



**ESPE**  
**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**Análisis, selección e implementación de los sistemas de suspensión, dirección y  
freno en un vehículo táctico militar para las Fuerzas Armadas**

Sasintuña Chancusig, Andrés Esteban y Zúñiga Lema, Jorge David

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del Título de Ingeniero Automotriz

Msc. Cevallos Carvajal, Alex Santiago

2023

Latacunga



Departamento De Ciencias De La Energía Y Mecánica

Carrera De Ingeniería Automotriz

Reporte de verificación de contenido

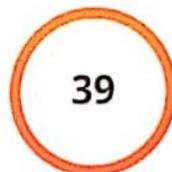


TESIS\_SASINTUÑA\_ZUÑIGA\_ANTIPLAGIO.pdf

Scanned on: 13:58 February 17, 2023 UTC



Overall similarity score



Results found



Total words in text



ALEX SANTIAGO  
CEVALLOS CARVAJAL

	Word count
Identical	172
Minor Changes	37
Paraphrased	1131
Omitted	0

Ing. Cevallos Carvajal, Alex Santiago

C.C: 0502530447



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Certificación**

Certifico que el trabajo de integración curricular: **"Análisis, selección e implementación de los sistemas de suspensión, dirección y freno en un vehículo táctico militar para las Fuerzas Armadas"** fue realizado por los señores **Sasintuña Chancusig, Andrés Esteban y Zúñiga Lema, Jorge David**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

**Latacunga, 23 de febrero de 2023**

.....  
  
**Ing. Cevallos Carvajal, Alex Santiago**  
C.C: 0502530447



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

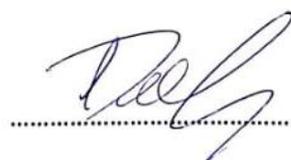
**Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Responsabilidad de autoría**

Nosotros, **Sasintuña Chancusig, Andrés Esteban y Zúñiga Lema, Jorge David**, con cédula de ciudadanía n° **0503755092** y **0604750620** declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **"Análisis, selección e implementación de los sistemas de suspensión, dirección y freno en un vehículo táctico militar para las Fuerzas Armadas"** 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.

**Latacunga, 23 de febrero de 2023**

  
.....  
**Sasintuña Chancusig, Andrés Esteban**  
C.C: 0503755092

  
.....  
**Zúñiga Lema, Jorge David**  
C.C: 0604750620



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Autorización de publicación**

Yo/nosotros, **Sasintuña Chancusig, Andrés Esteban** y **Zúñiga Lema, Jorge David**, con cédula de ciudadanía n° **0503755092** y **0604750620** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: "**Análisis, selección e implementación de los sistemas de suspensión, dirección y freno en un vehículo táctico militar para las Fuerzas Armadas**" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

**Latacunga, 23 de febrero de 2023**

  
.....  
**Sasintuña Chancusig, Andrés Esteban**  
C.C: 0503755092

  
.....  
**Zúñiga Lema, Jorge David**  
C.C: 0604750620

### **Dedicatoria**

Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia, comenzando con mis padres Lourdes y Antonio que me apoyaron en los buenos y malos momentos. Gracias por siempre guiarme por el buen camino y haberme formado de la mejor manera, este logro es también de ustedes.

Principalmente dedico este trabajo a mi esposa Kerly por su amor incondicional y sincero, me apoyaste cuando más nadie lo hacía y si no fuera por eso, no hubiese llegado hasta aquí. A nuestra hija Rafaela, eres lo más hermoso que nos ha pasado y todo es por ustedes y para ustedes.

A mis abuelitos Jorge y Beatriz que, con sus oraciones, cariño y amor, me han ayudado a conseguir este momento muy importante en mi vida.

**Jorge David Zúñiga Lema**

### **Dedicatoria**

Dedicado a mis padres, que me han enseñado los valores esenciales de la vida, la paciencia y la esperanza, me han demostrado que todo tarda, pero llega. A ustedes les debo todo lo que soy y lo que he conseguido hasta el momento.

A mi padre por el optimismo que a diario transmite, por el orgullo que me hace sentir de estar contigo, por enseñarme a valorar la familia.

A mi madre por enseñarme a ser sabio y a ser justo, por creer siempre en mí y enseñarme que no tengo límites, que esos mismos límites los pongo yo.

A mi hermana, Viviana, que siempre estás en los momentos que más te necesito.

Los amo a los tres.

**Andrés Esteban Sasintuña Chancusig**

### **Agradecimiento**

Mi más grato agradecimiento a las autoridades y docentes que forman parte de la Carrera de Ingeniería Automotriz, por sus enseñanzas en el aula, y los consejos de vida que nos han brindado. Muchas gracias también a nuestro director de tesis Ing. Alex Cevallos, que más que un docente, siempre ha buscado la manera de apoyarnos y ayudarnos a concluir esta etapa de nuestra vida, le quedo muy agradecido.

A mis padres, por todo el apoyo brindado, siempre les estaré agradecido por todo lo que han hecho por mí.

A mi hermano Paolo, tío Franklin por siempre estar presentes en mi vida con su apoyo incondicional.

Muchas gracias a la Universidad de las Fuerzas Armadas y a toda la familia que conforman la carrera de Ingeniería Automotriz.

**Jorge David Zúñiga Lema**

### **Agradecimiento**

En primer lugar, gracias a Dios, por permitirme llegar a disfrutar este momento.

A mis padres por su voluntad de ayudarme a llegar hasta aquí.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas porque se ha convertido en mi segundo hogar durante estos años, consigo a los docentes que me han acompañado en este objetivo.

A mi tutor de tesis el Ingeniero Alex Cevallos por brindarnos el apoyo necesario hasta el último momento de este trabajo, siempre apoyándonos como un amigo de esta Familia Automotriz.

**Andrés Esteban Sasintuña Chancusig**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula .....	1
Reporte de verificación de contenido .....	2
Certificación .....	3
Responsabilidad de Autoría .....	4
Autorización de Publicación .....	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de tablas .....	15
Índice de figuras .....	16
Resumen .....	19
Abstract.....	20
Capítulo I: Presentación del problema.....	21
Antecedentes.....	21
Planteamiento del problema .....	22
Justificación e importancia.....	23
Objetivos del proyecto .....	24
<i>Objetivo general</i> .....	24
<i>Objetivos específicos</i> .....	24

Hipótesis .....	24
Variables de investigación.....	24
<i>Variables dependientes</i> .....	24
<i>Variable independiente</i> .....	24
Capítulo II: Marco teórico.....	25
Introducción.....	25
Vehículo táctico militar.....	25
Generalidades del sistema de frenos .....	25
Frenos de disco.....	26
<i>Discos de freno</i> .....	27
<i>Pastillas de freno</i> .....	28
<i>Pinzas de freno</i> .....	29
<i>Bomba de frenos</i> .....	30
<i>Depósito de líquido de freno</i> .....	33
Frenos de tambor .....	34
Sistema De Suspensión .....	35
<i>Generalidades Del Sistema de Suspensión</i> .....	35
<i>Elementos de la Suspensión Convencional</i> .....	37
<i>Tipos de suspensión</i> .....	41
<i>El Centro de Gravedad</i> .....	43
<i>Centro de Balanceo</i> .....	44

Sistema de Dirección.....	44
<i>Elementos de la dirección</i> .....	44
<i>Geometría de la Dirección</i> .....	47
<i>Geometría de giro</i> .....	47
<i>Centro de Ruedas</i> .....	48
Capítulo III: Desarrollo de la propuesta .....	51
Introducción del capítulo .....	51
Sistema de suspensión del vehículo táctico militar .....	51
<i>Datos previos de la suspensión del vehículo original Trooper (1990) 4WD ....</i>	51
<i>Selección del sistema de suspensión trasero</i> .....	52
<i>Suspensión trasera 4-Link para el vehículo táctico militar</i> .....	53
<i>Implementación del sistema de suspensión trasera 4-link</i> .....	54
Sistema de freno del vehículo táctico militar .....	62
<i>Datos previos del sistema de Freno vehículo Trooper</i> .....	62
<i>Selección del sistema de freno</i> .....	63
<i>Elementos del sistema de freno vehículo Trooper</i> .....	64
<i>Instalación y adaptación del sistema de freno</i> .....	66
Sistemas de dirección del vehículo táctico militar .....	70
<i>Datos previos del vehículo Trooper</i> .....	70
<i>Análisis para la implementación en un Vehículo Táctico Militar</i> .....	70
<i>Elementos del sistema de dirección de Tornillo sin fin y bolas recirculantes</i>	71

<i>Tirantería de la dirección.....</i>	<b>72</b>
<i>Instalación y adaptación del sistema de dirección en el vehículo.....</i>	<b>72</b>
<b>Capítulo IV: Análisis de Resultados .....</b>	<b>75</b>
<b>Análisis del sistema de suspensión .....</b>	<b>75</b>
<i>Datos necesarios para los cálculos del sistema de suspensión .....</i>	<b>75</b>
<i>Análisis y cálculos del sistema de suspensión.....</i>	<b>77</b>
<b>Análisis del sistema de dirección .....</b>	<b>83</b>
<i>El volante y la rueda.....</i>	<b>84</b>
<i>Geometría de la Dirección.....</i>	<b>89</b>
<b>Análisis del Sistema de Freno .....</b>	<b>92</b>
<i>Distribución de pesos del vehículo táctico militar.....</i>	<b>92</b>
<i>Efectos en el frenado del vehículo táctico militar. ....</i>	<b>93</b>
<i>Fuerzas de rozamiento entre pastillas y zapatas de freno.....</i>	<b>95</b>
<i>Distancia de frenado.....</i>	<b>97</b>
<i>Tiempo de frenado. ....</i>	<b>98</b>
<i>Distancia de Frenado. ....</i>	<b>98</b>
<i>Distancia hasta el paro. ....</i>	<b>99</b>
<b>Capítulo V: Marco Administrativo.....</b>	<b>100</b>
<b>Recursos humanos.....</b>	<b>100</b>
<b>Recursos tecnológicos.....</b>	<b>100</b>
<b>Recursos económicos.....</b>	<b>100</b>

