firme acelera su desgaste. En cambio, en terrenos no compactos su agarre es mayor y, gracias a su sencillez, el sistema tiene una mayor durabilidad, debido a que no existe erosión de ningún tipo ya que no se introduce tanta cantidad de sedimento en las partes móviles.

Por lo tanto, se obtiene como conclusión que, a la vista del diseño del BMP-3, cuyos perfiles detallados se encuentran en el apartado C de los anexos, la única mejora que se puede tomar de este y aplicar al VCI Pizarro es la incorporación de una cadena metálica o la modificación de la ya existente, convirtiéndola enteramente de este material. No resulta factible modificar el tren de rodaje en ningún otro aspecto ya que la divergencia que presenta la posición de las ruedas tensoras y tractoras es insalvable. Para cambiar cualquier otro apartado del sistema de cadenas del VCI Pizarro y que se asemeje al sistema ruso se debe transformar la plataforma completa.

4. Modificación propuesta para el tren de rodaje del vehículo de combate de Infantería Pizarro

Ante los inconvenientes observados y descritos del tren de rodaje del vehículo Pizarro, el análisis realizado y la información recabada de los Tenientes, Sargentos y Cabos que integran la tercera Compañía mecanizada del primer Batallón, se ha llegado a la conclusión que existen varias opciones de actualización para el sistema de cadenas.

4.1. Posibles mejoras

Entre las posibles mejoras a aplicar se encuentran:

- Incorporación de un disco que evite la salida de la cadena de su posición, colocándolo en el lugar oportuno.
- Modificación de la rueda tensora, convirtiéndola en una rueda tensora segmentada.
- Modificación de las zapatas de goma para su actualización a zapatas metálicas.

A continuación, se valoran las distintas opciones que existen como posible mejora del tren de rodaje, proponiendo una de estas como idea fuerza.

Colocar la corona en forma de tope en la rueda tensora, es decir, en la parte trasera de la cadena, es la solución más inmediata y eficaz para evitar que la oruga pueda salirse de sus guías. Sin embargo, contribuye a la acumulación de sedimento, lo que daña los componentes del sistema de armas. Para solucionar este aspecto, el diseño del disco debe ser perforado, pero la pieza pierde consistencia y resulta en una mayor fragilidad. En definitiva, esta mejora supone avance en el aspecto del desacople de la cadena, pero genera una mayor problemática con terrenos arenosos.

También se puede modificar la propia rueda tensora. Esta pieza está recubierta por goma, que, si se deteriora, la rueda entera debe ser cambiada, dejando el vehículo inoperativo. Con la actual escasez de recambios en el Ejército de Tierra, no es factible el repuesto habitual de la rueda tensora, por ello, una innovación inédita como es segmentar la rueda tensora es un punto de inflexión en la operatividad vehicular.

La segmentación de la rueda tensora consiste en dividir en pequeños tramos de goma su parte más externa, de forma que si uno de estos componentes sufre un mayor desgaste pueda ser intercambiado de forma independiente por otro. Esto propicia que el mantenimiento de los VCI sea más sencillo, evitando llevar el vehículo Pizarro a segundo escalón para solicitar un recambio y que permanezca inmóvil por un largo periodo de tiempo. Por otra parte, no supone una solución al desacople de la cadena, únicamente, si esta salta de su posición, no daña todo el elemento de goma sino una única pieza, la cual se puede cambiar por otra.

Seguidamente se muestra en las ilustraciones número doce, trece y catorce, la pieza bocetada por la propia persona que redacta. Ha sido diseñada con el programa gratuito Google Sketch Up. Sketch up es un programa muy similar al AutoCAD o SolidWorks, que permite elaborar un croquis tanto en dos dimensiones como en tres. Su empleo es muy sencillo ya que no requiere de ningún conocimiento previo.

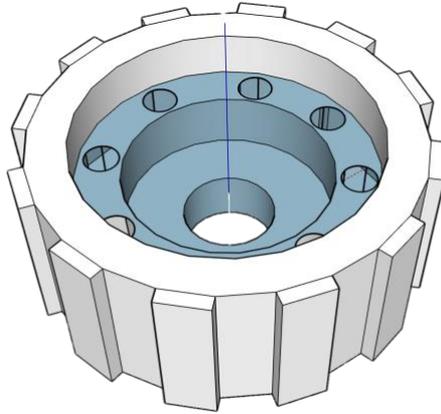


Ilustración 12. Rueda tensora segmentada. Elaboración propia.

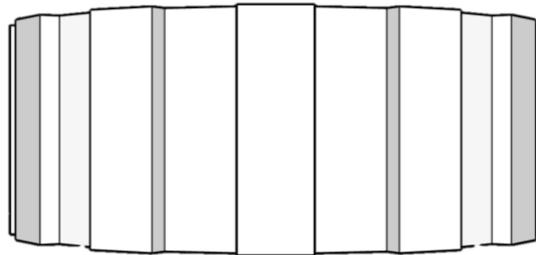


Ilustración 13. Perfil rueda tensora segmentada. Elaboración propia.

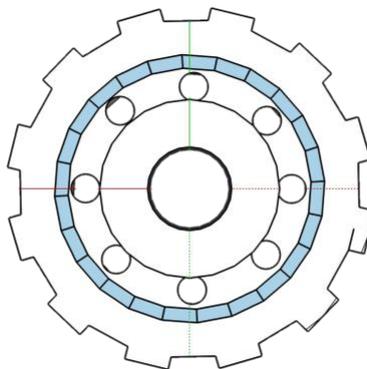


Ilustración 14. Planta rueda tensora segmentada. Elaboración propia.

Por último, la actualización de las actuales zapatas de goma supone un avance para el combate en terrenos en los que la superficie no es compacta. El nuevo elemento, cuya composición es metálica, es ideal para mejorar la tracción, además de no introducir la gran cantidad de arena que introduce

el actual componente. A priori, no existen inconvenientes, vehículos rusos emplean dichas partes desde sus primeros diseños, demostrando un mejor desempeño en ambientes arenosos y nevados.

Se ha realizado la encuesta localizada en el anexo D a cincuenta personas del Batallón Cantabria, principalmente Cuadros de Mando (CUMA), los cuales tienen un mínimo de 3 años de experiencia y un despliegue en Letonia, y a la vista de los resultados obtenidos, localizados en el anexo E, la necesidad de mejorar el tren de rodaje resulta adecuada. Ante la pregunta número dos; «¿Qué parte cree que es necesaria mejorar del VCI Pizarro?», la mejora del tren del sistema de cadenas cuenta con el apoyo de un cuarenta y cuatro por ciento, mientras que las opciones de mejorar la torre o barcaza se ven respaldadas por el treinta y cinco y veintiuno por ciento respectivamente. El desempeño de la torre y la barcaza presenta fallos, pero, a la vista de los resultados, la actualización del tren de rodaje puede resultar más conveniente. Además, el rediseño de la torre o la barcaza puede significar un cambio demasiado extenso y complicado. Aproximadamente la mitad del personal que responde a la cuestión número tres de la encuesta, concretamente un cuarenta y seis por ciento, cree que la solución óptima es la modificación de las zapatas, ya que supone una mejora notable tanto en el rendimiento del vehículo como en su durabilidad y gasto en recambios. Estos resultados se deben de la comparación que realizan los militares del Batallón, entre las cadenas enteramente metálicas que emplea el vehículo BMP-3 y la cadena con elementos de caucho que posee el VCI Pizarro. Tras observar los vehículos rusos desplegados en Letonia, estos eran mucho más versátiles, ágiles y fiables que el vehículo Pizarro. También resalta la petición de mejora de la rueda tractora y la rueda tensora, que se puede realizar con las sugerencias anteriores. Estos resultados muestran que, aunque el desempeño del VCI Pizarro es óptimo en muchos aspectos, existen apartados que necesitan una mejora.

