



Estudio del acoplamiento mecánico del sistema de artillería del prototipo funcional “KAMAZ BM-21”

Lara Molina, Víctor Ángel y Veloz Anatoa, Germán Gustavo

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Ing. Castellanos Villa, Santiago David PhD

10 de septiembre de 2021

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

Tesis



NOMBRE DEL ALUMNO

GERMAN GUSTAVO VELOZ ANATOA

NOMBRE DEL ARCHIVO

GERMAN GUSTAVO VELOZ ANATOA - Documento sin título

SE HA CREADO EL INFORME

10 sept 2021

Resumen

Fragmentos marcados	12	2 %
Fragmentos citados o entrecomillados	9	1 %

Coincidencias de la Web

issuu.com	7	1 %
academia.edu	8	0,7 %
xdoc.es	1	0,2 %
ssab.es	2	0,2 %
docplayer.es	2	0,2 %
ups.edu.ec	1	0,1 %

1 de 21 fragmentos

Fragmento del alumno CITADO

...del CG, se tomó como referencia el proyecto técnico **“Diseño y construcción de un banco para la determinación del centro de gravedad y transferencia de pesos en vehículos livianos**

Mejor coincidencia en la Web

Diseño y construcción de un banco para la determinación del centro de gravedad y transferencia de pesos en vehículos livianos. Para citar o enlazar este item, por favor use el siguiente identificador:...

Diseño y construcción de un banco para la determinación del centro
... <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14267>

2 de 21 fragmentos

Fragmento del alumno CITADO

12 **Velocidad de puntería por medio del mando eléctrico en dirección** 7 [grad/s]



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Estudio del acoplamiento mecánico del sistema de artillería del prototipo funcional KAMAZ BM-21**” fue realizado por los señores **Lara Molina, Víctor Ángel y Veloz Anatoa, Germán Gustavo**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de septiembre de 2021



Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO DAVID
CASTELLANOS
VILLA

.....
Ing. Castellanos Villa, Santiago David PhD

C. C 171696260-8



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Lara Molina, Víctor Ángel y Veloz Anatoa, Germán Gustavo**, con cédulas de ciudadanía n° 175278108-6 y 172190460-3, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “**Estudio del acoplamiento mecánico del sistema de artillería del prototipo funcional KAMAZ BM-21**”, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 10 de septiembre de 2021

Lara Molina, Víctor Ángel

C. C 175278108-6

Veloz Anatoa, Germán Gustavo

C. C 172190460-3



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Lara Molina, Víctor Ángel y Veloz Anatoa, Germán Gustavo**, con cédulas de ciudadanía n° 175278108-6 y 172190460-3, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**Estudio del acoplamiento mecánico del sistema de artillería del prototipo funcional KAMAZ BM-21**”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 10 de septiembre de 2021

Lara Molina, Víctor Ángel

C. C 175278108-6

Veloz Anatoa, Germán Gustavo

C. C 172190460-3

Dedicatoria

Este trabajo de titulación va dedicado a mis padres Margarita Molina y Hernán Lara quienes me han apoyado cada día de mi vida, me han sabido educar y formar con los mejores principios para ser una persona responsable e integra, gracias por todas las veces que me dieron sus palabras de ánimo para seguir adelante en los momentos más difíciles, todo este sacrificio y esfuerzo ha sido por y para ustedes. A mi hermano que siempre me ha acompañado, para el cual espero ser un gran ejemplo y guía en su camino por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. A todas aquellas personas, amigos y familiares que creyeron y confiaron en que llegaría a cumplir esta meta.

Lara Molina, Víctor Ángel

A Dios por darme la oportunidad de vivir cada día.

A mi querida esposa por brindarme su apoyo incondicional en la consecución de este objetivo.

A mis hijos por ser mi motivación para superarme cada día.

A mis queridos padres por apoyarme incondicionalmente.

Veloz Anatoa, Germán Gustavo

Agradecimiento

Agradezco a Dios por permitirme cumplir con éxito esta meta y bendecirme con todas las oportunidades que me ha dado hasta ahora. A mis padres y hermano, que me han acompañado durante toda mi trayectoria académica apoyándome incondicionalmente en todos los objetivos que me he propuesto.

A nuestro tutor y docentes por la guía brindada a lo largo de la carrera en cada asignatura y en el desarrollo del presente trabajo.

A mis compañeros y amigos con los que nos hemos apoyado mutuamente y con los que hemos pasado gratos momentos.

Al Ejército ecuatoriano por la oportunidad y confianza brindada para la ejecución de este proyecto de titulación.

A mi colegio Juan Pío Montúfar que supo formarme con las bases necesarias para poder afrontar con éxito esta etapa universitaria.

Lara Molina, Víctor Ángel

A mi esposa por haber estado día y noche apoyándome en mi formación académica, a mis hijos por inspirarme a ser mejor cada día, a mis padres y hermanos por apoyarme en todo momento. Y lo más importante agradezco a Dios por darme la sabiduría, paciencia y determinación para alcanzar este objetivo.

Veloz Anatoa, Germán Gustavo

Índice de contenidos

<i>Dedicatoria</i>	6
<i>Agradecimiento</i>	7
<i>Índice de contenidos</i>	8
<i>Índice de tablas</i>	10
<i>Índice de figuras</i>	11
<i>Resumen</i>	13
<i>Abstract</i>	14
Capítulo I Introducción	15
Antecedentes	15
Definición del problema	15
Objetivos.....	16
Alcance	17
Justificación del proyecto	17
Capítulo II Metodología	19
Metodología para el estudio técnico de los sistemas y subsistemas Ural BM-21, Ural-375D y KAMAZ 43118.....	19
Metodología para la modelación 3D	19
Metodología para la caracterización de los materiales.....	19
Metodología para la simulación.....	24
Capítulo III Desarrollo	25

Estudio técnico de los sistemas y subsistemas del Ural BM-21, Ural-375D y KAMAZ 43118.....	25
Modelación 3D.....	49
Caracterización de materiales.....	49
Simulación.....	54
Capítulo IV Análisis	58
Análisis del estudio técnico.....	58
Capítulo V Conclusiones y recomendaciones	59
Conclusiones.....	59
Recomendaciones	60
Referencias	61
ANEXOS.....	63

Índice de tablas

Tabla 1	Datos técnicos del sistema de artillería BM-21	29
Tabla 2	Datos técnicos del proyectil M 21 OF	35
Tabla 3	Características técnicas del vehículo Ural-375D.....	38
Tabla 4	Características del motor ZIL-375YA.....	38
Tabla 5	Características técnicas Ural-375D	39
Tabla 6	Características técnicas del vehículo KAMAZ 43118	41
Tabla 7	Características del motor 740.62-280.....	42
Tabla 8	Características técnicas KAMAZ 43118	43
Tabla 9	Material del bastidor	44
Tabla 10	Aplicación de volquete.....	46
Tabla 11	Aplicaciones del vehículo KAMAZ en el sector petrolero	47
Tabla 12	Especificaciones técnicas de los vehículos Ural-375D y KAMAZ 43118.....	48
Tabla 13	Ubicación de los tirantes de sujeción	49
Tabla 14	Comparación de pruebas normales de dureza.....	53
Tabla 15	<i>Elementos involucrados en la simulación.....</i>	55

Índice de figuras

Figura 1 Sierra de cinta semiautomática.....	20
Figura 2 Espectrómetro de Chispa.....	20
Figura 3 Rectificadora	21
Figura 4 Pulidora manual	21
Figura 5 Pulidora circular	22
Figura 6 Microscopio óptico	22
Figura 7 Máquina de ensayos universales	23
Figura 8 Microscopio de herramientas	24
Figura 9 Sistema de lanzamiento múltiple Ural BM-21	26
Figura 10 Variantes de vehículos BM-21.....	27
Figura 11 Grifo de dos pasos ubicado en la cabina.	30
Figura 12 Cámara de freno y juego de mangueras.....	31
Figura 13 Partes del sistema de artillería Ural BM-21	33
Figura 14 Dispositivo de puntería.....	34
Figura 15 Munición M 21 OF	36
Figura 16 Dimensiones del Ural-375D	37
Figura 17 Dimensiones del KAMAZ 43118	40
Figura 18 Placa del vehículo KAMAZ.....	40
Figura 19 Aplicaciones del KAMAZ.....	45
Figura 20 Ataque químico y visualización de la metalografía	50
Figura 21 Partes del tirante de sujeción para el análisis de la metalografía.....	51

Figura 22 Diagrama hierro - carbono	52
Figura 23 <i>Indentaciones del tirante de sujeción</i>	53
Figura 24 Tirante de sujeción en el microscopio de herramientas.....	54
Figura 25 Ensamble para simulación	57

Resumen

En el año 2018, el Grupo de Lanzadores Múltiples N°80 “CALDERÓN” (GALM-80) desarrolló el prototipo funcional “KAMAZ BM-21”, el cuál consiguió resultados positivos en varios escenarios de desplazamientos y misiones de tiro en sus primeras pruebas de validación experimental. Sin embargo, en el desarrollo de este prototipo no fueron realizados respaldos técnicos de este modelo. En tal razón, fue necesario realizar un estudio más profundo de los acondicionamientos realizados por el GALM-80, con el fin de obtener información técnica que permita evaluar los trabajos que se realizaron por dicho personal técnico.