<b>Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>103</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>103</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>105</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>106</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>108</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Características del circuito principal de freno.....</i>	31
<b>Tabla 2</b>	<i>Características del sistema de freno de tambor.....</i>	35
<b>Tabla 3</b>	<i>Condiciones de Centro de Ruedas.....</i>	48
<b>Tabla 4</b>	<i>Datos de suspensión original del Trooper (1990) 4WD.....</i>	51
<b>Tabla 5</b>	<i>Componentes nuevos adquiridos para la suspensión 4-link.....</i>	55
<b>Tabla 6</b>	<i>Datos previos del sistema de Freno Trooper.....</i>	62
<b>Tabla 7</b>	<i>Partes del sistema de Freno en Trooper. Diagnóstico.....</i>	64
<b>Tabla 8</b>	<i>Diagnóstico de los elementos desgastantes del sistema de freno.....</i>	65
<b>Tabla 9</b>	<i>Elementos de la tirantería del vehículo Trooper.....</i>	72
<b>Tabla 10</b>	<i>Dimensiones del vehículo táctico militar.....</i>	75
<b>Tabla 11</b>	<i>Tipos de oscilaciones en el vehículo y sus causas.....</i>	76
<b>Tabla 12</b>	<i>Análisis de los componentes del sistema 4-link.....</i>	82
<b>Tabla 13</b>	<i>Participantes de la investigación.....</i>	100
<b>Tabla 14</b>	<i>Recursos tecnológicos usados en el proyecto.....</i>	100
<b>Tabla 15</b>	<i>Gastos realizados en el sistema de suspensión.....</i>	101
<b>Tabla 16</b>	<i>Gastos realizados en el sistema de freno.....</i>	101
<b>Tabla 17</b>	<i>Gastos en el sistema de dirección.....</i>	102
<b>Tabla 18</b>	<i>Gasto total en la investigación.....</i>	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Partes del freno de disco.....	26
<b>Figura 2</b> <i>Vista explosionada de un sistema de freno de disco</i> .....	27
<b>Figura 3</b> <i>Diferentes tipos de discos de freno</i> .....	28
<b>Figura 4.</b> <i>Diferentes capas que puede llevar una pastilla</i> .....	29
<b>Figura 5</b> <i>Pinza deslizante de un pistón y pinza fija de dos pistones</i> .....	30
<b>Figura 6</b> <i>Distintas bombas de freno</i> .....	30
<b>Figura 7</b> <i>Circuito de freno hidráulico</i> .....	32
<b>Figura 8</b> <i>Partes de la bomba de freno</i> .....	32
<b>Figura 9</b> <i>Estructura de la bomba de freno de doble cuerpo</i> .....	33
<b>Figura 10</b> <i>Circuitos de la bomba totalmente independientes</i> .....	33
<b>Figura 11</b> <i>Partes y el funcionamiento del sistema de freno de tambor</i> .....	34
<b>Figura 12</b> <i>Componentes internos del sistema de freno de tambor</i> .....	35
<b>Figura 13</b> <i>Didáctica de la suspensión</i> .....	36
<b>Figura 14</b> <i>Funcionamiento del muelle en el vehículo</i> .....	37
<b>Figura 15</b> <i>Construcción y Sujeción de ballestas</i> .....	38
<b>Figura 16</b> <i>Armado de ballesta</i> .....	38
<b>Figura 17</b> <i>Funcionamiento de la barra de torsión</i> .....	39
<b>Figura 18</b> <i>Funcionamiento del amortiguador</i> .....	39
<b>Figura 19</b> <i>Tirantes o estabilizadores longitudinales</i> .....	40
<b>Figura 20</b> <i>Barra estabilizadora</i> .....	40
<b>Figura 21</b> <i>Brazos de Suspensión</i> .....	41
<b>Figura 22</b> <i>Tipos de suspensión rígida</i> .....	42
<b>Figura 23</b> <i>Suspensión McPherson</i> .....	43
<b>Figura 24</b> <i>El Volante</i> .....	44
<b>Figura 25</b> <i>Configuración de la columna de dirección</i> .....	45

<b>Figura 26</b> Tornillo Sinfín.....	46
<b>Figura 27</b> Tirantería de la dirección a) de Tornillo sinfín b) de cremallera. ....	46
<b>Figura 28</b> Centro instantáneo de rotación y trazado recto.....	47
<b>Figura 29</b> Vehículo Trooper 4x4 (1990) adquirido inicialmente.....	52
<b>Figura 30</b> Ballestas reforzadas con amortiguadores hidráulicos.....	52
<b>Figura 31</b> Suspensión trasera original de ballestas y amortiguador telescópico .....	53
<b>Figura 32</b> Distribución de brazos en el sistema 4-Link .....	54
<b>Figura 33</b> Boceto en Solidworks de la suspensión 4-link junto al bastidor.....	54
<b>Figura 34</b> Amortiguadores de gas y espirales para la suspensión trasera 4-link.....	55
<b>Figura 35</b> Kit de bujes Offroad para la suspensión.....	56
<b>Figura 36</b> Proceso de desmontaje de las ballestas .....	56
<b>Figura 37</b> Proceso de fabricación de las bases nuevas para los espirales.....	57
<b>Figura 38</b> Adaptación finalizada de las bases e instalación de los espirales.....	57
<b>Figura 39</b> Medición de altura del conjunto base-espiral .....	58
<b>Figura 40</b> Nuevos soportes en el eje rígido para los brazos del sistema 4-link .....	59
<b>Figura 41</b> Fabricación de brazos de suspensión .....	59
<b>Figura 42</b> Sujeción de un brazo inferior del sistema de suspensión .....	60
<b>Figura 43</b> Instalación de los dos amortiguadores a gas .....	61
<b>Figura 44</b> 4-Link instalado en el vehículo táctico militar .....	61
<b>Figura 45</b> 4-Link terminado e instalado en el vehículo táctico militar .....	62
<b>Figura 46</b> Servofreno desmontado de la carrocería.....	66
<b>Figura 47</b> Comparación antes y después de adaptación.....	67
<b>Figura 48</b> Desmontaje de las pastillas de freno. ....	68
<b>Figura 49</b> Pastillas de Freno.....	68
<b>Figura 50</b> Desmontaje de zapatas y sus elementos. ....	69
<b>Figura 51</b> Remachado de Zapatas.....	69

<b>Figura 52</b> <i>Componentes de la dirección vehículo trooper.</i> .....	70
<b>Figura 53</b> <i>Elementos del sistema de tornillo sin fin y bolas recirculantes</i> .....	71
<b>Figura 54</b> <i>Columna de dirección adaptada en la carrocería.</i> .....	73
<b>Figura 55</b> <i>Base para sujeción de caja de dirección.</i> .....	73
<b>Figura 56</b> <i>Ubicación de la chapa de sujeción.</i> .....	74
<b>Figura 57</b> <i>Sujeción al Chasis</i> .....	74
<b>Figura 58</b> <i>Medición del peso total del vehículo</i> .....	75
<b>Figura 59</b> <i>Oscilaciones en el vehículo táctico militar</i> .....	76
<b>Figura 60</b> <i>Vista posterior del funcionamiento de la suspensión</i> .....	81
<b>Figura 61</b> <i>Vista lateral del funcionamiento de la suspensión 4-link.</i> .....	82
<b>Figura 62</b> <i>Informe 1 de Alineación. Datos Obtenidos.</i> .....	84
<b>Figura 63</b> <i>Diagrama del cuerpo libre de un neumático</i> .....	88
<b>Figura 64</b> <i>Informe 2 de balanceo. Geometría de la Dirección.</i> .....	90
<b>Figura 65</b> <i>Informe 3 de balanceo.</i> .....	91
<b>Figura 66</b> <i>Fuerzas en los frenos de disco</i> .....	95
<b>Figura 67</b> <i>Diagrama para el valor característico de los frenos</i> .....	96
<b>Figura 68</b> <i>Procesos de Frenado.</i> .....	98

## Resumen

Para el “Análisis, selección e implementación de los sistemas de suspensión, dirección y freno en un vehículo táctico militar para las Fuerzas Armadas”, se adquirió como base del proyecto un vehículo Trooper 4x4 (1990) donde se utilizó el bastidor y tren motriz original. A partir de las dimensiones del chasis se realizó un análisis previo para la selección de cada uno de los sistemas e implementarlos en un vehículo Off-Road todoterreno que servirá para patrullaje de las Fuerzas Armadas. Para la suspensión trasera se optó por la eliminación del conjunto de ballestas original y en cambio se logró la adaptación e instalación de un sistema multibrazo 4-Link compuesto por dos brazos superiores, dos brazos inferiores, y un par de amortiguadores a gas junto a un muelle de 500Lb por cada lado del eje trasero logrando una excelente estabilidad en cualquier tipo de camino y terreno. Para los sistemas de dirección y frenado se determinó que disponen de servoasistencia hidráulica, por lo que solo fue necesario dar mantenimiento y recambio de piezas desgastadas a estos sistemas. Una vez implementados todos los sistemas, se procedió a realizar el alineado y balanceo para verificar que los ángulos de caída, salida, avance y convergencia se encuentren dentro de los rangos que establece el fabricante.

*Palabras clave:* Vehículo táctico, Off Road, todoterreno, multibrazo, 4-link, servoasistencia

### **Abstract**

For the "Analysis, selection and implementation of suspension, steering and braking systems in a military tactical vehicle for the Armed Forces", a Trooper 4x4 vehicle (1990) was acquired as the basis of the project, where the original chassis and powertrain were used. Based on the dimensions of the chassis, a previous analysis was carried out to select each of the systems and implement them in an off-road off-road vehicle that will be used for patrolling by the Armed Forces. For the rear suspension we opted for the elimination of the original set of leaf springs and instead we achieved the adaptation and installation of a 4-Link multi-link system composed of two upper arms, two lower arms, and a pair of gas shock absorbers together with a 500Lb spring on each side of the rear axle achieving excellent stability on any type of road and terrain. For the steering and braking systems, it was determined that they have hydraulic servo assistance, so it was only necessary to provide maintenance and replacement of worn parts to these systems. Once all the systems were implemented, alignment and balancing were performed to verify that the camber, departure, caster and toe-in angles were within the ranges established by the manufacturer.

*Key words:* Tactical vehicle, Off Road, off-road, multi-link, 4-link, servo assistance

## Capítulo I

### Presentación del problema

#### Antecedentes

En Ecuador no existen regulaciones para los vehículos tácticos, limitando el patrullaje a caminos urbanos y algunos rurales; así como la dificultad de importación de vehículos especiales para uso militar, ya que táctico significa que han desarrollado tecnología, optimizando sus parámetros de funcionamiento para recorrer en rutas intransitables, dotando de mejores prestaciones en los sistemas de suspensión, dirección y frenado.

Uno de los problemas más frecuentes para el personal militar en el Ecuador, es la falta de control en ciertas zonas consideradas inaccesibles, esto es debido a la ausencia de vehículos tácticos capaces de llegar a estas zonas; cabe recalcar que los sistemas de suspensión, dirección y frenado instalados en los vehículos convencionales, en su mayoría no son aptos para recorrer en este tipo de terrenos de difícil acceso o a su vez en situaciones climatológicas extremas.