Gracias al estudio realizado a partir del método Analytic Hierarchy Process, cuya explicación se localiza en el anexo F, se analizan las distintas opciones y se obtiene la solución acertada al problema. El método AHP, empleado con frecuencia por las empresas hoy día, es una herramienta que permite obtener una solución a un problema multicriterio, a partir de la cuantificación de las

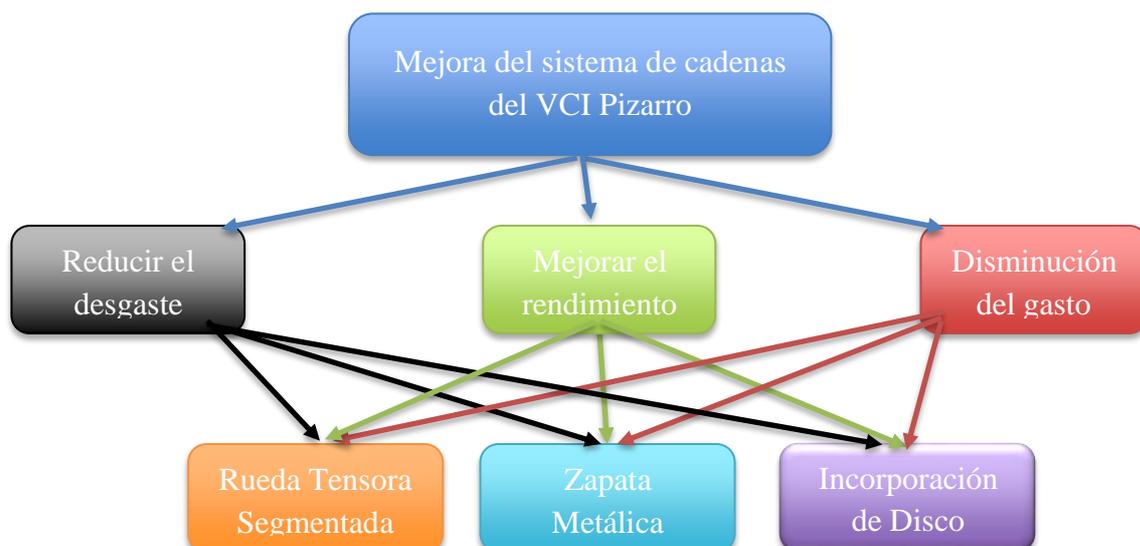


Ilustración 15. Árbol de decisión AHP. Elaboración propia.

distintas prioridades o requisitos. Gracias a esto se consigue mejorar la eficiencia y la productividad de las grandes multinacionales [18]. Para comenzar se identifica el problema, que se representa de forma gráfica a partir de un diagrama de árbol, en el que se relaciona el objetivo con los criterios y las alternativas. La ilustración número quince muestra los tres principales criterios, reducir el desgaste de los elementos del tren de rodaje, mejorar el rendimiento de este mismo y disminuir el gasto en recambios. También aparecen las distintas alternativas propuestas, segmentar la rueda tensora, implementar una zapata metálica o incorporar un disco en la rueda tensora.

A continuación, se evalúan los criterios de forma comparativa entre estos, teniendo en cuenta la siguiente escala conocida como escala de Saaty:

Tabla 2. Escala de Saaty. Elaboración propia a partir de [19].

Valor	Definición
1	Igual importancia
3	Importancia moderada de A sobre B
5	Importancia grande de A sobre B
7	Importancia muy grande de A sobre B
9	Importancia únicamente de A

La evaluación que resulta de los datos obtenidos en la encuesta, valorando según la escala de Saaty los diferentes criterios dos a dos aparece en la tabla tres. Los encuestados declaran que reducir el desgaste tiene una importancia moderada sobre mejorar el rendimiento y una importancia grande sobre disminuir el gasto. A su vez, mejorar el rendimiento tiene una importancia moderada sobre la disminución del gasto.

Tabla 3. Matriz de valoración de criterios. Elaboración propia.

A \ B	Reducir desgaste	Mejorar el rendimiento	Disminución de gasto
Reducir desgaste	1	3	5
Mejorar el rendimiento	1/3	1	3
Disminución de gasto	1/5	1/3	1

Cada uno de los aspectos tiene una ponderación asociada a la comparación por pares cuya suma es igual a uno. Reducir el desgaste tiene un peso de 0.637 puntos, mejorar el rendimiento tiene un peso de 0.258 puntos y disminuir el gasto en recambios tiene un peso de 0.105. Esto queda reflejado de forma esquemática en la tabla de criterios ponderados que se muestra a continuación. Estos resultados se obtienen a partir de un programa conocido como AHP Priority Calculator, en

mencionado en el anexo F. El programa ha sido obtenido de internet. Este es gratuito y se emplea para obtener los porcentajes de ponderación de cada criterio a partir de la valoración de los criterios.

Tabla 4. Matriz de ponderación de criterios. Elaboración propia.

Criterio	Observación	Peso %	Ordenación
Reducir desgaste	Este aspecto es clave a la hora de aumentar la operatividad de los vehículos y su durabilidad.	63.7%	1
Mejorar el rendimiento	La importancia de este criterio reside en la obtención de una ventaja competitiva respecto al enemigo.	25.8%	2
Disminución de gasto	Siempre debe estar presente el principio de la economicidad.	10.5%	3

Una vez obtenida la matriz anterior se comparan las distintas alternativas que existen para satisfacer los criterios. A continuación, se muestra la matriz de valoración de las alternativas propuestas:

Tabla 5. Matriz de valoración de alternativas. Elaboración propia.

A \ B	Rueda tensora segmentada	Zapata metálica	Incorporación de disco
Rueda tensora segmentada	1	1/5	3
Zapata metálica	5	1	7
Incorporación de disco	1/3	1/7	1

De la misma forma que en la matriz de valoración de criterios, la matriz de valoración de alternativas muestra que la implementación de zapatas metálicas prevalece de forma sobresaliente respecto a las otras dos opciones. Por la otra parte, la incorporación de un disco en la parte trasera de la oruga es la alternativa con peor acogida. De la tabla número cinco se obtiene la matriz de ponderación de alternativas en la que aparecen las distintas opciones valoradas anteriormente junto con su peso asociado.

La ponderación de la aplicación de una zapata metálica es de 0.731 puntos, superando por gran amplitud las demás opciones. La segmentación de la rueda tensora tiene un valor de 0.181 puntos

y por último, la incorporación de un disco en la rueda tensora tiene una ponderación de 0.081 puntos, el menor de todas las alternativas.

Tabla 6. Matriz de ponderación de alternativas. Elaboración propia.