Dentro de las modificaciones que se realizaron existieron actividades como la fabricación, modificación o soldadura de algunas piezas. Esto obligó a realizar análisis metroológicos de las piezas fabricadas, así como, caracterización, composición química y metalografías de los materiales originales, con la finalidad de determinar materiales con propiedades mecánicas similares al material original. Con la ayuda del software de diseño y simulación SOLIDWORKS se realizó un modelamiento 3D de los elementos mecánicos más importantes, esto con la finalidad de desarrollar una simulación numérica de las cargas que actúan sobre el chasis del vehículo KAMAZ 43118, para determinar el esfuerzo máximo y el factor de seguridad, con el que están trabajando los elementos estructurales del prototipo.

Palabras claves

- **PROTOTIPO “KAMAZ BM-21”**
- **MODELACIÓN 3D**
- **CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES**
- **SIMULACIÓN**

Abstract

In 2018, the Multiple Launcher Group No. 80 "CALDERÓN" (GALM-80) developed the functional prototype "KAMAZ BM-21", which achieved positive results in various travel scenarios and firing missions in its first experimental validation tests. However, in the development of this prototype, technical endorsements of this model were not made. For this reason, it was necessary to carry out a more in-depth study of the refurbishments carried out by the GALM-80, in order to obtain technical information that allows evaluating the work carried out by said technical personnel.

Among the modifications that were made, there were activities such as the manufacture, modification or welding of some parts. This required metrological analysis of the manufactured parts, as well as characterization, chemical composition and metallography of the original materials, in order to determine materials with mechanical properties similar to the original material. With the help of the SOLIDWORKS design and simulation software, a 3D modeling of the most important mechanical elements was carried out, this in order to develop a numerical simulation of the loads that act on the chassis of the KAMAZ 43118 vehicle, to determine the maximum effort and the safety factor, with which the structural elements of the prototype are working.

Keywords

- **PROTOTYPE "KAMAZ BM-21"**
- **3D MODELING**
- **CHARACTERIZATION OF MATERIALS**
- **SIMULATION**

Capítulo I Introducción

Antecedentes

La ingeniería mecánica con el pasar del tiempo ha tomado fuerza en los campos del diseño, simulación, en la industria de procesos y manufactura, energías alternativas, de construcción y en el campo militar. Considerando que el Ingeniero de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” es un profesional inmiscuido en el ámbito militar; el presente proyecto plantea realizar el estudio, análisis y verificación del acoplamiento del sistema de arma BM-21 que se trasladó del vehículo Ural-375D al camión multipropósito KAMAZ 43118; ubicado actualmente en los laboratorios de procesos de manufactura de la Universidad.

Este trabajo previo a la obtención del título de ingeniero mecánico, pretende llevar acabo la validación de los cambios que se realizaron en el acoplamiento mecánico del sistema de artillería debido a la antigüedad de la parte automotriz del vehículo Ural-375D. La evaluación de las modificaciones del dispositivo se las llevará a cabo a partir de la recopilación bibliográfica y de información técnica de los sistemas y subsistemas del lanzador múltiple BM-21 original.

Posteriormente, se determinarán las propiedades de los materiales de los que están fabricadas las piezas y elementos necesarios para el ensamblaje y funcionalidad del prototipo “KAMAZ BM-21”.

Definición del problema

En el año 2008, se realizaron trabajos de repotenciación de la parte automotriz al reemplazarse los motores de gasolina con motores diésel, sin embargo, al paso de pocos años se comprobó que este trabajo fue insuficiente, ya que sistemas y subsistemas del vehículo Ural-375D presentaron problemas constantes.

Luego de 10 años de su repotenciación, en 2018, y tras 40 años de su creación, los vehículos Ural-375D fueron sometidos a una nueva inspección de la parte automotriz, donde se determinó que los trabajos para recuperar este material no fueron suficientes, ya que posteriormente a estos trabajos, se presentaron importantes daños mecánicos en el automotor, tales como: sistema de frenos, sistema eléctrico, sistema admisión y escape, sistema hidráulico, llantas con especificaciones exclusivas que no existen en el mercado ya que se discontinuó su fabricación.

Para solucionar esta serie de problemas, el GALM-80 emprende un proyecto en el cual se realiza un prototipo experimental que acople un vehículo táctico de combate con el sistema de armas del vehículo BM-21. Este proyecto fue desarrollado con personal técnico del Grupo de Lanzadores Múltiples N°80 "CALDERÓN".

Como resultado de este proyecto se pudo desarrollar un prototipo funcional el cual fue probado en varios escenarios de desplazamiento y también en misiones de tiro, las cuales han tenido resultados satisfactorios.

Sin embargo, a pesar de los resultados positivos, se presenta la necesidad de desarrollar un estudio más profundo de este acondicionamiento con la finalidad de generar información técnica, que respalde el trabajo realizado.

Objetivos

General

Desarrollar la ingeniería inversa del acoplamiento mecánico del prototipo funcional KAMAZ BM-21.

Específicos

- Evaluar las características técnicas del prototipo funcional KAMAZ BM-21.
- Obtener datos e información funcional de los componentes mecánicos del acoplamiento del sistema de arma.
- Generar información técnica acerca del acoplamiento mecánico del sistema de artillería BM-21 en el vehículo KAMAZ 43118.

Alcance

El proyecto en mención tiene como fin proporcionar la documentación técnica a través de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en las diferentes asignaturas; el objeto de la memoria técnica proporcionada es dar el soporte requerido al trabajo realizado por parte de la unidad GALM-80.

Al tratarse del estudio de un prototipo funcional, se busca verificar que las variaciones y los elementos utilizados en dicho prototipo fueron los adecuados; para poder otorgar la denominación de “prototipo experimental”.

Justificación del proyecto

Una vez llevados a cabo los análisis y respectivas pruebas, se determina que el prototipo funcional desarrollado tiene una viabilidad prometedora. Sin embargo, en el desarrollo de este modelo debido a su carácter funcional, no fueron realizadas algunas actividades propias de una siguiente etapa, tales como diseños técnicos, análisis experimental del comportamiento del sistema de artillería en el vehículo y viceversa. Estas actividades son imperantes y complementarias para el desarrollo del sistema de arma y del vehículo.

Por consiguiente, se presenta la necesidad de realizar estas actividades, lo que permitirá replicar este procedimiento de acoplamiento en otros camiones tácticos, mejorando de manera sustancial la capacidad operativa del sistema de artillería del Ejército ecuatoriano.

Capítulo II Metodología

El presente capítulo explica las actividades y equipos que fueron necesarios para el desarrollo de cada apartado: Estudio técnico de los sistemas y subsistemas Ural-375D y KAMAZ 43118, Modelación 3D, Caracterización de materiales y Simulación.

Metodología para el estudio técnico de los sistemas y subsistemas Ural BM-21, Ural-375D y KAMAZ 43118.

Este apartado analiza toda la información proporcionada por la Fuerza Terrestre y el personal técnico del GALM-80 con el objetivo de reconocer los sistemas y subsistemas del Ural BM-21, determinando cuales de estos están involucrados en el acoplamiento. Además, presenta una recopilación bibliográfica de las características técnicas más importantes de los vehículos involucrados en el estudio: Ural-375D & KAMAZ 43118.

Metodología para la modelación 3D

El modelamiento en tres dimensiones de los componentes mecánicos del sistema está realizado mediante el uso del software de diseño y simulación SOLIDWORKS. Todos los elementos modelados están dimensionados mediante el uso de varios equipos o instrumentos de medición convencionales seleccionados según las características físicas y geométricas de cada pieza.

Metodología para la caracterización de los materiales

La muestra para la caracterización de los materiales ha sido obtenida a partir de un pedazo del material original mediante el corte con una sierra de cinta semiautomática marca OPTIMUM modelo S300 DG Vario (**Figura 1**).

Figura 1

Sierra de cinta semiautomática



Luego de esto la muestra fue sometida a un ensayo por espectrometría de chispa donde se realizó un análisis químico de los componentes de la muestra mediante un espectrómetro de chispa marca BRUKER, modelo Q4 TASMAN (**Figura 2**), esto permitió determinar el material original y el acero que puede reemplazarlo.

Figura 2

Espectrómetro de Chispa



Nota. Tomado de <https://www.directindustry.com/prod/bruker-axs-gmbh/product-30028-1693500.html>.

Metalografía y ensayo de dureza

Posteriormente la muestra fue rectificada con una rectificadora marca JONES-SHIPMAN modelo 1400 con una rueda abrasiva grano 60 (**Figura 3**) y pulida manualmente con lijas de agua número 600, 1000, 1200 y 1500 (**Figura 4**). Por último, fue utilizada la pulidora circular (**Figura 5**) de muestras metalográficas con alúmina.

Figura 3

Rectificadora



Figura 4

Pulidora manual



Figura 5

Pulidora circular



La muestra fue atacada químicamente con Nital al 3% con el fin de revelar la microestructura del acero, para así poder observarla con un microscopio óptico (**Figura 6**) del laboratorio de ciencias de materiales, se tomó un registro fotográfico de las muestras tanto en el centro como en el borde para poder identificar posibles variaciones en la microestructura que indicarían un tratamiento térmico superficial de la muestra.