La obligación del personal militar seleccionado para movilización, es conocer acerca de los diferentes vehículos que tienen a su disposición, así como sus características y funciones, ya que son necesarias para su adecuada operación y manejo. Hay que dar especial énfasis a los sistemas de suspensión, dirección y frenado que va a tener instalado el vehículo táctico militar, ya que, en base al tipo de terreno y situaciones climatológicas adversas, se puede analizar y elegir los sistemas adecuados para poder cumplir con la misión encomendada.

Es por esto que existe un motivo de incentivo para la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas Extensión Latacunga, a generar ideas innovadoras y creativas de transporte enfocado a vehículos tácticos de uso militar, tomando en cuenta los avances tecnológicos que existe actualmente, para que de esta manera se pueda tener un funcionamiento óptimo de los sistemas de suspensión, dirección y frenado, usando herramientas como el diseño, análisis, selección, adaptación y optimización.

## **Planteamiento del problema**

En el país no existe regulaciones para vehículos tácticos de uso militar en tareas de rescate, patrullaje, entrenamiento de personal o asistencia ciudadana. Tampoco existe una guía para la selección, construcción, adaptación e instalación de sistemas de suspensión, dirección y freno aplicado en vehículos tácticos para recorrer en terrenos y caminos intransitables.

El problema que enfrenta hoy en día las Fuerzas Armadas, es no contar con suficientes vehículos tácticos que puedan recorrer por terrenos y situaciones climatológicas adversas; de tal manera, se propone el análisis, selección e implementación de estos tres sistemas en un vehículo táctico militar, que brinde al ocupante seguridad y confort al manejar, para que se pueda garantizar su funcionamiento y rendimiento de forma óptima, con el objetivo de difundir experiencias que sirvan como futuros estudios que involucren estos sistemas aplicados a este tipo de vehículos.

Por esto, se requiere un análisis técnico para determinar qué tipo de sistema se debe implementar, de acuerdo al diseño estructural del vehículo y de ser el caso, realizar posibles adaptaciones a la estructura u optimizar ciertos componentes de estos sistemas, con la finalidad de garantizar seguridad, confort y estabilidad del vehículo táctico militar.

Es por eso, que es fundamental asegurar la funcionalidad y la eficiencia de los sistemas de suspensión, dirección y frenado a partir de simulaciones, esquemas y cálculos que ayuden a realizar un análisis profundo de estos sistemas en el vehículo táctico militar.

Las Fuerzas Armadas del Ecuador brinda seguridad de la ciudadanía y desarrollo del país, es por eso que la Universidad de las Fuerzas Armadas, a través de la carrera de Ingeniería Automotriz pretende establecer un enfoque integrado, para analizar la funcionalidad y operatividad de los sistemas de suspensión, dirección y frenado, de forma que se pueda de evitar riesgos de accidentes, costos y tiempos de mantenimiento.

## **Justificación e importancia**

Este proyecto consiste en analizar, seleccionar, diseñar, adaptar e implementar los sistemas de suspensión, dirección y frenado para un vehículo táctico militar que que garantice un óptimo desempeño al recorrer por terrenos y situaciones climatológicas adversas, mediante el uso del software Solidworks para las simulaciones necesarias y la adquisición e implementación de los componentes precisos en estos sistemas, que cumplan todos los estándares de seguridad exigidos para esta clase de vehículo militar, además que contribuya como base para futuros proyectos de investigación para el mejoramiento del prototipo en su estructura o sus sistemas.

La finalidad del proyecto será la selección e implementación de estos sistemas en el vehículo táctico antes mencionado, el cual debe cumplir estándares de seguridad y fabricación basados en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034 el cual establece acerca de, “Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores”.

Para INEN (2016), “Este reglamento técnico va dirigido a todo vehículo que va a ingresar al parque automotor dentro del territorio ecuatoriano, estos pueden ser importados, ensamblados o fabricados en el país, es por eso que deben cumplir con los elementos mínimos de seguridad que establece esta normativa, además que son obligatorios” (p. 3).

El sistema de suspensión del vehículo táctico debe soportar el peso de toda la estructura, accesorios, sistema de propulsión y sistema de dirección. Razón por la cual el tipo de sistema debe ser elegido cuidadosamente, ya que de esto depende la seguridad de los ocupantes.

El sistema de dirección debe cumplir la fácil y adecuada maniobrabilidad del vehículo en terrenos y condiciones climáticas críticas.

El sistema de frenado debe ser optimizado por componentes que brinden seguridad, tomando en cuenta el peso y dimensiones del vehículo táctico militar.

## **Objetivos del proyecto**

### ***Objetivo general***

Seleccionar e implementar el sistema de suspensión, dirección y frenos para un vehículo táctico

### ***Objetivos específicos***

- Analizar e implementar un sistema de dirección para el vehículo táctico militar.
- Analizar e implementar un sistema de suspensión para el vehículo táctico militar.
- Analizar e implementar el tipo de sistema de frenos adecuado para el vehículo táctico militar.

## **Hipótesis**

El análisis, selección e implementación del sistema de suspensión, dirección y frenos permitirá obtener un vehículo que cumpla con las necesidades y seguridades que un vehículo táctico requiere, además es un transporte idóneo para su homologación en concordancia a lo que establece la Comisión Nacional de Transporte Terrestre, tránsito y seguridad vial.

## **Variables de investigación**

### ***Variables dependientes***

Proceso de análisis, selección e implementación

### ***Variable independiente***

Sistema de frenos, suspensión y dirección del vehículo táctico militar.

## **Capítulo II**

### **Marco teórico**

#### **Introducción**

El presente capítulo presenta la investigación bibliográfica de los sistemas de dirección, suspensión y frenado, referente a tipos, componentes, características y ventajas de cada uno de ellos al ser implementados en un vehículo táctico militar de patrullaje.

#### **Vehículo táctico militar**

Es aquel vehículo especializado que ha sido diseñado específicamente para el uso militar de las Fuerzas Armadas, debe cumplir ciertos requerimientos en las operaciones tácticas de patrullaje, control o combate y que su circulación sea en terrenos accidentados y situaciones climatológicas adversas. Es por eso, que el uso de estos vehículos por parte de las Fuerzas Armadas es de gran importancia, ya que permite contribuir significativamente en la conducción, estabilidad y comodidad de los ocupantes, ya que la instalación de los sistemas de suspensión, dirección y frenado que incorporan son optimizados y adaptados de tal manera, que brinden seguridad y ventaja sobre vehículos convencionales.

#### **Generalidades del sistema de frenos**

Este sistema es el encargado de reducir la velocidad del vehículo o a su vez detenerlo progresivamente o bruscamente sin perder la estabilidad del mismo. Es un conjunto de elementos que funcionan con una precisión tal, que si un componente llega a fallar podría ocasionar accidentes, es por eso que se debe estar pendiente de realizar los mantenimientos adecuados y evitar futuros problemas en el sistema.

Los tipos de sistemas de freno en un vehículo son por lo general: frenos de disco y frenos de tambor. Los más usados son los de disco debido a su gran capacidad de disipación de calor generado.

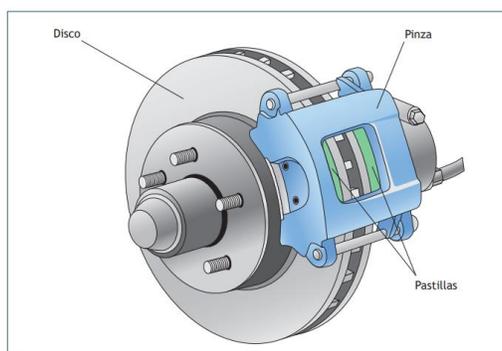
El reparto de la frenada se reparte un 60% a 70% en el eje delantero, ya que soporta el peso del motor y transmisión, y un 30% a 40% en el eje trasero.

## Frenos de disco

Es el más común y usado actualmente, su funcionamiento se basa en la fricción de dos componentes, para este caso específico el disco y las pastillas de freno. Al producirse este rozamiento se llega a producir la disminución de la velocidad o a su vez la detención del movimiento del disco que gira solidariamente junto a la llanta. Esta fricción producida comienza al pisar el pedal del freno por parte del conductor y gracias a la presión hidráulica, aumenta la presión en las tuberías del sistema, acciona los pistones, que a su vez empujan las pastillas contra el disco. (Borja, Fenoll, & Herrera, 2009)

### Figura 1

*Partes del freno de disco*



*Nota.* Tomado de *Sistemas de Transmisión y Frenado* (p. 172), por Borja, J. C., Fenoll, J., & de Herrera, 2009, Macmillan Iberia

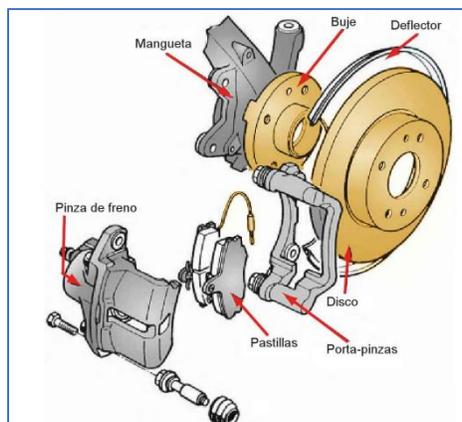
Este sistema es implementado por lo general en las ruedas delanteras, últimamente también en las ruedas traseras, la ventaja en comparación con los de tambor es que tiene una mejor refrigeración, a su vez que son más progresivos.

Está compuesto por:

- Un disco de freno, que a su vez puede ser ventilado o hiperventilado
- Una pinza de freno que sujetan el conjunto de las pastillas
- Un actuador hidráulico que activa los pistones del sistema, se encuentra en la pinza.
- Pastillas de freno, que es el componente principal de fricción.