Alternativa	Observación	Peso %	Ordenación
Zapata metálica	Con esta alternativa se pueden solucionar en gran medida los tres criterios.	73.1%	1
Rueda tensora segmentada	Con esta solución se mejora el gasto en recambios y el gran desgaste, no el rendimiento.	18.8%	2
Incorporación de disco	Únicamente se mejora el rendimiento del vehículo.	8.1%	3

De la aplicación del método AHP se concluye que es prioritario reducir el desgaste de los componentes del tren de rodaje del VCI Pizarro, para lo cual es necesario el diseño de una zapata metálica acoplable al sistema de cadenas actual. La decisión de escoger la modificación de las zapatas puede suponer solventar los problemas tanto asociados con su propio desgaste como los problemas derivados de la acumulación de arena, siendo una modificación prácticamente resolutive. Esta elección se ve respaldada por las conclusiones obtenidas del estudio realizado anteriormente sobre los medios del principal enemigo, el BMP-3 ruso, y por la experiencia de los militares destinados en las Unidades mecanizadas del Regimiento de Infantería «Saboya» 6 que rellenaron la encuesta.

Para finalizar, cabe resaltar que esta mejora no es excluyente del resto, es decir, se puede complementar en un futuro con las anteriores, pero siendo esta misma la que tiene mayor importancia y por tanto la que se desarrolla a continuación.

4.2. Zapata metálica propuesta

Antes de comenzar con este apartado y teniendo en mente la elección anterior, debe quedar patente que el siguiente elemento diseñado se emplea únicamente en Zona de Operaciones, ya que es ahí donde está permitida la circulación sin zapatas de goma.

Para alcanzar el diseño óptimo de la nueva zapata metálica se emplea como metodología el Modelo de Pahl y Beitz, ilustración número dieciséis, redactado de forma extensa en el apartado G de los anexos.

El Modelo de Pahl y Beitz establece cinco fases claramente diferenciadas en la ingeniería de diseño.

- Primera etapa: clarificación de la tarea, en la cual se identifica la necesidad y el problema asociado, en este caso la necesidad de actualizar el tren de rodaje debido a los inconvenientes mencionados anteriormente.
- Segunda etapa: fase de diseño conceptual, en la que se plantea una primera solución o conjunto de soluciones al problema principal. El problema principal es la acumulación de sedimento y el desgaste excesivo de las piezas del tren de rodaje del VCI Pizarro. Como solución surge un concepto como idea fuerza, la propuesta de una zapata metálica.
- Tercera etapa: fase de diseño de forma, en dicha fase se obtiene un modelo inicial de la forma de la pieza, que debe ser refinado y optimizado según criterios técnicos y económicos. En este caso se realiza un estudio del dibujo de los neumáticos de campo y de los principales materiales que pueden ser utilizados para la fabricación de la pieza.
- Cuarta etapa: fase de diseño de detalles, en ella se alcanza un arreglo definitivo, completado con la documentación necesaria. Esta etapa no tiene lugar en el este trabajo ya que en él solo se muestra una propuesta de diseño.

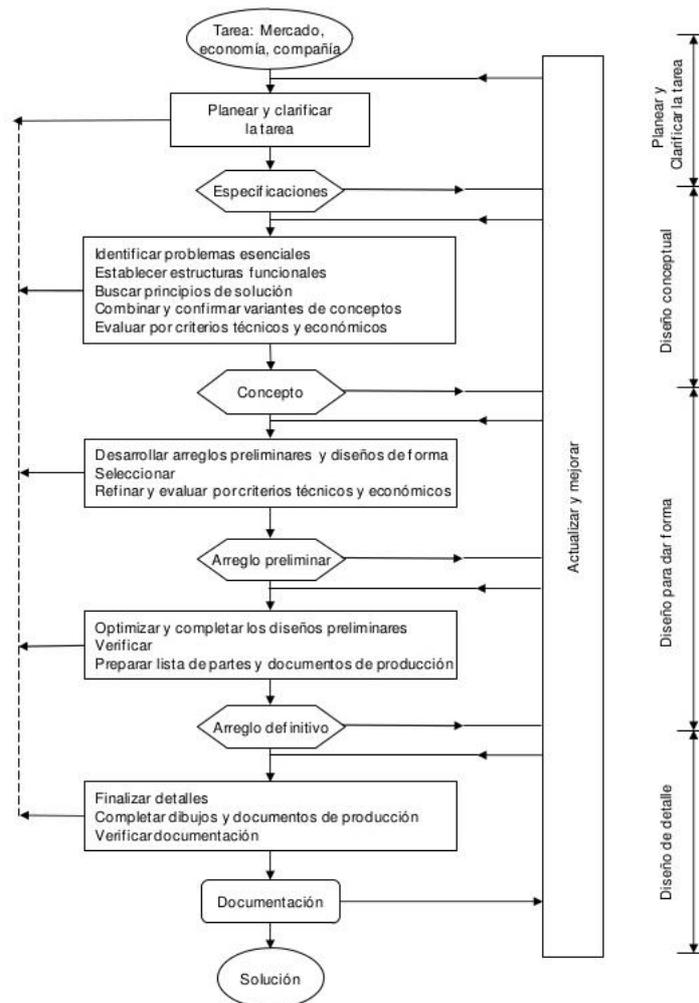


Ilustración 16. Modelo de Pahl y Beitz. Fuente [20].

Tras haber identificado el problema principal del tren de rodaje, las características que han sido definidas por la propia persona que redacta, así como militares profesionales del RI «Saboya» 6 que requiere la pieza son las siguientes. No solo es necesario un material metálico que resulte en un menor desgaste y mayor agarre, sino también una forma que permita achicar el agente extraño, evitando su acumulación en la cadena. Además, su diseño tiene que ser compatible con las actuales cadenas, procediendo a su acople y desacople de la misma forma que las piezas de caucho. No es necesaria la instrucción del combatiente en el proceso de recambio ni la adquisición de nuevas herramientas para este.

El dibujo que presenta el suelo de la zapata no es aleatorio. Está basado en la forma de los neumáticos de vehículos de campo como todoterrenos o tractores. Estos elementos se caracterizan por sus tacos, los cuales se emplean fundamentalmente para mejorar el agarre. Cuanto más cruzada esté la pala del neumático mayor tracción proporciona, pero recoge más arena. Sus tamaños y formas son variados, pero, colocados con una angulación, despiden la arena hacia el exterior. Por ello, es conveniente que la pala no sea completamente perpendicular a la dirección de avance.

Además, se debe tener en cuenta que en el VCI la arena debe ser expulsada hacia el exterior, evitando que llegue a los componentes móviles como se demostró anteriormente en las ilustraciones cinco y seis. Es por ello que el dibujo es unidireccional, dependiendo del flanco del vehículo; las zapatas colocadas en la parte izquierda evacuarán la arena hacia la izquierda y en la parte derecha hacia este mismo lado.



Ilustración 17. Dibujos de neumáticos. Fuente [21].

En la imagen anterior aparecen los dibujos y formas más comunes de los neumáticos que existen en el mundo agrícola. Se observa que los modelos R1, R1W y R2 comparten gran similitud, las palas se encuentran elevadas 30 grados con la horizontal aproximadamente y presentan cierta curvatura, favoreciendo en la misma medida tanto la adherencia como el drenaje de arena. Por otra parte, la rueda R3 posee unos tacos horizontales que permiten mucho mayor agarre pero que no otorga esa capacidad de evacuar sedimento. Por último, el neumático R4 parece a primera vista igual o muy similar a R2. Sin embargo, en su parte central existen unas protuberancias que mejoran aún más la tracción. Este examen sirve de base para la elaboración del dibujo que presenta la novedosa zapata metálica.