Figura 6

Microscopio óptico



Nota. El microscopio óptico permite observar muestras metalográficas con aumento de 10x, 20x, 50x y 100x.

Como complemento a este análisis se realizó un ensayo de dureza utilizando la máquina de ensayos universales marca AMSLER, modelo FM-1033 (**Figura 7**) del laboratorio de mecánica de materiales, para esto se realiza 3 indentaciones de 15 [s] con esfera de 10 [mm] de diámetro y carga de 1500 [kg].

Figura 7

Máquina de ensayos universales



Finalmente se determinó el diámetro de las indentaciones realizadas con ayuda del microscopio de herramientas marca CARL ZEISS JENA (**Figura 8**) del laboratorio de metrología para así calcular la dureza de cada material por medio de la ecuación (1) tomada del libro de Askeland.

$$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]} \quad (1)$$

Donde:

HB = Dureza, HB

P = Carga aplicada, kg

D = Diámetro de la esfera, mm

d = Diámetro indentado, mm

Figura 8*Microscopio de herramientas***Metodología para la simulación**

De todos los elementos modelados se seleccionó aquellos que están sometidos a esfuerzos generados por el acoplamiento del sistema de artillería en el vehículo KAMAZ 43118, dando como resultado una simulación numérica cercana a la realidad. Se ensambló todos los componentes con ayuda de relaciones de posición del software SOLIDWORKS, asignando un acero aleado como material de todos los elementos con límite de elasticidad de 620 [MPa], tomando como referencia las propiedades mecánicas del acero 600MC del que está fabricado el chasis mismo que tiene un límite de elasticidad de 600 [MPa]. Las conexiones utilizadas entre los elementos fueron: conexión de unión rígida y conexión sin penetración dependiendo del caso. Se aplicó sujeciones fijas en algunos elementos y se calculó la carga generada por el sistema de artillería en cada uno de los puntos de apoyo del chasis, también se consideró la gravedad para que el software asigne el peso propio de todos los elementos en el análisis. Para el primer resultado se trabajó con el mallado estándar, luego de esto se pudo reconocer el elemento más crítico y se realizó un análisis de convergencia en los resultados con un refinamiento de malla progresivo.

Capítulo III Desarrollo

En este capítulo se identifica los sistemas y subsistemas de Ural BM-21 y las características técnicas del Ural-375D y KAMAZ 43118.

Se realizó un modelamiento 3D en el software SOLIDWORKS, de todas las piezas necesarias para generar un ensamble del KAMAZ BM-21, de éstas piezas se identificó aquellas que fueron modificadas.

Al realizar el acoplamiento del sistema de artillería al vehículo KAMAZ 43118, el chasis del vehículo se somete a esfuerzos producidos por el acoplamiento, por lo tanto, se realizó una simulación numérica utilizando únicamente las piezas que están sometidas a cargas, para determinar el rango de esfuerzos al que está sometido el chasis del KAMAZ 43118.

Estudio técnico de los sistemas y subsistemas del Ural BM-21, Ural-375D y KAMAZ 43118.

Se describen los sistemas y subsistemas del Ural BM-21, Ural-375D y KAMAZ 43118, así como las características técnicas más importantes de cada vehículo, que permiten identificar las prestaciones de cada uno.

Ural BM-21

El sistema de cohetes de lanzamiento múltiple Ural BM-21 (**Figura 9**), es un sistema de uso militar que entró en servicio con el ejército soviético en 1963, cuya finalidad es proporcionar apoyo general y refuerzo de fuegos, a las unidades de artillería (Ejército Ecuatoriano, 2009).

Figura 9

Sistema de lanzamiento múltiple Ural BM-21



Nota. Ural BM-21 en desfile militar. Tomado de Manual de técnicas de artillería (p. 30), por Ejército Ecuatoriano, 2009, Escart.

Se produjo durante un largo período de tiempo en grandes cantidades tanto para el ejército soviético como para los clientes de exportación, además, de acuerdo con las necesidades de cada ejército, se le ha realizado numerosas variantes, copias y modificaciones (**Figura 10**) (Ejército Ecuatoriano, 2009).

Figura 10

Variantes de vehículos BM-21



Nota. a) Versión original, b) Versión ejército peruano en un camión Man, c) Versión ejército ucraniano en un camión Kraz, d) Versión ejército polaco en un camión JELCZ, e) Versión ejército checoslovaco en un camión Tatra.

Una de las misiones de las Fuerzas Armadas es la conservación de la soberanía nacional, defensa de la integridad e independencia del estado; para ello debe mantener el material bélico operable en todo momento.

En el año de 1993, el Ejército ecuatoriano adquiere 19 vehículos Ural BM-21 al Ejército de Nicaragua, para reforzar el sistema de artillería, mismos que fueron empleados en el conflicto del alto Cenepa en 1995.

Posterior al conflicto, se desarrolló un proyecto de re-motorización con la finalidad de recuperar la parte automotriz del sistema de lanzadores múltiples Ural BM-21, mismo que se encontraba en mal estado, en el año 2008 se realizó varios trabajos de reparación, reemplazo y provisión de elementos en la parte mecánica y eléctrica a nueve vehículos de combate Ural-375D, todos los trabajos se realizaron bajo recomendaciones de los fabricantes.

En el año 2018, luego de ejecutar una nueva inspección de la parte automotriz, se determinó que la re-motorización realizada en el año 2008 no fue suficiente, ya que posterior a este trabajo, se presentaron otros daños mecánicos en los siguientes sistemas del vehículo: sistema de frenos, sistema eléctrico, sistema admisión y escape, sistema hidráulico, llantas con especificaciones exclusivas que no existen en el mercado porque la fábrica dejó de producir para este modelo de vehículo. Todos los aspectos antes citados dificultan la operatividad de los lanzadores múltiples Ural BM-21 generando inconvenientes en la capacidad operativa de apoyo de fuegos, dificultando el empleo conjunto, el accionar y el direccionamiento para cumplir con las actividades de instrucción (Haro Albuja, 2020).

Los sistemas de lanzadores múltiples BM-21 fabricados actualmente, no han tenido cambios significativos en el sistema de artillería, más bien los cambios o actualizaciones son en la parte automotriz.

En consecuencia, se emprende un proyecto para realizar un prototipo funcional que una un vehículo táctico de combate con el sistema de artillería del vehículo Ural BM-21, en términos generales se realizó un proceso de desmontaje del sistema de artillera del vehículo Ural-375D y el montaje de dicho sistema en el vehículo comercial multipropósito KAMAZ 43118 (Haro Albuja, 2020).

Datos técnicos del sistema de artillería BM-21

En la (Tabla 1) se presenta los datos técnicos del sistema de artillería BM-21.

Tabla 1

Datos técnicos del sistema de artillería BM-21

Nº	Descripción	Cantidad	Unidades
1	Calibre del tubo	122.2	[mm]
2	Número de tubos	40	Unidades
3	Alcance máximo	20.4	[Km]
4	Tiempo de salva completa	20	[s]
5	Profundidad de badeo	1.5	[m]
6	Ángulo máximo de elevación de los tubos	55	[grad]
7	Ángulo mínimo de elevación de los tubos	0	[grad]
8	Ángulo de tiro en dirección derecha	70	[grad]
9	Ángulo de tiro en dirección izquierda	102	[grad]
10	Ángulo de seguridad en la cabina (derecha)	34	[grad]
11	Ángulo de seguridad en la cabina (izquierda)	34	[grad]
12	Velocidad de puntería por medio del mando eléctrico en dirección	7	[grad/s]
13	Velocidad de puntería por medio del mando eléctrico en elevación	5	[grad/s]
14	Velocidad de puntería por medio del mando manual en dirección	6	[grad/min]
15	Velocidad de puntería por medio del mando manual en elevación	4	[grad/min]
16	Velocidad máxima del vehículo descargado en carretera pavimentada	75-80	[Km/h]
17	Peso aproximado del vehículo	11	[Ton]
18	Peso aproximado del vehículo cargado	14	[Ton]

19	Ángulo de elevación mínima del paquete guía sobre la cabina	11	[grad]
20	Longitud del carrete de disparo	62	[m]
21	Voltaje para ejecutar el tiro	12	[V]
22	Tracción	6	ruedas

Nota. Tomado de Manual de técnicas de artillería (p. 4), por Ejército Ecuatoriano, 2009, Escart.

Sistemas principales del vehículo Ural BM-21

Sistema Neumático

Este equipo acciona los mecanismos de retención de la parte artillera para lo cual toma el aire del sistema neumático del vehículo. Consta de las siguientes partes:

1. Grifo de dos pasos. – Dispositivo de accionamiento manual para acoplar el mando neumático de los mecanismos de retención y los mecanismos de neutralizar las ballestas (**Figura 11**) (Ejército Ecuatoriano, 2009).

Figura 11

Grifo de dos pasos ubicado en la cabina.



Nota. Tomado de Manual de técnicas de artillería (p. 8), por Ejército Ecuatoriano, 2009, Escart.