## Figura 2

*Vista explosionada de un sistema de freno de disco*



*Nota.* Tomado de *Sistemas de Transmisión y Frenado* (p. 235), por Águeda Casado, Martín Navarro, & Gómez Morales, 2011, Paraninfo, SA

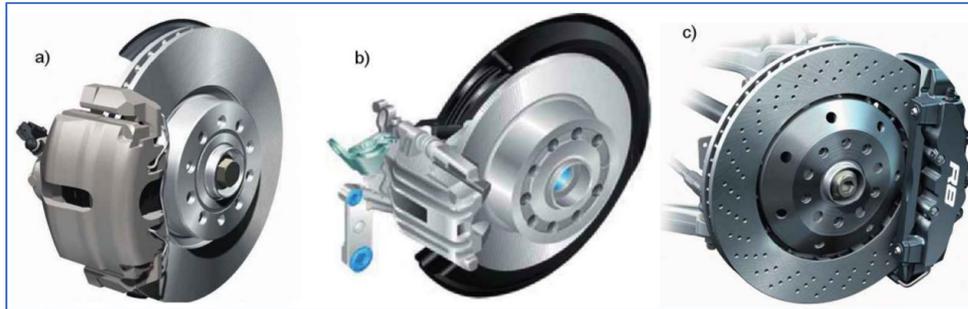
### **Discos de freno**

Es uno de los elementos de fricción del sistema, mediante el disco se puede ventilar y evitar que se caliente el conjunto. Por lo general son fabricados con acero aleado con cromo, para poder soportar las altas temperaturas que se generan por acción del frenado, a su vez no deben tener deformaciones (Borja, Fenoll, & Herrera, 2009)

También pueden ser fabricados en fundición gris nodular de grafito laminar, con un porcentaje de 92% Fe. Este hierro, también contiene, silicio y manganeso que significa alta calidad. Los discos pueden ser de dos tipos: macizos cuando no tiene ranuras o agujeros de ventilación o autoventilados. Estos últimos son los más usados en la actualidad ya que deben evacuar el calor generado. Disponen de unas ranuras en todo su perímetro o a su vez, pueden estar perforados para mejorar su refrigeración cuando el vehículo está en movimiento. En su superficie es donde va a producirse la fricción con las pastillas y así producir la frenada del vehículo. (Águeda Casado, Martín Navarro, & Gómez Morales, 2011)

### Figura 3

*Diferentes tipos de discos de freno.*



*Nota.* Tomado de *Sistemas de Transmisión y Frenado* (p. 236), por Águeda Casado, Martín Navarro, & Gómez Morales, 2011, Paraninfo, SA

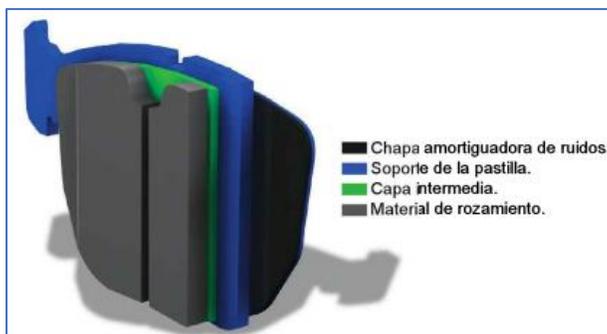
### **Pastillas de freno**

Es el segundo elemento de fricción que va a rozar con el disco para detener el vehículo o reducir velocidad. Está compuesto por una superficie metálica que servirá como apoyo al forro de frenos y pinza. La superficie del forro del disco de freno se acopla perfectamente a la superficie del disco. En las pastillas de freno también viene acoplado un cable que va a indicar el desgaste, en consecuencia, cuando el cable tiende a rozar el disco de freno, el sistema cierra el circuito eléctrico que enciende una luz mil en el tablero del auto, que indica el desgaste de pastillas. (Águeda Casado, Martín Navarro, & Gómez Morales, 2011)

Su composición es muy similar a la de un disco de embrague, ya que ambas deben tener una superficie de fricción. Además, el forro posee una especie de viruta metálica proporciona una mayor rigidez mecánica a las pastillas de freno (Borja, Fenoll, & Herrera, 2009).

#### Figura 4.

*Diferentes capas que puede llevar una pastilla.*



*Nota.* Tomado de *Sistemas de Transmisión y Frenado* (p. 240), por Águeda Casado, Martín Navarro, & Gómez Morales, 2011, Paraninfo, SA

Cada uno de las capas de la pastilla de freno están fabricados por diferentes compuestos, por lo general están hechos a base de fibras, materiales orgánicos que brindan una característica abrasiva, que es el encargado de producir el rozamiento, además algunas capas tienen láminas antruido que sirve para minimizar vibraciones producidas por el contacto entre el disco y la pastilla de freno. Existe dos tipos de pastillas en el mercado, por lo general pueden ser metálicos o sintácticos.

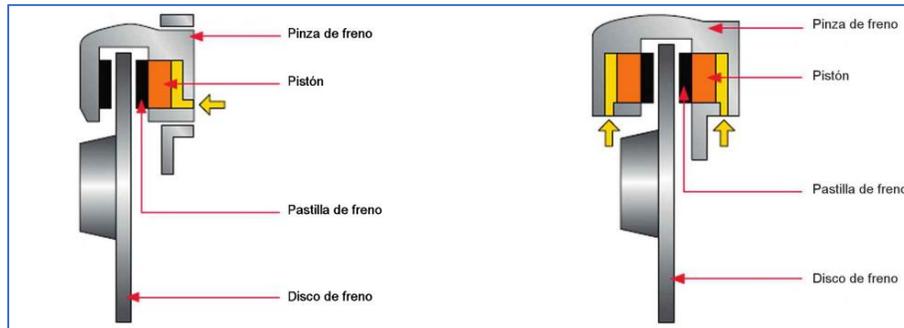
#### ***Pinzas de freno***

Es el elemento encargado de sujetar las pastillas de freno, además es donde es donde se instala el actuador hidráulico que activa los pistones, en algunos casos tiene una entrada para la tubería de presión y un orificio para purgar el aire del sistema. Existen de dos tipos, del tipo deslizante y fijas.

Las pinzas de tipo deslizante más habitual, disponen de uno o dos actuadores hidráulicos. Cuando se produce la frenada, el actuador hidráulico ejerce presión y empuja la pastilla, se produce el deslizamiento de la pinza y este a su vez se presiona contra el disco con la misma presión, además este es el encargado de regular la intensidad de frenado.

## Figura 5

*Pinza deslizante de un pistón y pinza fija de dos pistones*



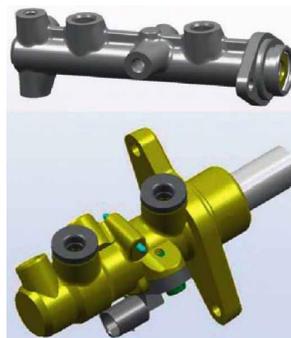
*Nota.* Tomado de *Sistemas de Transmisión y Frenado* (p. 237), por Águeda Casado, Martín Navarro, & Gómez Morales, 2011, Paraninfo, SA

## **Bomba de frenos**

Es el encargado de convertir la fuerza mecánica que se ejerce sobre el pedal del freno y lo multiplica en forma de presión hidráulica para frenar el vehículo. En su interior por lo general se encuentra un cilindro por donde se va a desplazar dos pistones. Cuando se acciona el pedal de frenado, el desplazador o émbolo que se une a la bomba provoca el movimiento de estos pistones y comprime el líquido hidráulico, generando la subida de presión en el circuito.

## Figura 6

*Distintas bombas de freno*



*Nota.* Tomado de *Sistemas de Transmisión y Frenado* (p. 243), por Águeda Casado, Martín Navarro, & Gómez Morales, 2011, Paraninfo, SA

**Principio de funcionamiento del circuito hidráulico.** Está basado en el principio de Pascal donde se determina que la presión ejercida en un líquido, en este caso líquido de freno, se va a transmitir con similar intensidad y en todas las direcciones en la masa de ese líquido. La bomba dispone de un cilindro por el cual se desplazan dos pistones y a su vez comunica por una serie de conductos con los actuadores hidráulicos. Cuando se produce la frenada, el desplazamiento de los pistones internos de la bomba, se produce por la fuerza y presión aplicada al pedal de freno, se produce un desplazamiento de los actuadores hidráulicos que a su vez desplazarán a los elementos de frenado. Una vez que los elementos de frenado han hecho tope, la presión hidráulica aumentará y con ello la presión ejercida sobre los elementos de frenado (Bustamante, 2022).

**Tabla 1**

*Características del circuito principal de freno*

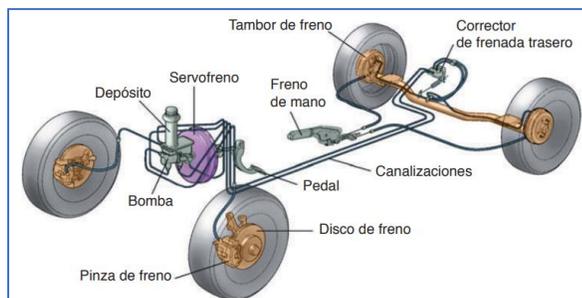
<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
<b>Nro de circuitos</b>	- Dispone de un circuito de freno mixto, tanto para el eje delantero y eje trasero. - 2 circuitos independientes, el eje delantero y el eje trasero.
<b>Fuerza en el pedal</b>	- 800 N Aprox.
<b>P<sub>MAX</sub> en el circuito</b>	- Varía entre 20 – 50 bar
<b>Relación mecánica del pedal</b>	5:1 8:1

*Nota.* Tomado de *Sistemas de Transmisión y Frenado* (p. 229), por Domínguez, E. J., & Ferrer, J, 2012, Editex

La servoasistencia en un sistema de freno hidráulico es la de multiplicar la fuerza que se aplica en el pedal y convertirla a mayor presión de frenado mediante fluido hidráulico, por lo tanto, se conseguirá mayor comodidad y seguridad al conductor, así como una mejor precisión y seguridad en la frenada. La multiplicación de la fuerza aplicada, puede llegar a cinco veces la fuerza aplicada en el pedal de freno (Águeda Casado, Martín Navarro, & Gómez Morales, 2011).

## Figura 7

### *Circuito de freno hidráulico*

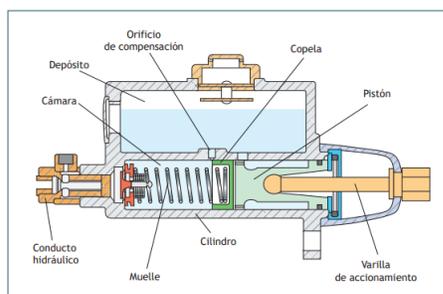


*Nota.* Tomado de *Sistemas de Transmisión y Frenado* (p. 229), por Domínguez, E. J., & Ferrer, J, 2012, Editex

**Funcionamiento interno de la bomba de freno.** Cuando el conductor presiona el pedal de freno, la varilla va a empujar al pistón interno, y este a su vez se va a desplazar por el cilindro, con la finalidad de enviar el líquido de frenos a presión, hasta los cilindros de frenado. En ese momento, la presión que se ha generado se traslada a través de las tuberías, hasta los pistones o bombines, accionándolos y activando los elementos de fricción, iniciándose así la frenada (Carpio Cueva, 2018).