Tras la aplicación del Método de Ingeniería de Diseño de Pahl y Beitz y el estudio de los dibujos de las bandas de rodadura de los neumáticos, el boceto óptimo que se propone en este trabajo es el siguiente.

La zapata metálica posee las mismas dimensiones que la actual zapata de goma, lo que permite el acople y desacople de la cadena actual del VCI Pizarro. Presenta dos orificios que permiten tanto achicar la arena como evitar el rozamiento entre la zapata y los dientes de la rueda tractora, reduciendo su deterioro. La anterior pastilla de goma carecía de dichas aberturas, lo que produce que se almacene arena entre la zapata y la cadena, contribuyendo además al desgaste de los dientes de la rueda tractora que se acopla a la oruga en tal punto.

Su dibujo, basado en los neumáticos analizados anteriormente, posee palas inclinadas aproximadamente cuarenta y cinco grados con la horizontal, lo que mejora el agarre sobre terrenos arenosos y nevados, evacuando el sedimento en una única dirección, evitando que se introduzca en las partes móviles. La zapata lisa proporciona una menor tracción y no propicia la correcta expulsión de la arena.

Se puede combinar el uso de la zapata de goma con la nueva zapata metálica. No es imprescindible montar todas las piezas de un mismo tipo, en función de los requerimientos del terreno, puede resultar conveniente intercalar pares de zapatas de goma con zapatas metálicas. Esto además ayuda a reducir el peso y la tensión acumulada en la cadena, evitando que se parta.

A continuación se muestra la propuesta de diseño de forma ilustrada. La pieza bocetada por la propia persona que redacta ha sido diseñada con el programa Google Sketch Up, al igual que las anteriores.

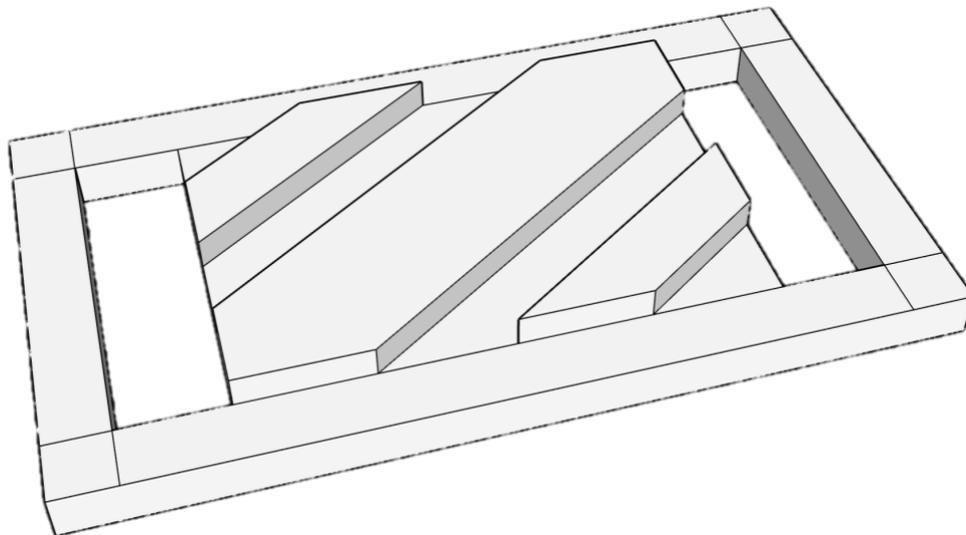


Ilustración 18. Zapata metálica derecha. Elaboración propia.

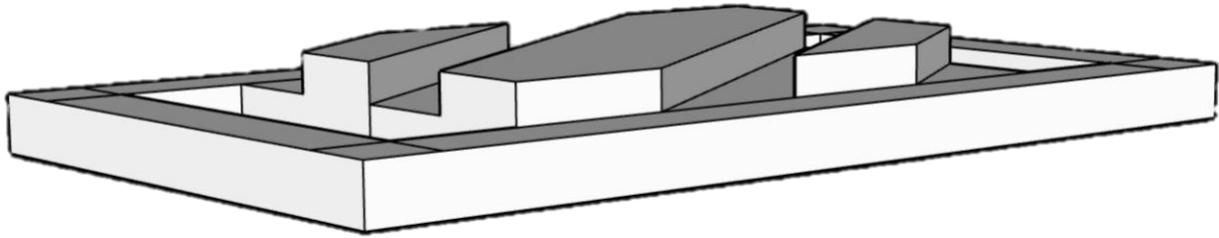


Ilustración 19. Perfil zapata metálica derecha. Elaboración propia.

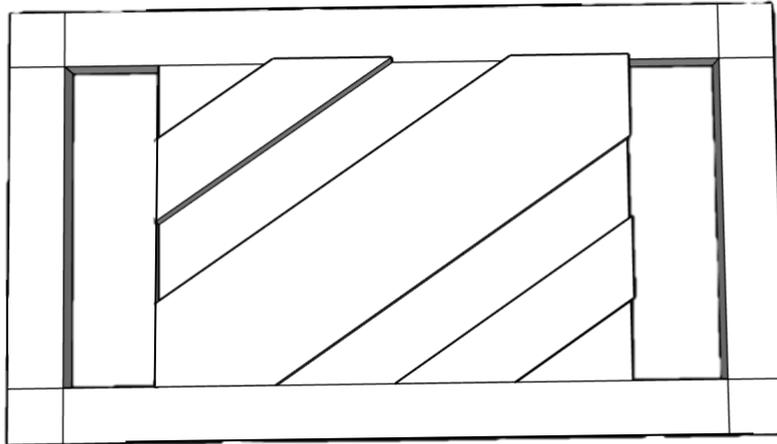


Ilustración 20. Planta zapata metálica derecha. Elaboración propia

En cuanto al material, este debe ser resistente a la degradación, abrasión y agua, apto para climas gélidos e inoxidable. A parte de esto, considerando el presupuesto dedicado en Defensa actual, es conveniente que el componente sea de precio moderado, de fácil obtención para su fabricación. A continuación, se hace uso de una tabla comparativa de los principales compuestos que pueden ser utilizados. En ella aparecen las características más relevantes de los cuatro elementos preseleccionados para la fabricación de la zapata metálica.

Tabla 7. Materiales. Elaboración propia a partir de [22].

Material	Resistencia a tracción	Límite elástico	Precio	Inoxidable	Empleo
Acero Inoxidable	1600 MPa	1560 MPa	0,83 €/kilo	SI	Maquinaria, construcción, ejes
Carburo de Tungsteno	1000 MPa	1050 MPa	60.000 €/kilo	SI	Herramientas y maquinaria
Aluminuro de titanio	800 MPa	800 MPa	8.600 €/kilo	SI	Turbinas de aviones y motores
Hierro	414 MPa	246 MPa	0.16 €/kilo	NO	Herramientas y armamento

A la vista de los datos, se descarta inicialmente el hierro. Dicho componente es el más barato, sin embargo, no cumple con un requisito fundamental, la no oxidación. A continuación, ya que el resto de materiales sí son inoxidable, se valoran las capacidades de resistencia de cada uno de ellos. Por una parte, el carburo de tungsteno y el aluminuro de titanio, son dos aleaciones que presentan características muy similares, no siendo así su precio. El precio del kilogramo del primer material excede en gran medida al precio del kilogramo del segundo. Por otra parte, el acero inoxidable puede poseer una resistencia a tracción de hasta 1600 megapascales y un límite elástico de 1560 megapascales, todo ello a un costo ínfimo. Este compuesto se emplea también en la fabricación de la barcaza y torre del propio VCI Pizarro, por lo que su obtención es sencilla.