2. Cámaras de freno. - es el órgano ejecutivo de mando neumático de los mecanismos.
3. Juegos de manguera. - se destina para suministrar el aire a las cámaras de freno y consta de mangueras, crucetas, codos y boquillas de unión (**Figura 12**) (Ejército Ecuatoriano, 2009).

Figura 12

Cámara de freno y juego de mangueras



Nota. Tomado de Manual de técnicas de artillería (p. 8), por Ejército Ecuatoriano, 2009, Escart.

Sistema de artillería

El sistema de artillería es la parte que se acopla al chasis del Ural-375D. Cuya finalidad es direccionar el tiro de los cohetes (**Figura 13**), consta de las siguientes partes:

- **Parte basculante**

Su función es dar el ángulo de elevación del paquete guía.

- **Paquete guía**

Consta de 40 tubos guías y está destinado a dirigir el vuelo del proyectil proporcionándole el movimiento giratorio, además sirve de transporte para los cohetes.

- **Cuna**

La cuna en conjunto sirve de base para la parte basculante y se destina para el montaje del paquete de tubos guía y del soporte de la mira.

- **Armazón en conjunto**

El armazón es parte principal del sistema de artillería. Asume la carga procedente de la parte giratoria y la transmite al chasis de automóvil. El armazón se apoya en tres puntos, para evitar la sujeción del armazón, excluye la influencia de deformaciones elásticas del bastidor del chasis de automóvil en el funcionamiento de rodamiento.

- **Parte giratoria**

La parte giratoria sirve para colocar el paquete guía en la dirección requerida en el plano horizontal y para alojar la parte basculante, los mecanismos de puntería y retención, así como las piezas, conjunto del mando eléctrico y equipo neumático.

Figura 13

Partes del sistema de artillería Ural BM-21



Nota. a) Paquete guía, b) Cuna, c) Armazón en conjunto, d) Parte giratoria, f) Parte basculante.

Vigas (Skid)

Skid son dos vigas longitudinales, montadas en el chasis, sirven para reforzar el mismo y distribuir la carga procedente del peso del sistema de artillería a lo largo de todo el chasis del vehículo.

Mecanismo de neutralizar las ballestas

El mecanismo permite neutralizar las ballestas durante el tiro, accionando neumáticamente las horquillas de bloqueo.

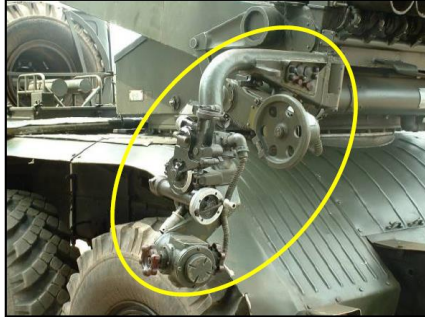
En el vehículo están montados dos mecanismos iguales, uno a cada lado del eje trasero, que enlazan dicho eje con el armazón en conjunto. En la posición de marcha dichos mecanismos no ejercen influencia alguna en la suspensión del vehículo.

Dispositivo de puntería

Se utiliza para apuntar los tubos del paquete guía en dirección al objetivo. Permite hacer fuego con puntería directa e indirecta (**Figura 14**).

Figura 14

Dispositivo de puntería.



Nota. Tomado de Manual de técnicas de artillería (p. 12), por Ejército Ecuatoriano, 2009, Escart.

Mando eléctrico

Está destinado a apuntar los tubos del paquete guía, en elevación y dirección. Se puede variar la velocidad de puntería de 0.1 a 7 $\left[\frac{grad}{s}\right]$ apuntando en dirección y hasta 5 $\left[\frac{grad}{s}\right]$ apuntando en elevación.

El mando está constituido por la planta de alimentación y dos mandos de puntería (elevación y dirección), los cuales se encuentran ubicados en el tablero de mando.

El mando eléctrico del vehículo de combate está formado por la planta de alimentación, mandos de puntería horizontal, de puntería vertical y juego de cables eléctrico de montaje, el amplidino (3MY) se destina para amplificar la retención de control hasta una potencia que se necesita para la rotación del inducido del motor ejecutivo.

Generador del Ural BM-21

El generador del Ural BM-21 es una máquina eléctrica de corriente continua, enfriado por aire mediante unas toberas de ingreso de aire, se encuentra dentro de una carcasa de seguridad.

La potencia nominal del generador es de 6.5 [Kw]; la tensión nominal, 28.5 [V]. El principio de funcionamiento del generador es análogo.

Munición M 21 OF

El proyectil M 21 OF se emplea para el tiro de los lanzadores múltiples y se destina para neutralizar las fuerzas enemigas y el material de guerra enemigo (**Figura 15**) (Ejército Ecuatoriano, 2009).

Datos Técnicos munición M 21 OF

En la (**Tabla 2**) se muestra los datos técnicos del proyectil M 21 OF que son utilizados por el sistema de artillería BM-21.

Tabla 2

Datos técnicos del proyectil M 21 OF

Nº	Descripción	Cantidad	Unidades
1	Calibre	122.2	[mm]
2	Largo del cohete	2.87	[m]
3	Radio de acción	25	[m]
4	Peso del cohete con caja	100	[Kg]
5	Peso del cohete	66	[Kg]
6	Peso de la espoleta	0.950	[Kg]
7	Peso de la ojiva	18.4	[Kg]
8	Peso de la carga explosiva	6.4	[Kg]
9	Máxima velocidad del cohete	690	[m/s]
10	Velocidad de rotación del cohete	300-400	[rpm]
11	Alcance máximo	20.4	[Km]
12	Alcance con anilla grande	4-12	[Km]
13	Alcance con anilla pequeña	12-16	[Km]
14	Alcance sin anilla	16-20.4	[Km]

Nota. Tomado de Manual de técnicas de artillería (p. 22), por Ejército Ecuatoriano, 2009, Escart.

Figura 15*Munición M 21 OF*

Nota. Tomado de Manual de técnicas de artillería (p. 23), por Ejército Ecuatoriano, 2009, Escart.

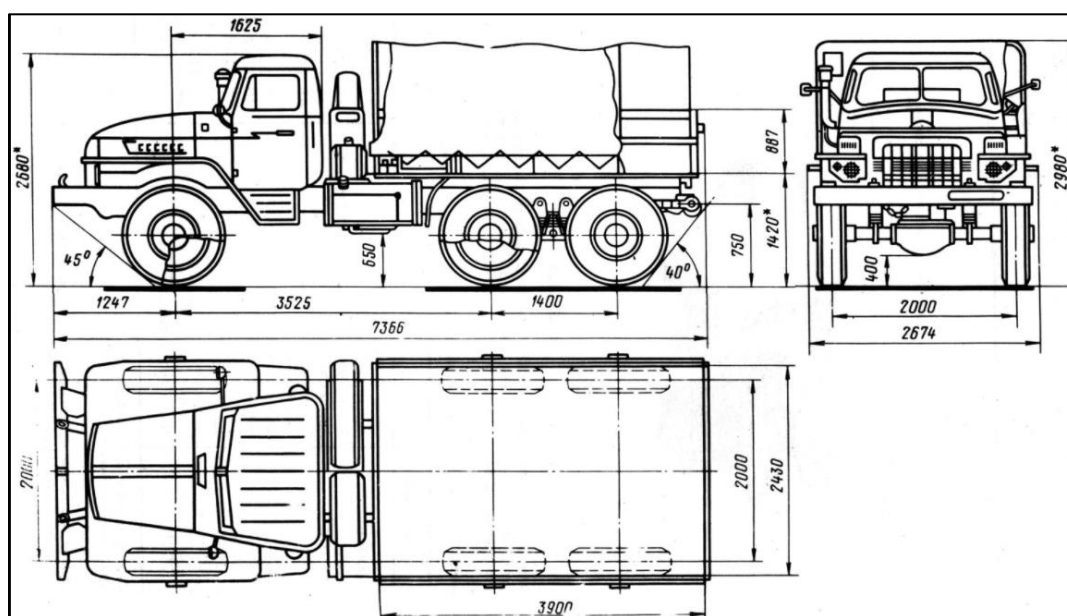
A continuación, se presenta datos técnicos del vehículo Ural-375D y KAMAZ 43118, para comparar la parte automotriz de ambos vehículos.

Información técnica Ural-375D

Vehículo de procedencia rusa (**Figura 16**).

Figura 16

Dimensiones del Ural-375D



Nota. Tomado de <https://drawingdatabase.com/ural-375d/>.

Capacidad de carga

La capacidad de carga del vehículo Ural-375D es de 4500 [kg], este dato se puede considerar como el valor mínimo para poder transportar el sistema de artillería, tomando en cuenta que tiene un peso aproximado de 3800 [kg]. Al igual que la pendiente máxima para el vehículo es de 21°.

Tabla 3*Características técnicas del vehículo Ural-375D*

Nº	Descripción	Valor	Unidades
1	Fórmula de ruedas	6x6	-
2	Peso servicio	8400	[Kg]
3	Capacidad de carga	4500	[Kg]
4	Peso bruto del vehículo	13.300	[Kg]
5	Peso bruto del remolque	10.000	[Kg]
6	Peso Bruto Combinado	23.300	[Kg]
7	Motor	ZIL-375YA	
8	Pendiente máxima para el vehículo	40(21)	[%(grad)]
9	Neumáticos	14.00 R20	-

Nota. Tomado de <https://www.ecured.cu/Ural-375D>.