## Figura 8

### *Partes de la bomba de freno*

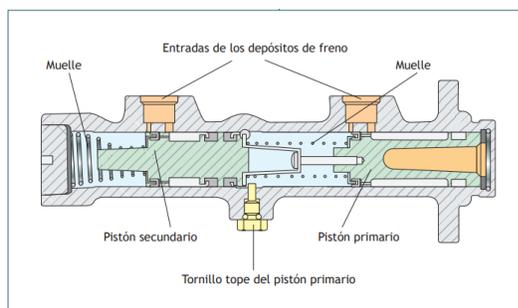


*Nota.* Tomado de *Sistemas de Transmisión y Frenado* (p. 184), por Borja, J. C., Fenoll, J., & de Herrera, 2009, Macmillan Iberia

**Bomba tándem de freno de doble cuerpo.** El pistón primario se activa por el mando de accionamiento que lo une al pedal de freno, mientras el pistón secundario se activará por medio del muelle que se encuentra entre el pistón primario y secundario. Se produce el aumento de la presión en la primera cámara. De esta forma se suman las fuerzas del muelle y de la presión generada de los dos pistones, las cuales se generan en un mismo sentido (Coello Triay, 2018).

### Figura 9

*Estructura de la bomba de freno de doble cuerpo*



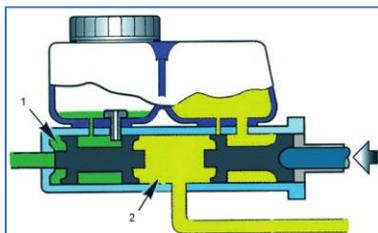
*Nota.* Tomado de *Sistemas de Transmisión y Frenado* (p. 185), por Borja, J. C., Fenoll, J., & de Herrera, 2009, Macmillan Iberia

### **Depósito de líquido de freno**

Su función es alimentar a los circuitos hidráulicos de forma independiente dispone de un medidor de nivel que consiste en un flotador, de tal forma que, si baja el nivel de líquido de forma crítica, se cerrará el circuito eléctrico del sistema y se prenderá una luz mil de freno.

### Figura 10

*Circuitos de la bomba totalmente independientes*



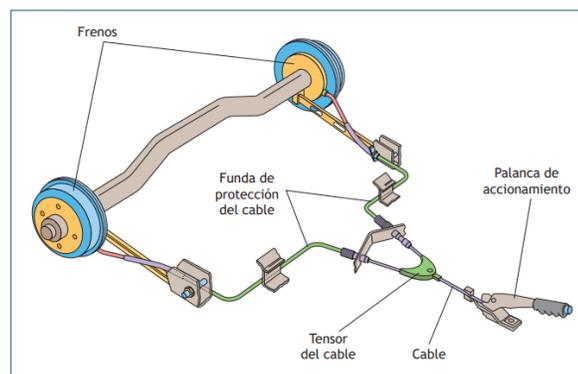
*Nota.* Tomado de *Sistemas de Transmisión y Frenado* (p. 244), por Águeda Casado, Martín Navarro, & Gómez Morales, 2011, Paraninfo, SA

### **Frenos de tambor**

Se utiliza normalmente en las ruedas traseras, se lo denomina como freno de estacionamiento o de emergencia y su principal función es inmovilizar el vehículo en un lugar determinado, su accionamiento es manual y por lo general mediante una palanca, la cual debe estar calibrada de la mejor manera para su correcto funcionamiento.

### **Figura 11**

*Partes y el funcionamiento del sistema de freno de tambor*

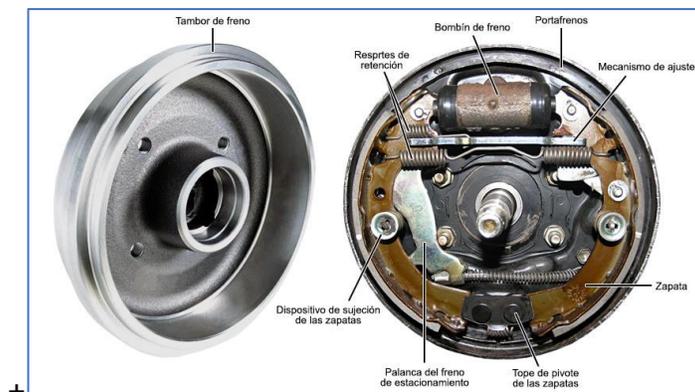


*Nota.* Tomado de *Sistemas de Transmisión y Frenado* (p. 178), por Borja, J. C., Fenoll, J., & de Herrera, 2009, Macmillan Iberia

El funcionamiento es sencillo, el conductor detiene el vehículo y para bloquearlo debe apretar un botón que se encuentra en un extremo de la palanca y la debe levantar, esto tensionará un cable acerado, y este a su vez al ser arrastrado produce la expansión de las zapatas, contra el tambor mediante palancas y muelles. La desventaja principal es que no tiene suficiente ventilación para su refrigeración, lo que provoca pérdida de frenado producida por el aumento de temperatura, es por esto que este sistema está casi obsoleto en los vehículos actuales.

**Figura 12**

*Componentes internos del sistema de freno de tambor*



*Nota.* Tomado de *Frenos de tambor, accesibles, más superficie de frenado, pero débiles ante el calor* [Ilustración], (Juarez, 2020), MotorPasión ([Frenos de disco vs. frenos de tambor: diferencias y ventajas \(motorpasion.com.mx\)](https://www.motorpasion.com.mx))

**Tabla 2**

*Características del sistema de freno de tambor*

Característica	Descripción
<b>Accionamiento</b>	Mecánico con inmovilizador por muescas (trinquete)
<b>F<sub>Max</sub> de accionamiento</b>	400N Máximo
<b>Relación de la palanca</b>	15:1
<b>Valor de la frenada</b>	20% del frenado total
<b>Desaceleración media</b>	1,5 m/s <sup>2</sup> mínimo

*Nota.* Tomado de *Sistemas de Transmisión y Frenado* (p. 231), por Domínguez, E. J., & Ferrer, J, 2012, Editex

## **Sistema De Suspensión**

### **Generalidades Del Sistema de Suspensión**

El sistema de suspensión es el encargado de soportar todo el peso del automóvil con sus ocupantes, todos sus elementos deben ser resistentes para que soporten cargas que puedan llegar a deformarlos.

Existen pesos y sistemas del automóvil sostenidos por la carrocería llamado masa suspendida dentro de estos consta, además:

- Chasis
- Carrocería
- Grupo del motor
- Pasajeros
- Carga

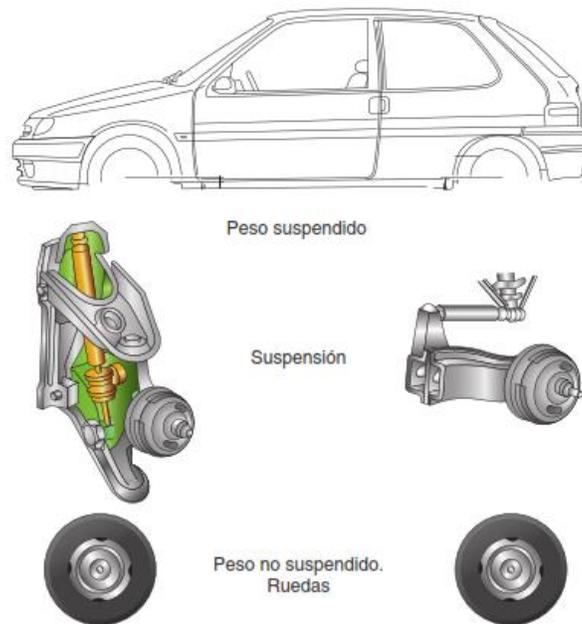
Otros que soportan en firme denominados masa no suspendida como:

- Eje
- Ruedas

El sistema de suspensión interpone elementos y mecanismos entre la carrocería y las ruedas que absorben las irregularidades del camino.

### Figura 13

*Didáctica de la suspensión.*



*Nota.* Imagen tomada de (Gonzalez et al., 2011)

La misión del sistema de suspensión es:

- Proteger a los ocupantes del auto de las irregularidades del camino.
- Contribuir a la seguridad pasiva del auto.
- Mejorar la estabilidad y la maniobrabilidad de la dirección.

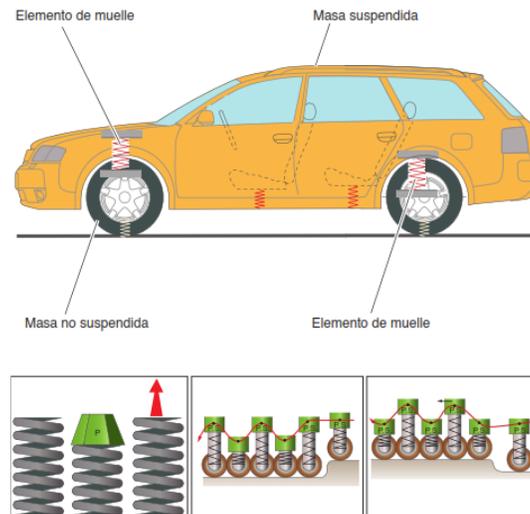
### ***Elementos de la Suspensión Convencional***

**Resortes.** Son elementos de materiales muy resistentes como aleaciones de manganeso o silicio, consiguiendo una alta resistencia a la elasticidad y resistencia mecánica. De acuerdo a su constitución son de muelles, ballestas y barras de torsión.

**Muelles.** Formados por una varilla de forma cilíndrica de entre 5 y 7 mm de radio de un acero especial formado en forma de hélice. Este muelle trabaja a torsión por los esfuerzos que soporta, disminuyendo su longitud cuando existen cargas y regresan a su posición natural por su coeficiente de elasticidad. (González et al., 2011).

### **Figura 14**

*Funcionamiento del muelle en el vehículo.*



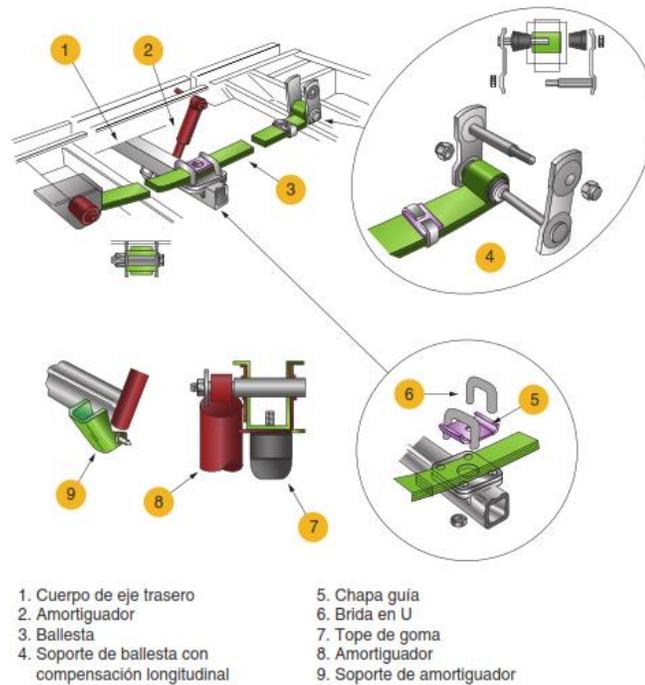
*Nota.* Figura tomada de (Gonzalez et al., 2011)

**Ballestas.** Están formadas por laminas superpuestas, de diferentes medidas hechas de acero. En cuanto a elasticidad no tienen un excelente rendimiento, en este tipo de muelles se

une por pernos, y por abrazaderas permitiendo que las ballestas se deslicen soportando el peso. (Gonzalez et al., 2011)

### Figura 15

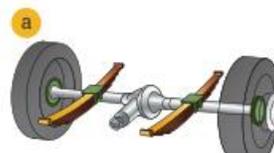
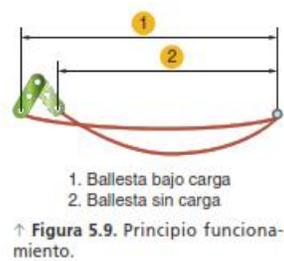
Construcción y Sujeción de ballestas.