El material escogido, tras la realización del estudio anterior, para la fabricación de la pieza es el acero inoxidable. El metal presenta una resistencia a tracción y a torsión muy elevada. Además, es inoxidable, requisito indispensable para evitar su pronta degradación. Su precio es bajo, lo que significa que el gasto en recambios será menor. La elección se ve respaldada, no solo por los usos civiles de dicho elemento, maquinaria y construcción principalmente, sino también por su empleo en el mundo militar, tanto en sistemas de armas como en la producción de vehículos ligero protegidos, mecanizados y acorazados.

El resto de compuestos que han sido valorados son de gran uso en el ámbito civil, sin embargo, las cualidades que poseen no se encuentran a la altura de las del acero. Además, su precio es mucho mayor, aspecto que, debido al presupuesto que dedica el Estado a Defensa, se debe tener muy presente a la hora de llevar a cabo la elección.

5. Conclusiones y líneas futuras

A continuación se muestran las conclusiones y líneas futuras del trabajo realizado.

5.1. Conclusiones

El despliegue de la Fuerza en Letonia ha traído consigo luces y sombras al Ejército de Tierra. Por un lado, la cooperación con los distintos países miembro de la OTAN ha permitido el intercambio de perspectivas, material y experiencia. Por otra parte, el desempeño de las Unidades mecanizadas españolas se ha visto mermado al igual que su capacidad de combate y disponibilidad. Esto se debe a las exigentes condiciones tanto meteorológicas como terrenales a las que se enfrentan los contingentes desplegados cada seis meses en el país báltico, condiciones en las que no se veía envuelta la milicia desde la División Azul allá por la Segunda Guerra Mundial.

Tras haber realizado el estudio del vehículo Pizarro Fase II, obteniendo los puntos fuertes y débiles de este, así como del BMP-3 ruso, su principal competidor y enemigo; se ha obtenido la conclusión que necesita una actualización o mejora para adaptarse a los climas fríos y arenosos. Habiendo valorado tres soluciones principales para poner fin a los numerosos problemas que sufre el tren de rodaje, finalmente se ha determinado, mediante el empleo de la metodología AHP y las herramientas mencionadas anteriormente, que la mejora propuesta es la implementación de una zapata metálica.

Gracias al diseño del novedoso componente, la zapata metálica, se solucionan los siguientes problemas:

- Acumulación de sedimento en las cadenas, lo que produce la abrasión, tanto de la propia cadena como de la rueda tensora, rueda tractora y piezas pequeñas como tornillos o arandelas. La arena que se introduce en la cadena, con la pastilla de goma actual no es evacuada. Con la propuesta de mejora el agente extraño es expulsado de la cadena, evitando su depósito en el sistema motriz. Es por ello que las partes fijas y móviles de este sufren una menor fricción, aumentando su vida útil.
- Desgaste excesivo de las zapatas de goma, que debido a los movimientos en estático y pivotes se cuarteán, desmenuzándose y resultando en un vehículo inoperativo. Además, el gasto invertido en el recambio de este componente debido a su constante deterioro resulta muy alto. La erosión de las nuevas zapatas metálicas es menor que las anteriores. Gracias a las propiedades del acero inoxidable, material que compone la mejora, el dinero destinado a los recambios de esta pieza es menor.
- La sobretensión de la cadena que, con la finalidad de evitar que esta se desacople, se tensa en exceso por parte de la tripulación del vehículo, dañando el tren de rodaje completo. Evitando la acumulación de arena, los dientes que posee la oruga no saltan de su posición,

por tanto, no es necesaria la sobretensión por parte del usuario para asegurar que la cadena permanezca acoplada debidamente.

No se deben obviar las demás mejoras propuestas, segmentar la rueda tensora y el acople de un disco en dicha rueda. Estas se pueden incorporar al próximo rediseño del vehículo Pizarro y complementar a las zapatas metálicas, incrementando el rendimiento total del sistema de armas y aumentando la disponibilidad para el combate de los Batallones mecanizados.

5.2. Líneas futuras

El proceso de mejora del vehículo de combate de Infantería Pizarro se puede ver complementado, además de con las propuestas de innovación no desarrolladas anteriormente, la segmentación de la rueda tensora y la incorporación de un disco, profundizando en los siguientes puntos:

- La realización de un estudio sobre la viabilidad económica de la propuesta de mejora, así como un análisis de mercado para evaluar las empresas que pueden responder a la demanda, tanto en el aspecto de la calidad como el apartado de la cantidad.
- Conforme avance y se desarrolle la tecnología y se produzca la aparición de nuevos materiales, actualizar la composición de la zapata metálica, con la finalidad de aumentar el rendimiento del sistema de cadenas y su duración.
- Elaboración de un manual sobre las necesidades de mantenimiento del tren de rodaje del VCI Pizarro con la implementación del diseño novedoso. Las necesidades del sistema de orugas se verán afectadas tras el uso de zapatas metálicas.
- Aumentar la instrucción de la tripulación del vehículo de combate de Infantería Pizarro en ambientes gélidos y arenosos, con la intención de reducir las averías que ocurren en dichas circunstancias debido a la inexperiencia.

Referencias

- [1] Ejército de Tierra, «Recepción de los últimos 15 vehículos de combate de Infantería/Caballería 'Pizarro' en Sevilla», 2017. Disponible en: https://ejercito.defensa.gob.es/noticias/2017/06/6074_nuevos_pizarro_sevilla.html. Consultado el 13 de octubre de 2020.
- [2] Wikipedia, «Guerra Subsidiaria», 2020. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Guerra_subsidiaria. Consultado el 10 de septiembre de 2020.
- [3] Wikipedia, «Vehículo de Combate de Infantería», 2020. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_de_combate_de_infanter%C3%ADa. Consultado el 10 de septiembre de 2020.
- [4] World Defence News, «General Dynamics Awarded \$1 Billion to Upgrade LAV III Light Armoured Vehicles by Canada», 2011. Disponible en: <http://worlddefencenews.blogspot.com/2011/10/general-dynamics-awarded-1-billion-to.html>. Consultado el 13 de octubre de 2020.
- [5] Universidad de Navarra, «La Amenaza Híbrida, la Guerra Imprevisible», 2019. Disponible en: <https://www.unav.edu/web/global-affairs/detalle/-/blogs/la-amenaza-hibrida-la-guerra-imprevisible>. Consultado el 20 de septiembre de 2020.
- [6] Ejército de Tierra, «Resumen Ejecutivo Fuerza 35», 2019. Disponible en: https://ejercito.defensa.gob.es/estructura/briex_2035/resumen_ejecutivo_fuerza_35.html. Consultado el 22 de septiembre de 2020.
- [7] Wikipedia, «Letonia», 2020. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Letonia>. Consultado el 18 de octubre de 2020.
- [8] Ejército de Tierra, «Fuerza 2035», 2019. Disponible en: https://ejercito.defensa.gob.es/ca/Galerias/Descarga_pdf/EjercitoTierra/Publicaciones/fuerza_35.pdf. Consultado el 22 de septiembre de 2020.
- [9] Google Sketch Up, última actualización en 2019. Disponible en: <https://www.sketchup.com/es>. Consultado el 19 de septiembre de 2020.
- [10] QFD Institute, «Analytic Hierarchy Process», 2010. Disponible en: http://www.qfdi.org/workshop_ahp.htm. Consultado el 16 de octubre de 2020.
- [11] TDX, «Ingeniería del Diseño», 2010. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6837/05Jcb05de16.pdf?sequence=5&isAllowed=y>. Consultado el 16 de octubre de 2001.