El motor debe tener un máximo de potencial efectivo de al menos 180 [HP] para poder transportar el sistema de artillería, aunque a pesar de ello se conoce que esta potencia consigue trasladarlo a bajas velocidades, $30 \left[\frac{km}{h} \right]$ en cuestas y $60 \left[\frac{km}{h} \right]$ en terreno plano (Chaguez, 2021).

Tabla 4*Características del motor ZIL-375YA*

Nº	Descripción	Valor	Unidades
1	Modelo del motor	ZIL-375YA	-
2	Tipo del motor	De 4 tiempos, gasolina	-
3	Cantidad de cilindros	8	-
4	Disposición de los cilindros	En V	-
6	Máximo de potencial efectivo	132(180)	[Kw(HP)]
7	Par máximo	466(47)	[Nm(kgf.m)]

Nota. Tomado de <https://mortarinvestments.eu/catalog/item/ural-375>.

La suspensión por ballestas permite disipar de mejor manera los impactos en baches y tener una correcta movilidad en terrenos irregulares, esta es una de las características a tomar en cuenta para el nuevo vehículo.

Tabla 5

Características técnicas Ural-375D

Características técnicas	
Desempeño del vehículo del peso bruto	
Velocidad máxima, km/h	75
Profundidad de vadeo, m	1,50
Suspensión delantera	Suspensión trasera
Ballestas	Ballestas
Sistema de alimentación	
Capacidad del tanque de combustible, Lt	300+90
Consumo medio de combustible, Lt/km	45–50/100

Nota. Tomado de <https://mortarinvestments.eu/catalog/item/ural-375>.

Equipo eléctrico

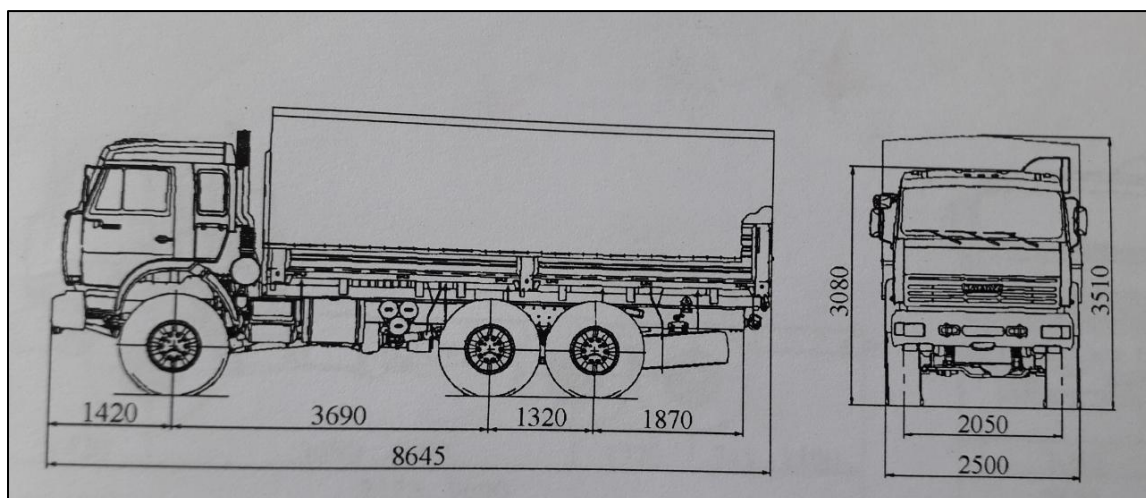
El equipo eléctrico cuenta con una batería de 12 [V], esta es la toma del voltaje para generar el suministro sucesivo de los impulsos de tensión a los cebos eléctricos de los proyectiles.

Información técnica KAMAZ 43118

Vehículo de procedencia rusa (**Figura 17**).

Figura 17

Dimensiones del KAMAZ 43118

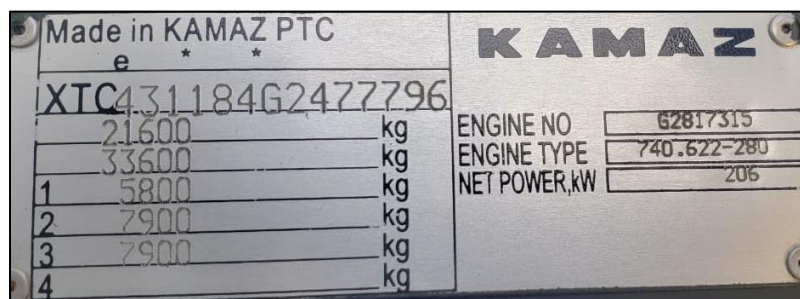


Nota. Tomado de Manual de empleo (p. 15), por KAMAZ, 2016, Publicly Traded Company "KAMAZ".

La placa de identificación del vehículo se encuentra al lado derecho de la cabina y nos permite verificar las cargas admisibles en cada eje y la numeración del motor (**Figura 18**).

Figura 18

Placa del vehículo KAMAZ



Capacidad de carga

La capacidad de carga del vehículo KAMAZ 43118 es de 10200-11300 [kg], por lo tanto, se determina que la capacidad del vehículo KAMAZ supera al doble de la capacidad del vehículo Ural. Al igual que la pendiente máxima para el vehículo es de 31°.

Tabla 6

Características técnicas del vehículo KAMAZ 43118

Nº	Descripción	Valor	Unidades
1	Fórmula de ruedas	6x6	
2	Peso de la carga a transportar	10200-11300	[Kg]
3	Peso máximo técnicamente admisible del medio de transporte	21600	[Kg]
4	Peso máximo técnicamente admisible del remolque	12000	[Kg]
5	Peso máximo técnicamente admisible del autotrén	33600	[Kg]
6	Motor	740.62-280	
7	Pendiente máxima para el vehículo	60(31)	[%(grad)]
8	Pendiente máxima para el autotrén	18(10)	[%(grad)]
9	Ruedas del disco	310-533 ó 254G-508	
10	Neumáticos	425/85 R21 ó 390-95 R20	

Nota. Tomado de Manual de empleo (p. 31), por KAMAZ, 2016, Publicly Traded Company "KAMAZ".

El motor 740.62-280 tiene un máximo de potencial efectivo de 280 [HP] para poder transportar el sistema de artillería, por lo que consigue aumentar la velocidad del vehículo a 40 $\left[\frac{km}{h}\right]$ en cuestas y 90 $\left[\frac{km}{h}\right]$ en terreno plano (Chaguez, 2021).

Tabla 7

Características del motor 740.62-280

Nº	Descripción	Valor	Unidades
1	Modelo del motor	740.62-280	-
2	Tipo del motor	De 4 tiempos, diésel con turbo-alimentación	-
3	Cantidad de cilindros	8	-
4	Disposición de los cilindros	En V	-
5	Volumen efectivo	11.762	[Lt]
6	Máximo de potencial efectivo	206(280)	[Kw(HP)]
7	A la Frecuencia nominal de rotación del cigüeñal del motor	1900+/-50	$[min^{-1}]$
8	Momento de torsión útil máximo	1177(120)	[Nm(kgf.m)]
9	A la Frecuencia de rotación del cigüeñal del motor	1300+/-50	$[min^{-1}]$

Nota. Tomado de Manual de empleo (p. 46), por KAMAZ, 2016, Publicly Traded Company "KAMAZ".

Hay que tomar en cuenta el tipo de suspensión del vhculo KAMAZ 43118, ya que una suspensión de ballestas ayuda a mantener una correcta estabilidad sobre terrenos irregulares manteniendo una adecuada posición del chasis. El sistema de frenos en el vhculo KAMAZ al ser un sistema moderno, es más efectivo que el sistema de frenos del vhculo Ural.

Esto nos permite un aumento significativo en la seguridad de conducción tanto para el personal y el material artillero a ser transportado.

Tabla 8

Características técnicas KAMAZ 43118

Características técnicas	
Llantas y neumáticos	
Tamaño de llantas	310-533
Tamaño de neumáticos	390/95R20 o 425/85R21
Desempeño del vehículo del peso bruto	
Velocidad máxima, km/h	80
Angulo de pendiente, %(grados)	31%(20º)
Radio de giro exterior (entre paredes), m	12,2..14
Suspensión delantera	Suspensión trasera
Dependiente, ballestas, con amortiguadores telescópicos hidráulicos	Dependiente, ballestas, tipo balancín, con barras de reacción
Sistema primario de frenado	Sistema de estacionamiento
Freno neumático doble circuito, ABS, ASR, frenos de tambor en todas las ruedas	Frenos de las ruedas del tren de rodaje trasero accionado por acumulador de fuerza por resorte
Sistema de freno de emergencia	Sistema de freno auxiliar
Cada circuito del sistema primario de frenado	Regulador de extracción en el sistema de escape

Nota. Tomado de <https://www.kamazindustrialservice.com/wp-content/uploads/2017/07/ESP-Camiones-y-autobuses-KAMAZ-archivo-compacto-2017.pdf>.