Nota. Imagen tomada de (Gonzalez et al., 2011)

### Figura 16

Armado de ballesta.



Nota. Figura tomada de (Gonzalez et al., 2011)

**Barra De Torsión.** El principio de funcionamiento de la barra de torsion lo podemos comprobar cuando sujetamos una barra de acero por un lado, y por el otro extremos aplicaremos un par de giro, el efecto que vamos a tener es que la barra se va a oponer al par que es del mismo valor al aplicado pero de sentido contrario, es asi como funciona la barra de torsion.

**Figura 17**

*Funcionamiento de la barra de torsión.*

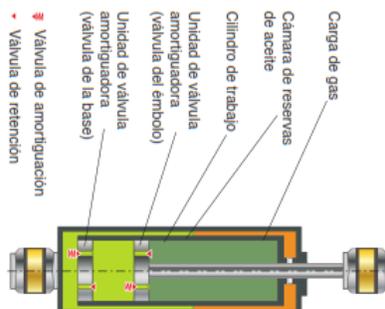


*Nota.* Figura tomada de (Gonzalez et al., 2011)

**Amortiguadores.** El amortiguador entra en funcionamiento cuando la rueda choca o pasa un obstáculo, el amortiguador absorbe las acciones y reacciones de la rueda, el resorte y el peso del auto. Funciona deslizando un pistón dentro de un cilindro que contiene un fluido, para que el pistón se mueva por simple efecto debe existir un paso del fluido de un lado a otro.

**Figura 18**

*Funcionamiento del amortiguador*



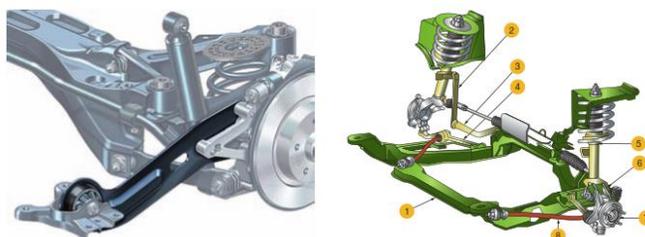
*Nota.* Figura tomada de (Gonzalez et al., 2011)

El cilindro de amortiguador va sujeto al chasis y el pistón del mismo montado sobre el eje de suspensión. consiguiendo que el aire quede siempre en la parte superior del amortiguador. (Gonzalez et al., 2011).

**Tirantes o Estabilizadores Longitudinales.** Son hechos de acero, en sus extremos tiene articulaciones elásticas. Une la suspensión con el chasis para absorber y controlar los esfuerzos al momento de frenar el vehículo. (Gonzalez et al., 2011)

### Figura 19

*Tirantes o estabilizadores longitudinales.*

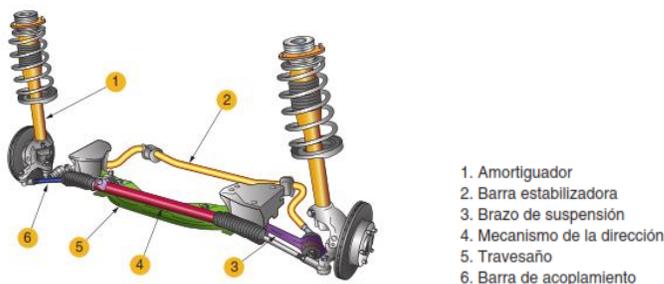


*Nota.* Figura tomada de (Gonzalez et al., 2011)

**Barra Estabilizadora.** Las barras estabilizadoras se montan en los trenes delanteros y traseros para ayudar a que el vehículo se mantenga estable al suelo principalmente al ingresar a una curva ya que siempre tiende a inclinarse y sufrir un vuelco. Estas barras son hechas de un acero con propiedades elásticas realizando una oposición a los desplazamientos, la barra compensa el esfuerzo de una rueda sobre la otra de un mismo eje. (Gonzalez et al., 2011).

### Figura 20

*Barra estabilizadora*



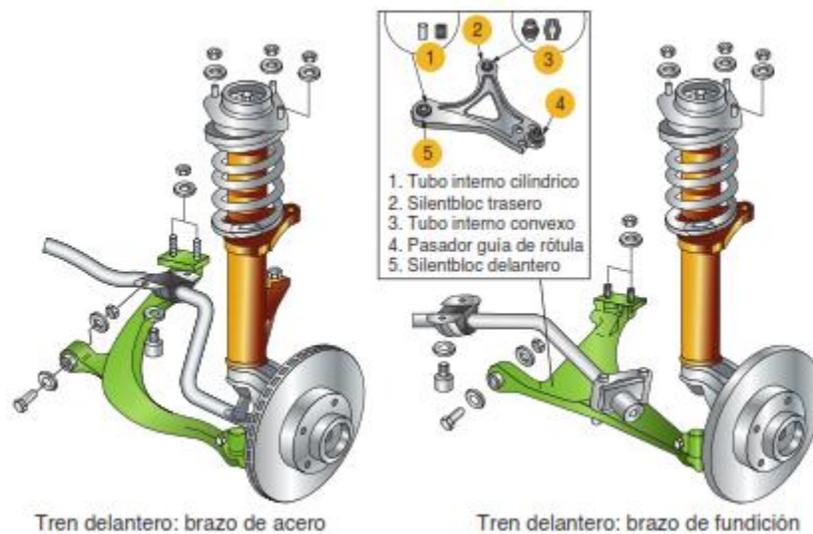
*Nota.* Figura tomada de (Gonzalez et al., 2011)

**Brazos de Suspensión.** Los brazos de suspensión son utilizados en los autos con ruedas independientes, la misión de estos brazos es:

- Unir al bastidor con las ruedas.
- Soportar amortiguador junto con su resorte.

**Figura 21**

*Brazos de Suspensión.*



*Nota.* Figura tomada de (Gonzalez et al., 2011)

### ***Tipos de suspensión***

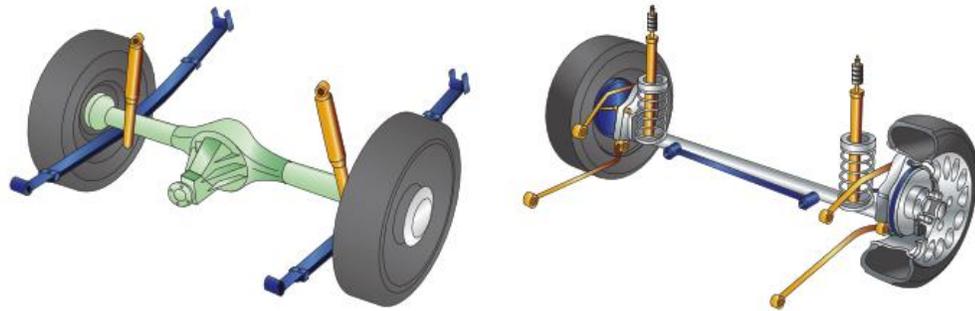
Los tipos de suspensión van de acuerdo a las prestaciones y el confort que se desea tener, si es de accionamiento delantero o trasero. Se clasifican en:

- Suspensiones Rígidas
- Suspensiones semirrígidas.
- Suspensión Independiente

**Suspensión Rígida.** En este tipo de suspensión, las ruedas van ensambladas bajo su mismo eje. En el caso de una irregularidad en un neumático repercute también en la otra, produciendo incomodidad en la cabina y la carrocería. En el caso de chocar con un obstáculo este tipo de suspensión no mantiene su posición horizontal.

## Figura 22

### *Tipos de suspensión rígida*



*Nota. Figura toma de (Gonzalez et al., 2011)*

**Suspensión Semirrígida.** Se utiliza cuando las ruedas están unidas la una con la otra, son:

- Con eje de Dion.
- Con eje de Deltalink.

**Suspensión Independientes.** Con las suspensiones independientes se reduce la inestabilidad y se mejora el confort de los ocupantes, al mismo tiempo que reduce las oscilaciones de una rueda a la otra. Con esto se reduce el peso suspendido, tenemos reducción de peso a las ruedas y menos movimiento dirigido a la carrocería.

Pueden ser:

- Brazos tirados con barras de torsión.
- McPherson.
- Paralelogramo deformable.
- Multibrazo.

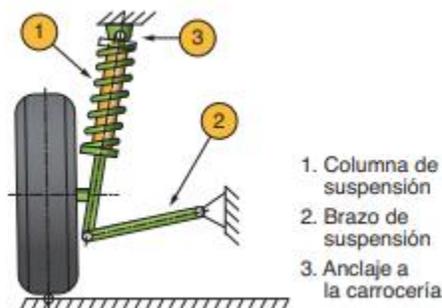
**Suspensión De Brazos Tirados y con Barras de Torsión.** En esta suspensión su característica principal es llevar sus brazos juntos por un extremo a la carrocería y por el otro extremo a la rueda. Cuando disponemos de un eje de tracción, las llantas son arrastradas por

los brazos que hacen pivote en la sujeción de la carrocería. Emplea la barra de torsión como elemento elástico. (González et al., 2011)

**Suspensión McPherson.** Este tipo de suspensión es el más utilizado en la parte delantera, lleva un brazo oscilante unido a la carrocería por cojinetes que se deforman y regresan a su estado natural, y el otro extremo unido a la mangueta mediante una rótula, esta a su vez unida a la parte superior del amortiguador apoya el resorte en una plataforma y en el extremo superior se apoya a la carrocería.