- [12] Ministerio de Defensa, «Programa Vehículo de Combate Pizarro», 2019. Disponible en: <https://www.defensa.gob.es/Galerias/dgamdocs/programa-PIZARRO.pdf>. Consultado el 10 de septiembre de 2020.
- [13] Infodefensa, «Presente y Futuro de los Medios Acorazados Españoles», 2010. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/wp-content/uploads/Perfiles-IDS-Medios-Acorazados-1.pdf>. Consultado el 12 de septiembre de 2020.
- [14] Sargento Don Manuel Flores Leal, «Informe con Motivo del Estado del Tren de Rodaje», 2019.
- [15] Zona Militar, «VCI-ASCOD Pizarro», 2008. Disponible en: <https://www.zona-militar.com/foros/threads/vci-ascod-pizarro-con-el-tam-se-podra-hacer-algo-similar.15236/>. Consultado el 17 de octubre de 2020.
- [16] Wikipedia, «Suspensión Christie», 2020. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Suspensi3n_Christie. Consultado el 19 de septiembre de 2020.
- [17] Fav-club, «Vehículo Blindado de Combate de Infantería BMP-3», 2013. Disponible en: <https://www.fav-club.com/2013/12/11/vehiculo-blindado-de-combate-de-infanteria-bmp-3/>. Consultado el 15 de septiembre de 2020.
- [18] Sergio A. Berumen, Francisco Llamazares Redondo, «La Utilidad de los Métodos de Decisión Multicriterio en un Entorno de Competitividad Creciente», 2007. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/205/20503404.pdf>. Consultado el 16 de septiembre de 2020.
- [19] Thomas Saaty, «Multi-criteria Decision Analysis», 1997. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/%28SICI%291099-1360%28199711%296%3A6%3C324%3A%3AAID-MCDA167%3E3.0.CO%3B2-Q>. Consultado el 16 de octubre de 2020.
- [20] TDX.CAT, «Ingeniería del Diseño», 2020. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6837/05Jcb05de16.pdf?sequence=5&isAllowed=y>. Consultado el 17 de octubre de 2020.
- [21] Interempresas, «Diseño de Banda de Rodadura en Neumáticos Agrícolas», 2020. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Agricola/Articulos/253745-Diseno-de-banda-de-rodadura-en-neumaticos-agricolas.html> . Consultado el 26 de septiembre de 2020.
- [22] Unicoos, «¿Cuáles Son los 10 Metales Más Fuertes de la Tierra?», 2020. Disponible en: <https://www.unicoos.com/blog/metales-mas-fuertes-de-la-tierra/> . Consultado el 26 de septiembre de 2020.

- [23] Ejército de Tierra, «Regimiento de Infantería», 2020. Disponible en: https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Badajoz/bri_extremadura_xi/Organizacion/RI_6/RI_SAB_OYA.html. Consultado el 26 de septiembre de 2020.
- [24] Military Review, «Familia de vehículos blindados ASCOD (Austria / España)», 2015. Disponible en: <https://es.topwar.ru/88010-semeystvo-bronetehniki-ascod-avstriya-ispaniya.html>. Consultado el 12 de octubre de 2020.
- [25] Perfiles Militares, «BMP-3», 2013. Disponible en: <https://perfilesmilitares.wordpress.com/2013/12/01/bmp-3/>. Consultado el 15 de septiembre de 2020.
- [26] Tatjana Atasanova, «Analytical Hierarchical Process (AHP) Method Application in the Process of Selection and Evaluation», 2014. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/276985609_ANALYTICAL_HIERARCHICAL_PROCESS_AHP_METHOD_APPLICATION_IN_THE_PROCESS_OF_SELECTION_AND_EVALUATION. Consultado el 1 de octubre de 2020.
- [27] AHP Priority Calculator, última actualización en 2019. Disponible en: <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php?n=3&t=AHP+priorities&c%5b0%5d=r&c%5b1%5d=m&c%5b2%5d=d>. Consultado el 1 de octubre de 2020.
- [28] Giovanni Torres Charry, «Diseño en Ingeniería», 2013. Disponible en: <https://es.slideshare.net/torresgiovanni/diseo-de-productos-diseo-en-ingeniera>. Consultado el 17 de octubre de 2020.

Anexos

Anexo A: Organigrama del Regimiento de Infantería «Saboya» 6

En este primer anexo se muestra el organigrama del Regimiento de Infantería «Saboya» 6, el cual posee un Batallón de Infantería mecanizada, el Batallón Cantabria, y un Batallón de Infantería Protegida (BIP), el Batallón Las Navas, además de la Plana de Mando. El primero de estos emplea como medio el VCI Pizarro y el segundo TOA. El Batallón Cantabria posee tres Compañías (Cía) de Fusiles y una Compañía de Apoyo. Entre la primera, segunda y tercera suman veintisiete vehículos de combate de Infantería Pizarro.

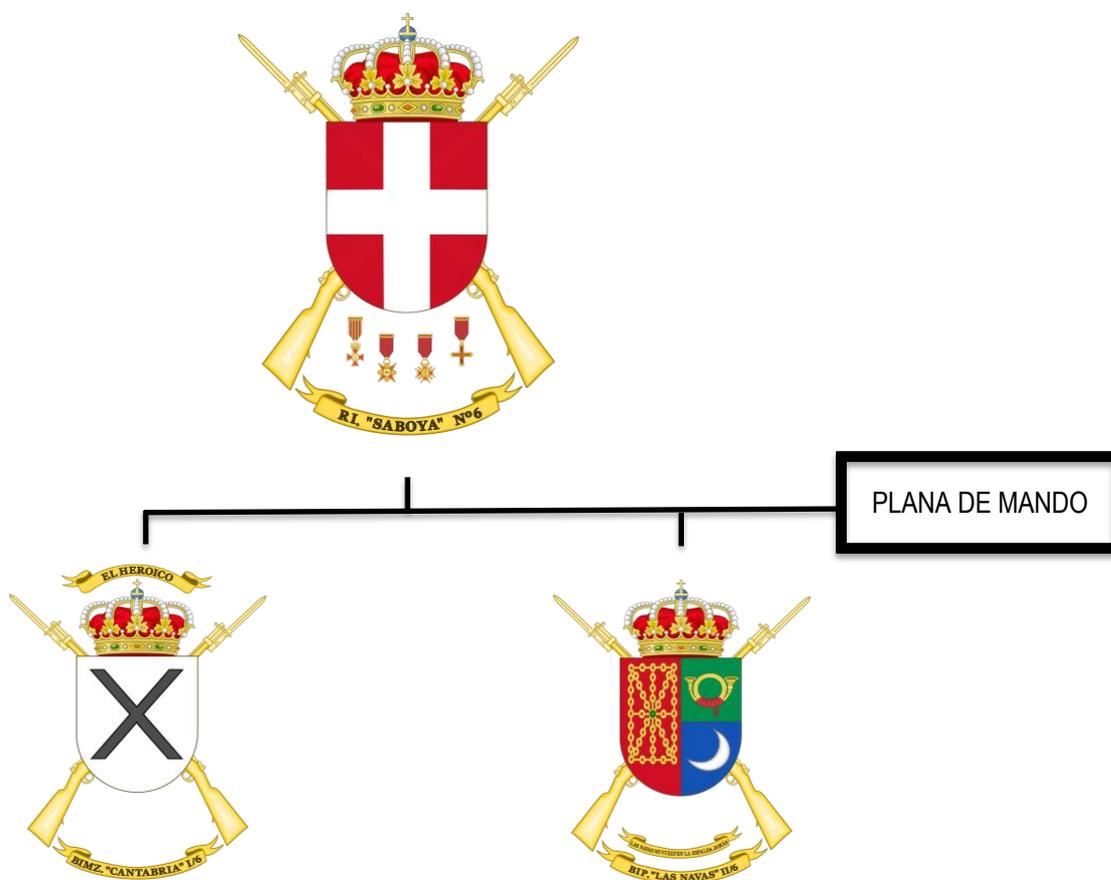


Ilustración 21. Organigrama del Regimiento de Infantería «Saboya» 6. Elaboración propia a partir de [23].