Material del bastidor

Según lo especificado en la (**Tabla 9**) el material del que está hecho el chasis es un acero estructural aleado de alta resistencia, sin embargo no se especifica entre el acero 600MC o 700MC, por lo tanto tomando un criterio conservador se asumió el acero 600MC por tener menor resistencia que el 700MC.

Tabla 9

Material del bastidor

Piezas del bastidor	Grado de acero, clases de resistencia	Tipo de amplificador
Larguero de perfil constante	Acero de clases 600-700MC	Interior en forma de U, 8mm
Otras piezas del bastidor	Grado tuso 20GYT o clase de acero 550MC	-



Nota. Tomado de <https://www.kamazindustrialservice.com/wp-content/uploads/2017/07/ESP-Camiones-y-autobuses-KAMAZ-archivo-compacto-2017.pdf>.

Equipo eléctrico

El equipo eléctrico cuenta con dos baterías de 12 [V], este nos ayuda a realizar la toma de voltaje de una de las dos baterías de 12 [V] para generar el suministro sucesivo de los impulsos de tensión a los cebos eléctricos de los proyectiles.

Aplicaciones del vehículo KAMAZ 43118

En la (Figura 19) se muestra las aplicaciones del KAMAZ, de las cuales se detalla de manera más profunda la aplicación para construcción y para petróleo y gas, por ser las más similares al uso militar de este trabajo.

Figura 19

Aplicaciones del KAMAZ

Aplicación	
	<p>Logística</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Camión de laterales abatibles Carga útil 10 tn <p>p.90-91</p>
	<p>Construcción</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Volquete V=6,6m³ Carga útil 9,5 tn <p>p.68-69</p>
	<p>Camión grúa Carga útil 25 tn</p> <p>p.85</p>
	<p>Petróleo y gas</p> <p>Camión de bombeo</p> <p>p.74-75</p>
	<p>Extinción de incendios</p> <p>Camión cisterna V=4m³</p> <p>p.78-79</p>
	<p>Industria maderera</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Camión porta tronco Carga útil 12 tn <p>p.80-81 p.96-97</p>

Nota. Tomado de <https://www.kamazindustrialservice.com/wp-content/uploads/2017/07/ESP-Camiones-y-autobuses-KAMAZ-archivo-compacto-2017.pdf>.

Aplicación de volquete

La aplicación de volquete se compara con el uso del vehículo KAMAZ para el transporte del sistema de artillería BM-21 ya que en el caso del volquete se tiene la mayor cantidad de carga en la parte trasera del bastidor como en este caso para la aplicación militar. La carga útil que se puede tener es de 9500 [kg] como se muestra en la (**Tabla 10**).

Tabla 10

Aplicación de volquete

Características técnicas de volquetes				
Modelo de base	Configuración de los ejes	Peso bruto, kg	Carga útil, kg	Dirección de descarga y volumen de la caja, m^3
43118	6x6	20750	9500	R:6,6







Nota. Tomado de <https://www.kamazindustrialservice.com/wp-content/uploads/2017/07/ESP-Camiones-y-autobuses-KAMAZ-archivo-compacto-2017.pdf>.

Aplicación para petróleo y gas

De igual forma como se puede observar en la (**Tabla 11**) el vehículo KAMAZ cumple con todas las aplicaciones en el sector petrolero: camión de extracción petrolífera y de gas, camión de acidificación de pozos, camión de desarrollo y prospección de pozos petrolíferos y de gas, unidad de desparafinado entre otras aplicaciones, donde se puede ver como es capaz de cumplir con la necesidad de transportar distinta maquinaria en la parte trasera, en algunos casos las cargas no se encuentran distribuidas de manera uniforme sobre el chasis, de esta forma se puede determinar que el vehículo se ajusta adecuadamente con el propósito de transportar el sistema de artillería BM-21.

Tabla 11

Aplicaciones del vehículo KAMAZ en el sector petrolero

Gama de aplicación				4x2	4x4.1	6x4	6x6.1		6x6	8x4	8x8.1
Pictograma	Tipo de vehículo	Especificaciones claves	Gama con unidad de medida *	Modelos de base de los chasis							
				4308	43602/ 4326	65115	5350/ 43114	43118	65224	65111	6522
	Camión de extracción petrolífera y de gas	Capacidad de cisterna Empuje de propulsión en cabrestante principal	4-5.5 m.cub. 3000-7000 kg					•			•
	Camión de acidificación de pozos	Capacidad de cisterna Altura máxima	6-7 m.cub. 11.5-18 l / sec					•			
	Camión de desarrollo y prospección de pozos petrolíferos y de gas	Profundidad de servicio de pozos	Hasta 6000 m			•	•	•	•	•	•
	Unidad de desparafinado	Rendimiento Temperatura de calentamiento de óleo	12 m.cub. 150°C					•			
	Taller automóvil de reparación de equipamiento para pozos petrolíferos	Procesos disponibles: soldadura, corte con soplete, trabajos mecánicos					•	•			
	Recolector de condensado de gas y petróleo	Capacidad de cisterna	7-18 m.cub.			•	•	•	•	•	•

Nota. Tomado de <https://www.kamazindustrial-service.com/wp-content/uploads/2017/07/ESP-Camiones-y-autobuses-KAMAZ-archivo-compacto-2017.pdf>.

Tabla comparativa entre vehículo Ural-375D y KAMAZ 43118

La (Tabla 12) muestra mejores prestaciones del vehículo KAMAZ 43118 en comparación con el Ural-375D, entre ellas se tiene mayor capacidad de carga, potencia del motor, velocidad máxima, confort en la cabina de conducción, sistema de frenos más eficaz y menor consumo de combustible.

Tabla 12*Especificaciones técnicas de los vehículos Ural-375D y KAMAZ 43118*

No.	Características Técnicas	URAL-375D	KAMAZ 43118
1	Año de fabricación	1984	2016
2	Capacidad de carga, kg:	4500+10000 con remolque	10200-11300 + 10000 con remolque
3	Formula de ruedas	6 x 6	6 x 6
4	Motor, modelo	ZIL 375 YA	KAMAZ 740.62-280
5	Potencia	180 Hp	280 Hp
6	Estándar de Emisión	EURO 0	EURO 3
7	Tipo	Atmosférico	Turbo alimentación con sistema intercalar
8	Posición de los cilindros	V-8	V-8
9	Velocidad Máxima Km/h	75	90
10	Sistema de alimentación	Carburador a Gasolina	Diésel por inyección electrónica común rail.
11	Depósito de combustible	300 + 90 litros	350 + 210 litros
12	Consumo de combustible	4 km/galón en carretera	14/16 km/galón en carretera
13	Sistema de trasmisión	Caja de cambios 5 velocidades, 2-5 sincronizados.	caja de cambios ZF 9 velocidades
14	Tipo	No posee	Sistema de bloqueo entre ejes y entre llantas
15	Sistema de Frenos	Tambores, con control neumático.	Freno de aire ABC con bloqueo neumático al vacío.
16	Sistema de suspensión	ejes sólidos, ballestas, ruedas traseras en la balanza diseñado para 6 toneladas.	ejes sólidos, ballestas, ruedas traseras en la balanza diseñado para 12 toneladas.
17	Sistema eléctrico	12V	24V
18	Llantas	1400/R20	425/85/R21
19	Cabina	Larga sobre motor, tres asientos, suspensión rígida sobre ballesta, sin litera, sin aire acondicionado.	Corta sobre motor, tres asientos de suspensión neumática para el conductor y literas, full aire acondicionado y calefacción
20	Sistema de enfriamiento	aire y agua	aire y agua con electro ventilador

Nota. Tomado de Estudio experimental e ingeniería inversa del acondicionamiento del lanzador múltiple BM-21 a un vehículo táctico (p. 3), por E. Haro, 2020, DECEM-ESPE.

Modelación 3D

Los elementos modelados en 3D, se presentan en el (Anexo A).

Caracterización de materiales.

Se realizó un estudio de materiales de la pieza tirante de sujeción (**Tabla 13**).

Tirante de sujeción: en el Ural BM-21, los tirantes de sujeción son utilizados en el acoplamiento del sistema de artillería al KAMAZ BM-21 fijando el skid, mismo que distribuye las cargas procedentes del sistema de artillería a lo largo de todo el chasis, el skid se fija de la misma forma en el KAMAZ 43118, sin realizar alguna modificación en los tirantes de sujeción.

Tabla 13

Ubicación de los tirantes de sujeción

Ural BM-21	KAMAZ BM-21
	

El análisis por espectrometría se realizó en el departamento de metalurgia extractiva de la Escuela Politécnica Nacional, dando como resultado una aleación compuesta con materiales en cantidades poco comunes para las aleaciones de acero convencionales, por tratarse de una aplicación para uso militar es normal que se trate de una aleación poco conocida incluso con información restringida.

Metalografía

Para analizar la metalografía fue necesario preparar la muestra con un proceso de pulido, por tal motivo se realizó un rectificado y lijado manual, utilizando las lijas de número 600, 1000, 1200 y 1500 suavemente para después darle un acabado con alúmina, posterior a esto se realizó un ataque químico con Nital al 3%, que permite visualizar la metalografía en el microscopio óptico (**Figura 20**).