### Figura 23

*Suspensión McPherson*



*Nota.* Figura tomada de (Gonzalez et al., 2011)

**Suspensión en Paralelogramo Deformable.** Lo conforma dos brazos en forma de triángulo que van formando el paralelogramo, uno superior y otro inferior unido a la carrocería mediante cojinetes elásticos de esta manera cerrando el paralelogramo, unido a la mangueta se va articulando por medio de rótulas.

**Suspensión Multibrazo.** Este tipo de suspensión tiene varios guías unidos por cojinetes permitiendo modificar todos los parámetros que tiene la rueda, así como la convergencia obteniendo mejor contacto con el suelo. (Gonzalez et al., 2011)

### ***El Centro de Gravedad***

En un auto, el centro de gravedad es el punto en el que se considera que actúa el peso del mismo. Su ubicación es importante para conocer el comportamiento dinámico del vehículo.

Para encontrar este punto es importante encontrarlo con al menos un ocupante, de esta manera el punto estará apegada a la realidad del vehículo en conducción.

### **Centro de Balanceo**

El centro de Balanceo está relacionado con las fuerzas laterales que desarrollan las ruedas. Estos efectos se deben al centro de balanceo que se transmiten a las masas suspendidas, que afectan al movimiento de las mismas como al de las masas que no están suspendidas. Interviniendo en la dirección del vehículo al momento de girar. El centro de suspensión depende de cada tipo de sistema y está definido por la coordenada que cruza atravesando los centros de las ruedas en el plano vertical.

### **Sistema de Dirección**

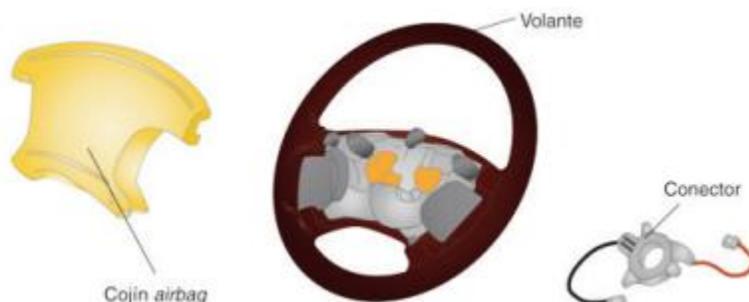
El sistema de dirección consta de un volante que va unido a una columna de dirección que conduce el movimiento a una caja de dirección. Su misión es dirigir las ruedas, brindar estabilidad y seguridad al conducir.

### **Elementos de la dirección**

**Volante.** El volante ayuda a reducir el esfuerzo de mover la dirección, en la actualidad el volante tiene mejores prestaciones, como su mando e incorpora un airbag para el conductor.

### **Figura 24**

*El Volante*

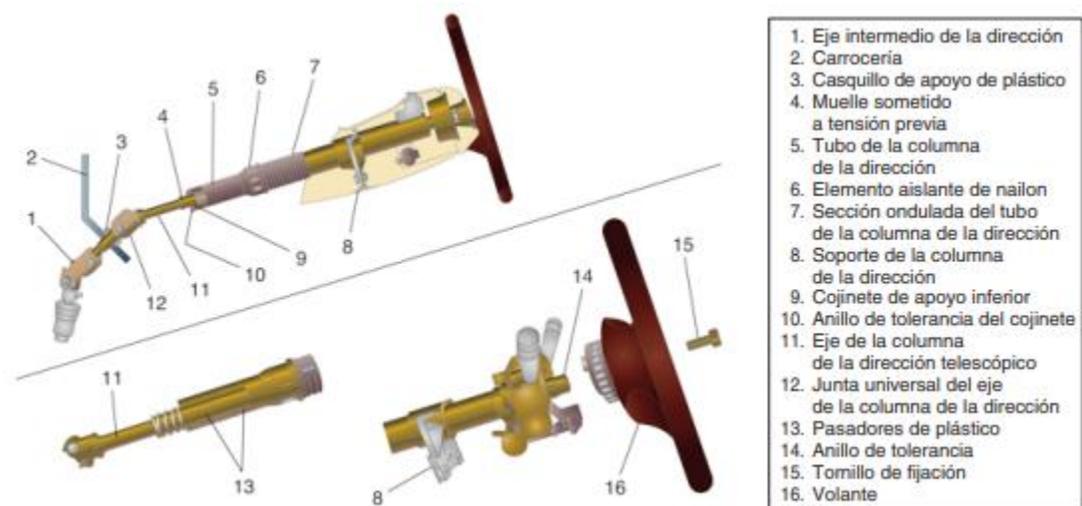


*Nota.* Figura tomada de (Gonzalez et al., 2011)

**Columna de dirección.** Es la encargada de unir el volante con la caja de dirección, esta permite además ajustar la altura del volante, en la actualidad está formada por columnas retráctiles de 3 y 4 fases que permiten deformarse fácilmente en caso de un accidente de impacto frontal.

**Figura 25**

*Configuración de la columna de dirección.*



*Nota.* Figura tomada de (González et al., 2011)

**Cajetín de dirección.** El cajetín de dirección se encarga de modificar el movimiento lineal rectilíneo en transversal que, mediante barras, rotulas y demás mecanismos permiten el movimiento de la dirección en general. Esta caja de dirección tiene la misión de desmultiplicar y reducir el esfuerzo del volante. Existen diferentes tipos de dirección como:

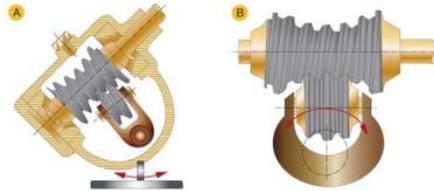
- Cremallera.
- Tornillo sinfín, con sector dentado, rodillo, dedo, tuerca o bolas recirculantes.

**Cajas de Tornillo Sinfín.** Este tipo de cajas de dirección están basadas en el funcionamiento de un engrane sinfín, unido a la columna de dirección transmitiendo la acción de rotación de esta a un elemento que se une por el mismo mediante un engranaje, la unión

puede ser por tuerca, o rodillo, enviando la acción a la palanca de ataque y de esta sale el movimiento a la barra de acoplamiento. (González et al., 2011)

### Figura 26

*Tornillo Sinfín*



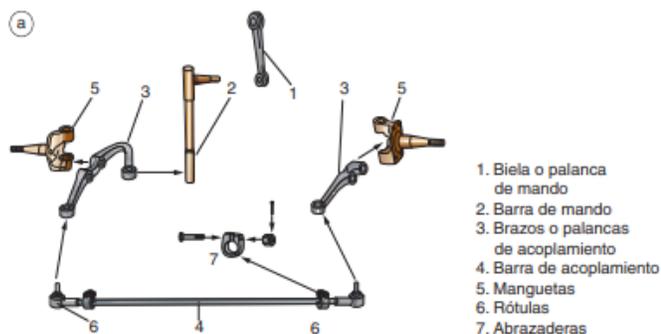
*Nota.* Figura tomada de (González et al., 2011)

**Tirantes de la dirección.** Los tirantes de la dirección están formados por un grupo de partes que ayudan a transmitir el movimiento a las ruedas, los elementos que la conforman cambian de acuerdo a si son direcciones de cremallera o de tornillo sinfín. Los elementos más representativos de los tirantes de dirección son:

- Biela de mando, llamada también palanca de ataque.
- Barra de mando
- Brazos de acoplamiento o sujeción.
- Barras de acoplamiento o sujeción.
- Rótulas

### Figura 27

*Tirantería de la dirección a) de Tornillo sinfín b) de cremallera.*



*Nota.* figura tomada de (Gonzalez et al., 2011)

## Geometría de la Dirección

Todos los elementos que conforman la dirección deben cumplir con requisitos de geometría que no interfieran en la armonía y el correcto funcionamiento de la dirección en línea recta o en curva, todos estos requisitos están regidos por la geometría de giro y geometría de rueda.

### Geometría de giro.

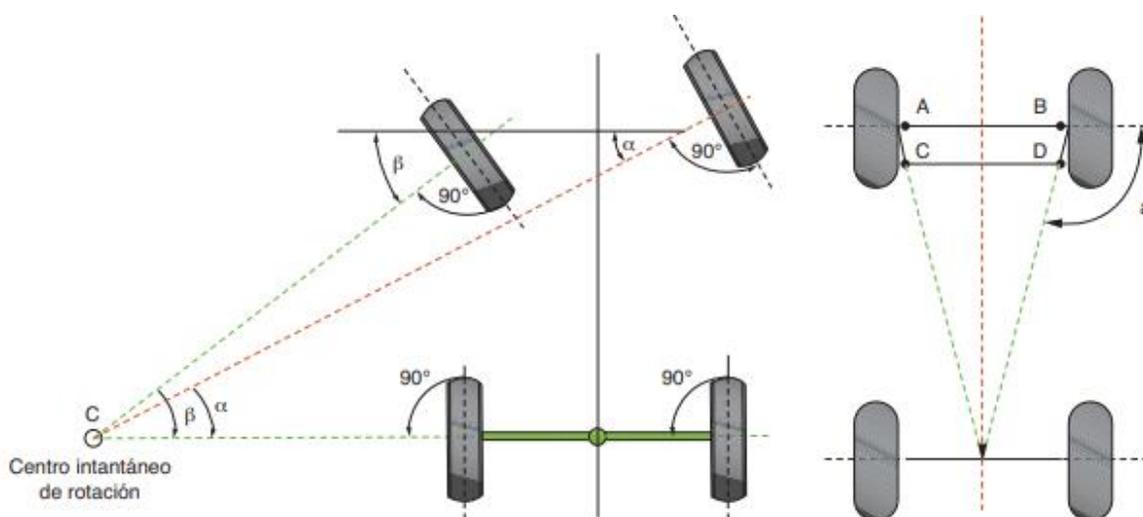
La geometría de giro solamente es entendida cuando el auto ingresa a una curva, en este caso la trayectoria de las ruedas es diferente las interiores de las exteriores, así como las delanteras y posteriores porque van en diferentes radios de curvatura.

Conseguimos la geometría de giro inclinando a los brazos de sujeción a unos ciertos grados para que el vehículo cuando tome una curva lo haga en línea recta.

Para conseguir que las ruedas tomen esta posición rectilínea es necesario tener un trapecio, llamado de Ackerman que se encuentra formado por un eje delantero, 2 brazos de sujeción y una barra de acoplamiento.

### Figura 28

*Centro instantáneo de rotación y trazado recto*



*Nota.* En la figura se observa que las ruedas tienden a arrastrarse cuando ingresa a una curva

Figura tomada de (Gonzalez et al., 2011)

Para evitar que las ruedas se arrastren se debe cumplir el principio de Ackerman el que menciona que las direcciones descritas por los 4 neumáticos del automóvil han de ser circunferencias concéntricas al ingresar a una curva.