Anexo B: Perfil, Planta y Alzado del VCI Pizarro

A continuación, se muestra de forma detallada el aspecto del VCI Pizarro.

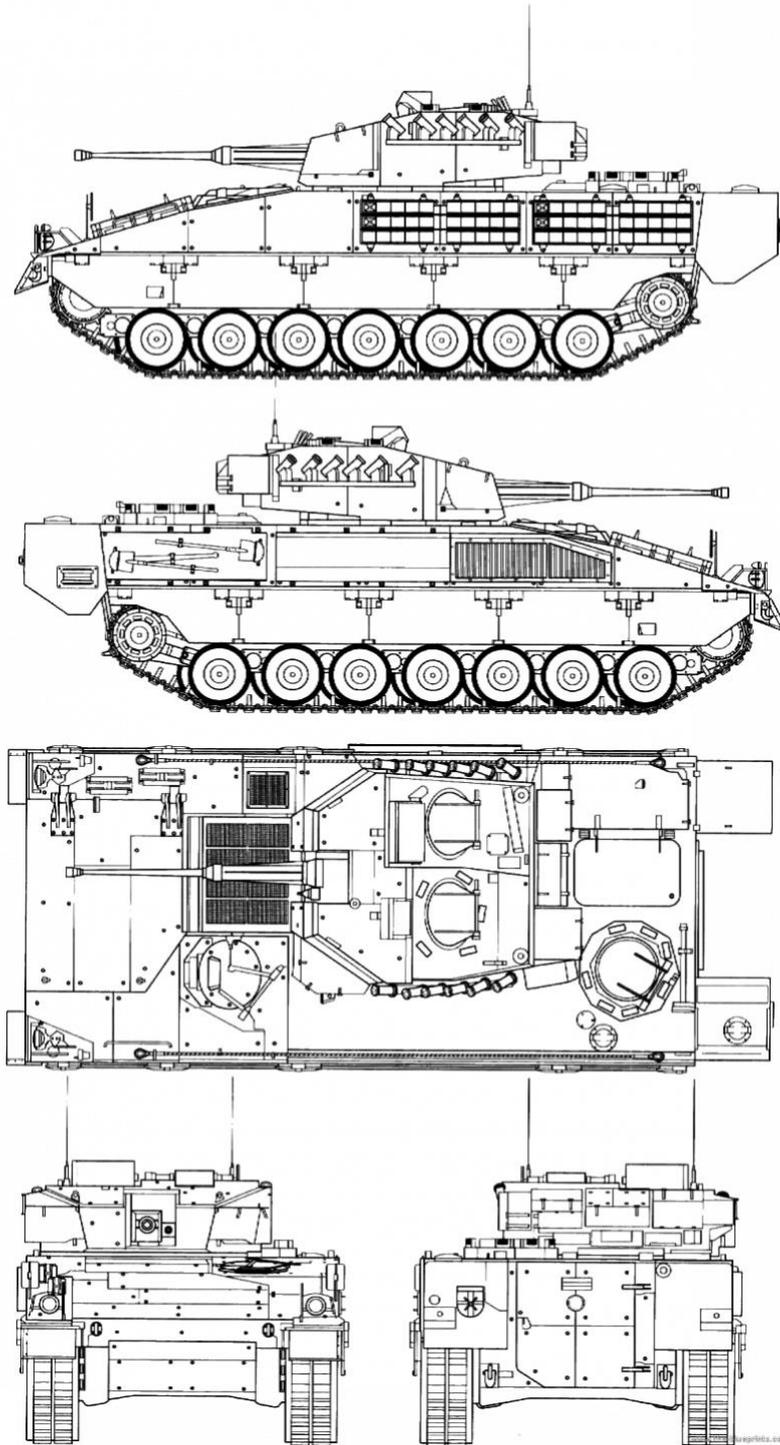


Ilustración 22. Perfil, planta y alzado del VCI Pizarro. Fuente [24].

Anexo C: Perfil, Planta y Alzado del VCI BMP-3



Ilustración 23. Perfil, planta y alzado del BMP-3. Fuente [25]

Anexo D: Encuesta

La encuesta que aparece a continuación fue realizada de forma presencial a cincuenta oficiales y suboficiales pertenecientes al Batallón mecanizado Cantabria. Todos ellos tienen varios años de experiencia acumulada además de, como mínimo, una estancia de seis meses en Letonia de misión. Gracias a los resultados obtenidos se alcanzan conclusiones que favorecen la realización de una propuesta de mejora para el tren de rodaje del VCI Pizarro.

1. ¿Cree que es necesaria la mejora del VCI Pizarro?

- SI.
- NO.

En caso de responder afirmativamente indique la necesidad de la mejora con un valor del 1 al 10, siendo 1 prácticamente innecesario y 10 muy necesario.

2. ¿Qué parte cree que es necesaria mejorar del VCI Pizarro?

- La torre.
- El tren de rodaje.
- La barcaza.

Ordene las tres opciones otorgando valores de mayor a menor prioridad, siendo 1 el más prioritario y 3 el menos prioritario.

3. ¿Qué parte cree que es necesaria mejorar del tren de rodaje?

- Las zapatas incorporando unas nuevas zapatas metálicas.
- La rueda tractora mejorando su diseño.
- La rueda tensora colocando un disco y/o segmentándola.
- Las ruedas de marcha.

Ordene las cuatro opciones otorgando valores de mayor a menor prioridad, siendo 1 el más prioritario y 4 el menos prioritario.

4. ¿Qué aspectos se perfeccionarían en caso de implementar la mejora?

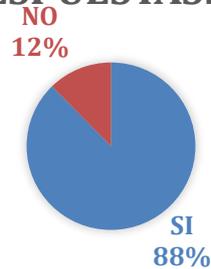
- El rendimiento en terrenos arenosos.
- El gasto en recambios.
- La durabilidad del tren de rodaje.
- La sencillez del tren de rodaje.

Ordene las cuatro opciones otorgando valores de mayor a menor prioridad, siendo 1 el más prioritario y 4 el menos prioritario.

Anexo E: Resultados de la Encuesta

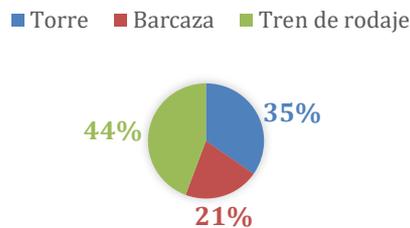
1. ¿Cree que es necesaria la mejora del VCI Pizarro?