Figura 20

Ataque químico y visualización de la metalografía



Metalografía del tirante de sujeción

La metalografía se realizó de dos partes de la pieza: centro y borde (**Figura 21**), en donde se observó la estructura de dichas partes para determinar si fue sometida a un tratamiento térmico.

Figura 21

Partes del tirante de sujeción para el análisis de la metalografía



Una vez que se revisó la metalografía del centro y borde del tirante de sujeción, se obtuvo los siguientes resultados:

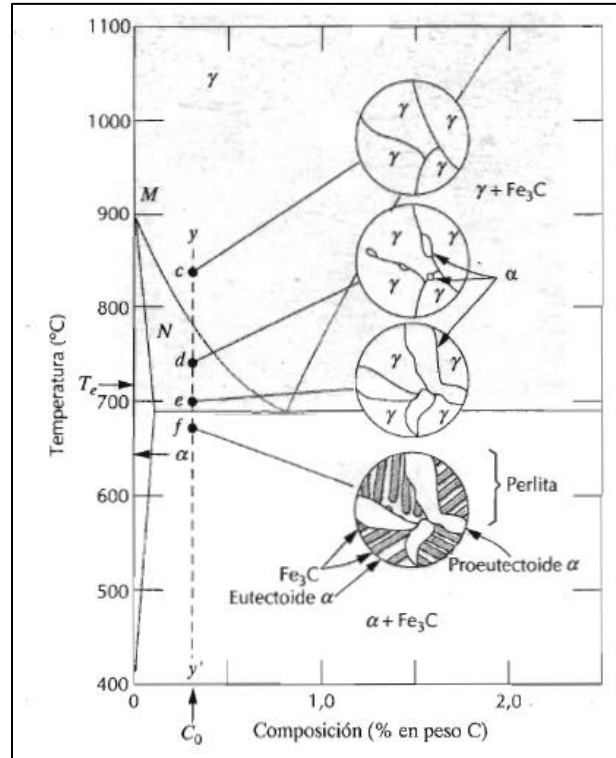
Con aumento de 20x se observó que centro y borde tienen la misma estructura, sin presencia de martensita.

Con aumento de 50x, no se observó la presencia de martensita en el tirante de sujeción; ya que la martensita tiene la apariencia de láminas o de agujas (Callister, 1984).

De acuerdo al contenido de carbono del tirante de sujeción el diagrama hierro-carbono de la **(Figura 22)**, muestra que se trata de un acero que fue enfriado lentamente.

Figura 22

Diagrama hierro - carbono



Nota. Tomado de: Ciencia e ingeniería de los materiales (p. 287), por W. Callister, 1995, reverté.

Dureza

Para el ensayo de dureza, se utilizó la misma muestra con la que se analizó la metalografía, para determinar la dureza se trabajó con la (Tabla 14).

Tabla 14

Comparación de pruebas normales de dureza

Prueba	Penetrador	Carga	Aplicación
Brinell	Esfera con 10 mm	3000 Kg	Hierro colado y acero
Brinell	Esfera con 10 mm	500 Kg	Aleaciones no ferrosas
Rockwell A	Cono	60 Kg	Materiales muy duros
Rockwell B	Esfera de 1/16 pulg	100 Kg	Latón, acero de baja resistencia
Rockwell C	Cono	150 Kg	Acero de alta resistencia
Rockwell D	Cono	100 Kg	Acero de alta resistencia
Rockwell E	Esfera de 1/8 pulg	100 Kg	Materiales muy blandos
Rockwell F	Esfera de 1/16 pulg	60 Kg	Aluminio, materiales suaves
Vickers	Pirámide de diamante	10 Kg	Todos los materiales
Knoop	Pirámide de diamante	500 g	Todos los materiales

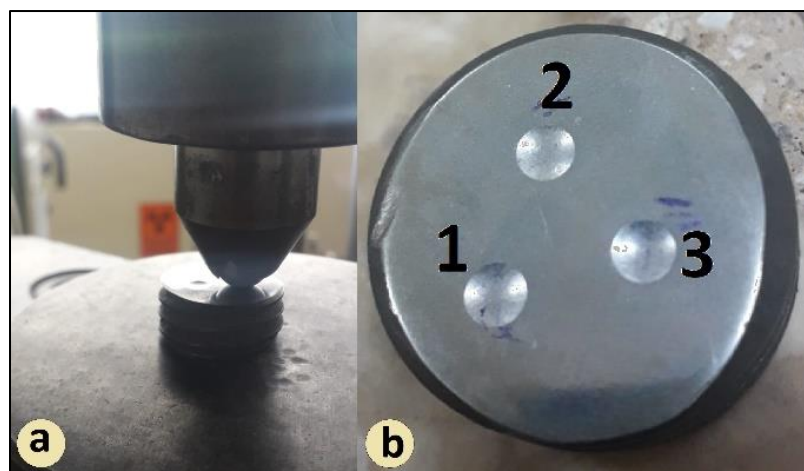
Nota. Esta tabla fue tomada de *Ciencia e ingeniería de los materiales* (p. 258), por D.R. Askeland, 2006, Thomson.

Dureza del tirante de sujeción

Se realizó el ensayo de dureza de la muestra del tirante de sujeción con la máquina de ensayos universal que se encuentra en el laboratorio de mecánica de materiales del DECEM.

Figura 23

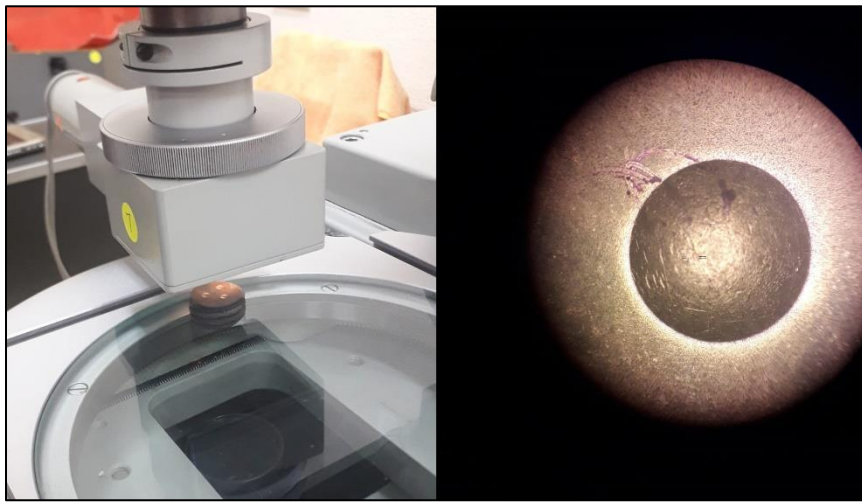
Indentaciones del tirante de sujeción



Luego de someter a la muestra del tirante de sujeción a la carga, y realizar las 3 indentaciones (**Figura 23**), se procedió a determinar la medida del diámetro de la huella circular dejada por el penetrador esférico en la muestra, utilizando el microscopio de herramientas (**Figura 24**), para determinar su dureza.

Figura 24

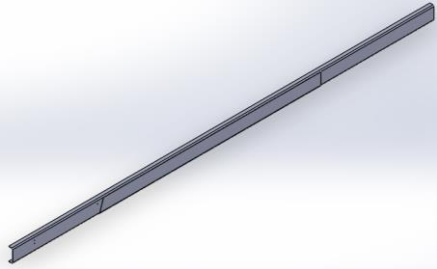
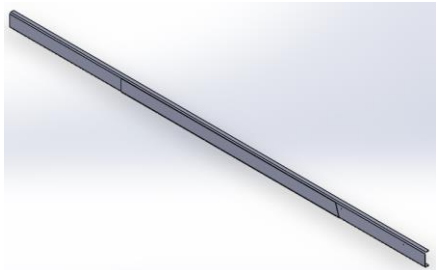
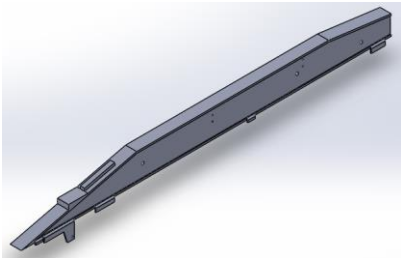
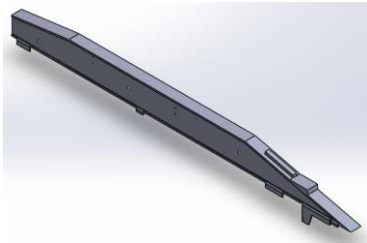
Tirante de sujeción en el microscopio de herramientas

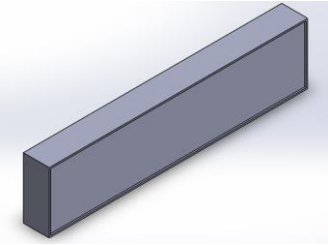
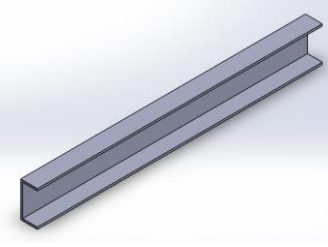
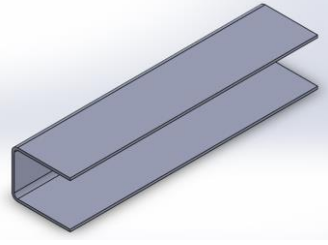
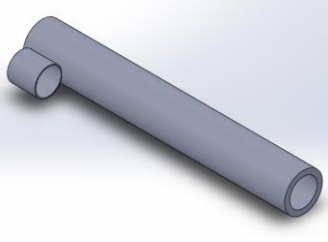
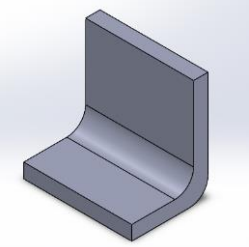


Simulación

La simulación es importante para poder determinar el rango de esfuerzos aproximado generado por el acoplamiento del sistema de artillería en el chasis del vehículo KAMAZ 43118. Por lo tanto, se identificó todos los elementos que están sometidos a cargas y que son necesarios para poder realizar la simulación (**Tabla 15**).

Tabla 15*Elementos involucrados en la simulación*

Pieza	Cantidad	Descripción	Sólido
1	1	Perfil Chasis Derecho	
2	1	Perfil Chasis Izquierdo	
3	1	Skid derecho	
4	1	Skid izquierdo	

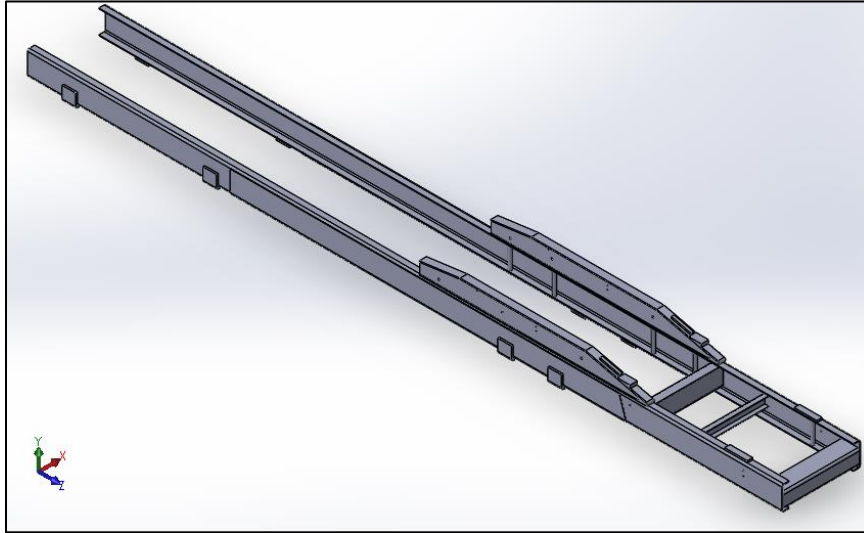
5	1	Viga interna	
6	1	Viga transversal intermedia	
7	1	Viga transversal trasera	
8	8	Soporte circular del chasis	
9	8	Soportes	

Ensamble

Con los elementos presentados en la **(Tabla 15)** se realizó el respectivo ensamble con relaciones de posición para obtener un modelo bastante acercado a la realidad.

Figura 25

Ensamble para simulación

**Material**

El material seleccionado fue un acero aleado por tener propiedades mecánicas similares al acero del que está hecho el chasis del vehículo KAMAZ 43118, este dato fue obtenido del estudio técnico realizado en el capítulo III.

Capítulo IV Análisis

Análisis del estudio técnico

Se reconoció los sistemas principales que conforman el vehículo Ural BM-21, con la finalidad de entender de mejor manera su funcionamiento. La parte automotriz del vehículo Ural-375D se encuentra obsoleta, ya que ha cumplido su vida útil, por lo tanto, es necesario renovarla para mantener un sistema de artillería en óptimas condiciones. Para la selección de un camión KAMAZ, se debe tener una capacidad de carga mínima de 8000 [Kg]. Uno de los factores importantes a tomar en cuenta es el tipo de suspensión del vehículo, éste debe ser de ballestas que permitan un adecuado acople de las llantas en terrenos irregulares, por esta razón vehículos con suspensión rígida no son adecuados para implementar este prototipo.

Del estudio realizado, se determinó el tipo de material del chasis mismo que fue utilizado como parámetro en la simulación numérica, dando como resultado que la capacidad de carga del chasis es suficiente para trasladar y soportar el sistema de artillería.

El vehículo multipropósito KAMAZ puede cumplir con todas las aplicaciones en el sector petrolero, por lo tanto, se puede evidenciar la capacidad que tiene de transportar distinta maquinaria en la parte trasera, en algunos casos la carga no se encuentra distribuida de manera uniforme sobre el chasis, de esta forma se puede determinar que el vehículo se acopla correctamente con el propósito de transportar el sistema de artillería BM-21.

Capítulo V Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se establece que el vehículo KAMAZ 43118 supera al vehículo Ural-375D en todos los aspectos tales como: sistema de frenos, sistema de suspensión, capacidad de carga, potencia del motor, consumo de combustible, confort, velocidad en carretera, seguridad activa y pasiva, año de fabricación, entre otros.
- El sistema de artillería BM-21 se acopla de forma adecuada al vehículo KAMAZ 43118, esto debido a que ambos son de procedencia rusa, y por ser un camión multipropósito diseñado para acoplarse a otros sistemas de la misma procedencia.
- El vehículo KAMAZ 43118 cumple con la aplicación de volquete y con todas las aplicaciones del sector petrolero siendo capaz de transportar distinta maquinaria en la parte trasera, en algunos casos las cargas no se encuentran distribuidas de manera uniforme sobre el chasis, de esta forma se puede determinar que el vehículo se ajusta de manera adecuada con el propósito de transportar el sistema de artillería BM-21.
- De acuerdo a la caracterización de materiales del tirante de sujeción, se determinó que el acero es una aleación rusa y por ser de uso militar no hay información técnica del material original.
- La simulación tuvo resultados favorables teniendo un factor de seguridad mayor a tres, por lo tanto, se concluye que el chasis está trabajando en un rango seguro de esfuerzos.

Recomendaciones

- Determinar las cargas y deformaciones que actúan en el chasis durante el tiro.
- Al momento de replicar el trabajo en los próximos vehículos, sería importante que el personal técnico cuente con el actual prototipo KAMAZ BM-21 para tomar como referencia el adecuado posicionamiento y cambios de todas las modificaciones realizadas.
- Como proyecto complementario a este se puede realizar la automatización de mando y control del prototipo KAMAZ BM-21, conservando los mecanismos de accionamiento manual en caso de requerirse su uso.

Referencias

Callister, W. (1984). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Barcelona: Reverté.

Chaguez, A. (31 de Junio de 2021). Comparación URAL 375D y KAMAZ 43118.

Cia General de Aceros S.A. (10 de Marzo de 2007). *SAE 1020 Y 1045*. Recuperado el 31 de Agosto de 2021, de

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf>

Direct Industry. (27 de noviembre de 2020). *Optical emission spectrometer Q4 TASMAN Series 2*.

(Direct Industry) Recuperado el 04 de agosto de 2021, de

<https://www.directindustry.com/prod/bruker-axs-gmbh/product-30028-1693500.html>

Drawing Data Base. (6 de marzo de 2018). *Ural-375D Blueprint*. (Blueprints) Recuperado el 28 de

junio de 2021, de <https://drawingdatabase.com/ural-375d/>

Ecured. (13 de octubre de 2014). *Ural-375D*. (Ecured) Recuperado el 28 de junio de 2021, de

<https://www.ecured.cu/Ural-375D>

Ejército Ecuatoriano. (2009). *Manual de técnicas de artillería de lanzadores múltiples*. Machala: ESCART.

Haro Albuja, E. (2020). *Estudio experimental e ingeniería inversa del acondicionamiento del lanzador múltiple BM21 a un vehículo táctico*. Quito: DECEM-ESPE.

KAMAZ. (2016). *Manual de empleo*. Naberezhnye Chelny: Publicly Traded Company "KAMAZ".

KAMAZ. (31 de julio de 2017). *Camiones y Autobuses*. Recuperado el 28 de Junio de 2021, de

Kamaz Industrial Service: <https://www.kamazindustrialservice.com/wp->

content/uploads/2017/07/ESP-Camiones-y-autobuses-KAMAZ-archivo-compacto-2017.pdf

KAMAZ. (2021). *KAMAZ-43118-46*. Obtenido de KAMAZ PTC:

<https://kamaz.ru/en/production/serial/high-sided-trucks/kamaz-43118-46/>

Mortar Investments. (11 de mayo de 2020). *URAL-375*. (Mortar Investments) Recuperado el 28

de junio de 2021, de <https://mortarinvestments.eu/catalog/item/ural-375>

Ritter, A. (2016). Catalogue of products for mechanical engineering. *Severstal*, *l(1)*, 11.

Struers. (19 de agosto de 2020). *Metalografía del acero de herramientas de alta aleación*.

(Struers) Recuperado el 04 de agosto de 2021, de <https://www.struers.com/es->

[ES/Knowledge/Materials/Tool-steel](https://www.struers.com/es-Knowledge/Materials/Tool-steel)

Tamayo, L. (30 de Agosto de 2021). Tnte de A.

ANEXOS