RESPUESTAS:50



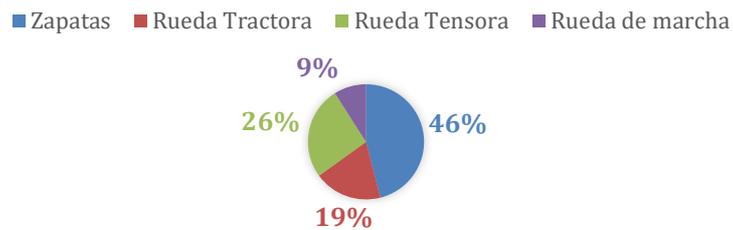
2. ¿Qué parte cree que es necesaria mejorar del VCI Pizarro?

RESPUESTAS:50



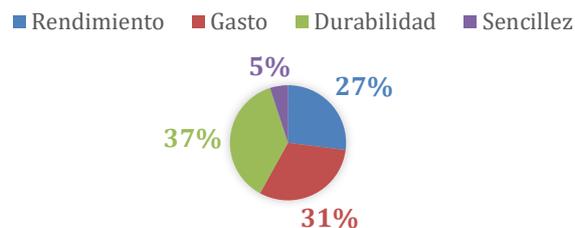
3. ¿Qué parte cree que es necesaria mejorar del tren de rodaje?

RESPUESTAS:50



4. ¿Qué aspectos se perfeccionarían en caso de implementar la mejora?

RESPUESTAS:50



Anexo F: Analytic Hierarchy Process

En este anexo se muestra una descripción extendida del método de decisión multicriterio AHP [26]. Existen distintos softwares para la aplicación de esta metodología, de los cuales no se disponía para la realización del trabajo, por lo que se hizo uso de un programa online [27].

La metodología AHP cuenta con las siguientes partes:

- **Representación del problema:**

En la primera etapa se identifica el problema que se pretende solucionar, así como las posibles alternativas y los criterios bajo los que se debe alcanzar la solución. Un criterio es aquello que condiciona la elección de las distintas alternativas o soluciones. Todo ello se representa gráficamente mediante el árbol que se muestra a continuación.

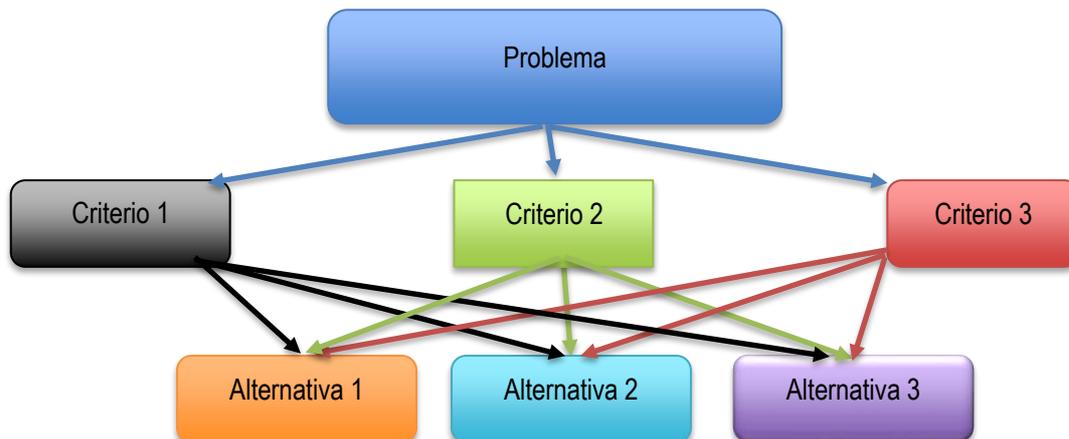


Ilustración 24. Árbol metodología AHP. Elaboración propia

- **Valoración de los criterios:**

En la siguiente fase, un grupo de expertos determina la importancia, de forma numérica, entre los distintos criterios representados anteriormente. Esto se lleva a cabo mediante la Escala de Saaty.

Tabla 8. Escala de Saaty. Elaboración propia a partir de [17].

Valor	Definición
1	Igual importancia
3	Importancia moderada de A sobre B
5	Importancia grande de A sobre B
7	Importancia muy grande de A sobre B
9	Importancia únicamente de A

Tras realizar una comparación por pares entre los distintos objetivos se obtiene una matriz de valoración de criterios.

Tabla 9. Matriz de valoración de criterios. Elaboración propia.

A \ B	B	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Criterio 1		1	X	X
Criterio 2		X	1	X
Criterio 3		X	X	1

Los valores de esta tabla en la diagonal son siempre uno ya que surgen de comparar el criterio consigo mismo. Para continuar, se obtiene una matriz, a partir de un software o programa, con las ponderaciones numéricas de los criterios establecidos, además de su ordenación por importancia.

Tabla 10. Matriz de ponderación de criterios. Elaboración propia.

Criterio	Observación	Peso %	Ordenación
Criterio 1		X %	1
Criterio 2		X %	2
Criterio 3		X %	3

- **Evaluación y jerarquización de las alternativas:**

A continuación, se realiza el mismo proceso que en la fase anterior pero esta vez con las distintas alternativas propuestas. Primeramente, se evalúan las posibles soluciones, una vez más a partir de la Escala de Saaty, obteniendo una matriz de valoración de alternativas.

Tabla 11. Matriz de valoración de alternativas. Elaboración propia.

A \ B	B	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1		1	X	X
Alternativa 2		X	1	X
Alternativa 3		X	X	1

Los valores de esta tabla en la diagonal vuelven a ser, una vez más, la unidad. De ella surge la matriz de ponderación de alternativas en la que aparecen los valores numéricos de las distintas soluciones, así como su ordenación por importancia.

Tabla 12. Matriz de ponderación de alternativas. Elaboración propia.

Alternativa	Observación	Peso %	Ordenación
Solución 1		X %	1
Solución 2		X %	2
Solución 3		X %	3

De la aplicación de esta herramienta se concluye la alternativa prioritaria, es decir, aquella que se debe llevar a cabo.

Anexo G: Ingeniería de Diseño, Modelo de Pahl y Beitz

El Modelo de Pahl y Beitz tiene como objetivo, a partir de distintas etapas, alcanzar una solución de diseño de una pieza. El proceso se halla dividido en cuatro módulos lo que simplifica este mismo. Las distintas partes son; clarificar la tarea, obtener un diseño conceptual, alcanzar un diseño para dar forma y especificar los detalles. Finalmente se debe alcanzar la solución.

Inicialmente se identifica el problema, clarificando la necesidad de información y elaborando la especificación. Una vez recabados los requerimientos y las restricciones de la pieza a modelar se prosigue con la fase de diseño conceptual. Se perfilan las ideas de forma generalista, buscando solucionar los problemas principales, además de ser evaluado por criterios técnicos y económicos. De todo ello surge el concepto inicial.

Después se pasa a la etapa de diseño para dar forma, en la que aparece un diseño preliminar que se mejora según los criterios establecidos inicialmente hasta obtener un arreglo preliminar. Tras concluir con el diseño inicial, este se verifica según criterios técnicos, optimizando su forma y documentando los detalles de producción. Por último, se alcanza el modelado definitivo, completado con los detalles y su documentación adecuada, obteniendo así la solución al problema inicial [28].