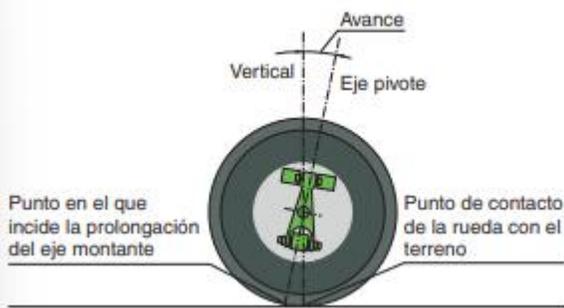
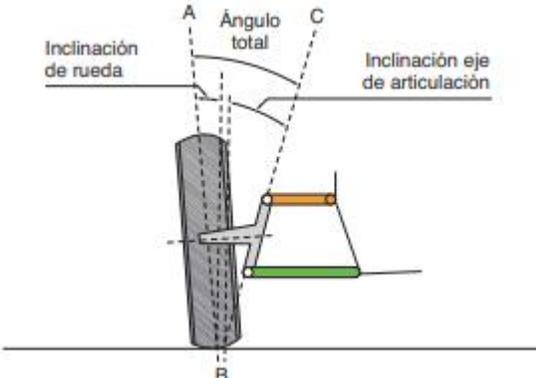
### **Centro de Ruedas**

Es indispensable que la dirección del auto sea segura y no se vea alterada por las desigualdades del camino. Para esto es necesario que los neumáticos cumplan con un estado geométrico que se las conocen como cotas de dirección que son:

### **Tabla 3**

#### *Condiciones de Centro de Ruedas*

<b>CONDICIONES GEOMÉTRICAS</b>	<b>EXPLICACIÓN</b>	<b>IMAGEN</b>
<b>ÁNGULO DE CAÍDA</b>	<p>Para entenderlo trazamos una horizontal junto con el eje de mangueta. Comprendido entre 0 y 2°. Hace converger a las 2 ruedas en el suelo. Evita el desgaste de los neumáticos. Compensa la deformación del eje delantero. Reduce la dificultad al girar el volante.</p>	
<b>ÁNGULO DE SALIDA</b>	<p>Es la extensión del eje de pivote, sobre el que rota la rueda. Es optimo que coincida con la mitad de la rueda sobre el suelo y la extensión del eje de pivote. Con esto se consigue menorar la dificultad al momento de dar dirección a las ruedas. Favorecer el retorno de la dirección.</p>	

CONDICIONES GEOMÉTRICAS	EXPLICACIÓN	IMAGEN
<b>ANGULO DE AVANCE</b>	<p>Formado por la extensión del eje del pivote con la vertical que atraviesa el centro de la rueda y su avance.</p> <p>Propulsión delantera: no existe el arrastre de ruedas delanteras por lo que en este caso el ángulo es de entre 0 y 3 °.</p> <p>Propulsión trasera: genera un arrastre en las ruedas delanteras produciendo falta de estabilidad en la dirección Se corrige inclinando al eje de pivote de entre 5 y 10 °</p> <p>Ayuda a mantener la dirección estable.</p> <p>Favorece en la reversibilidad del volante</p>	
<b>ANGULO INCLUIDO</b>	<p>Es el ángulo entre el eje de articulación y el eje de rotación. Apareció el concepto de coordenadas conjugadas, consistente en un ángulo incluido y un ángulo de ataque. Reduce el desgaste de las rótulas y rodamientos.</p>	

CONDICIONES GEOMÉTRICAS	EXPLICACIÓN	IMAGEN
<b>CONVERGENCIA</b>	<p>Determina el paralelismo de los ejes alargados de las ruedas con el sentido de la marcha del vehículo visto desde arriba del auto.</p> <p>Permite girar las ruedas paralelas todas entre sí y evitar que las ruedas derrapen. Es medida en mm de la distancia recorrida delante y detrás teniendo una tolerancia de entre 0 y 5 mm.</p>	<p>El diagrama ilustra la convergencia de un eje de vehículo. Se muestran dos ejes longitudinales de las ruedas que convergen hacia el eje longitudinal del vehículo. Se indican distancias A y B, y ángulos de las llantas de 15° y 13°.</p>

*Nota.* Descripción de los ángulos presentes en las llantas del vehículo

## Capítulo III

### Desarrollo de la propuesta

#### Introducción del capítulo

Este capítulo contiene los datos obtenidos del vehículo y el desarrollo de la propuesta explicando las modificaciones, adaptaciones, proceso de construcción y armado de los sistemas de suspensión, dirección y frenado del vehículo táctico militar, a fin de conseguir que los sistemas mencionados brinden estabilidad, seguridad y confort a los ocupantes.

#### Sistema de suspensión del vehículo táctico militar

##### *Datos previos de la suspensión del vehículo original Trooper (1990) 4WD*

**Tabla 4**

*Datos de suspensión original del Trooper (1990) 4WD*

<b>Suspensión</b>	<b>Descripción</b>
<b>Delantera</b>	Independiente, de doble horquilla con barra de torsión y barra estabilizadora, con amortiguadores hidráulicos telescópicos de doble acción
<b>Trasera</b>	Muelles semielípticos reforzados con amortiguadores telescópicos hidráulicos de doble acción.

*Nota.* Tipo de suspensión que especifica el fabricante de Trooper.

El vehículo adquirido inicialmente va a servir como base en lo que respecta a bastidor, motor, transmisión, dirección, suspensión y sistema de frenos. En el caso de la suspensión delantera, se tiene un sistema independiente McPherson por lo cual es idóneo para el vehículo táctico militar a diferencia de la suspensión trasera la cual es mediante ballestas y por lo tanto requiere que se instale y adapte otro tipo de sistema de suspensión adecuado al tipo de uso y terreno que va a recorrer el vehículo.

## Figura 29

*Vehículo Trooper 4x4 (1990) adquirido inicialmente*



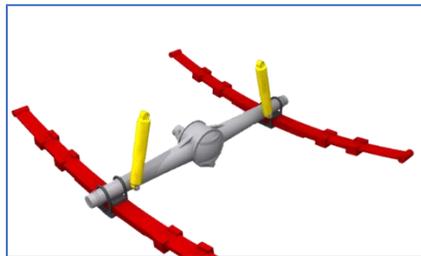
*Nota.* Vehículo Trooper adquirido para el proyecto

### ***Selección del sistema de suspensión trasero***

Para la selección del sistema de suspensión trasero, se debe tomar en cuenta la función principal del vehículo, el cual es táctico militar, por lo cual debe recorrer por caminos y terrenos de difícil accesibilidad, así como brindar seguridad y estabilidad en todo momento del trayecto.

## Figura 30

*Ballestas reforzadas con amortiguadores hidráulicos*



*Nota.* Tomado de *Suspensión* [Ilustración], (Pacheco, 2017), DAUTOMOTRIZUFT ([Suspensión - Diseño Automotriz UFT \(weebly.com\)](#))

Se ha elegido eliminar la suspensión original de ballestas, ya que no cumple con las exigencias de confort y estabilidad en este tipo de vehículo, además que su configuración original era de suspensión de eje rígido que a su vez conecta ambas ruedas y cualquier tipo de movimiento que afecte a una de ellas, transmite a la otra. Es una gran desventaja ya que en

caminos irregulares se puede llegar a perder parte del contacto del neumático y a su vez deslizamientos no deseados del vehículo.

### **Figura 31**

*Suspensión trasera original de ballestas y amortiguador telescópico*



*Nota.* Sistema por ballestas del vehículo original

### ***Suspensión trasera 4-Link para el vehículo táctico militar***

Al suprimir el sistema de ballestas anterior ya obsoleto, es primordial que se implemente un nuevo sistema de suspensión acorde a los requerimientos de este vehículo militar, es por eso que se ha instalado una suspensión multibrazo (multilink), específicamente de 4 brazos o también conocida como suspensión 4-Link.

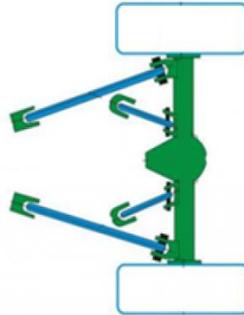
Se ha optado por implementar uno de los sistemas más fiables en vehículos off-road, que es la característica primordial en un vehículo táctico militar, ósea que específicamente va a circular fuera de la carretera, un vehículo todoterreno, es por eso que no todos los autos llevan este tipo de suspensión, ya que es un esquema mucho más complejo de instalar y su coste es elevado en comparación con el resto de sistemas de suspensión.

El punto fuerte de este sistema son los terrenos accidentados, irregulares o rocosos, ya que siempre va a permitir que la llanta siempre esté en contacto con la superficie.

Esta suspensión está formada por cuatro brazos longitudinales, dos de estos son conocidos como enlaces superiores y los dos sobrantes conocidos como enlaces inferiores, estos a su vez están anclados en una parte del bastidor.

### Figura 32

*Distribución de brazos en el sistema 4-Link*



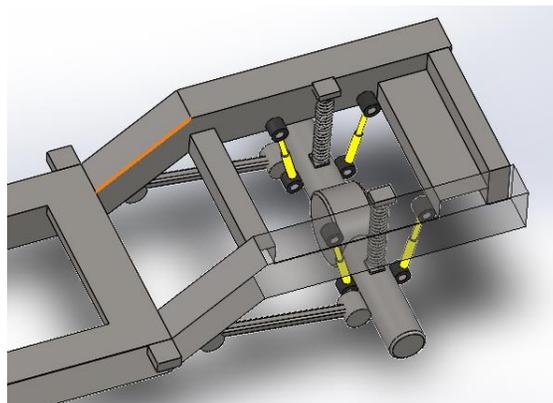
*Nota.* Tomado de *Suspensión* [Ilustración], (Vigliani, 2021), DAUTOMOTRIZUFT ([El sistema de suspensión en Autos de Competición. - IAD](#))

### **Implementación del sistema de suspensión trasera 4-link**

#### **a) Elaboración del boceto de la suspensión 4-Link para el vehículo**

### Figura 33

*Boceto en Solidworks de la suspensión 4-link junto al bastidor*



*Nota.* Boceto realizado en Solidworks del nuevo sistema de suspensión

Se tomó como base el bastidor previamente diseñado del vehículo, con el fin de tener medidas reales de ángulos y longitud de los brazos superiores e inferiores de la suspensión,

así como los puntos de sujeción de cada uno en el bastidor. Se puede observar que se tiene un gran espacio libre, por lo cual se decidió colocar dos amortiguadores, acompañados de una espiral en cada lado del sistema. Con este boceto se puede ya determinar que piezas se requieren para comenzar con la instalación.

### b) Adquisición de los componentes del sistema de suspensión 4-link

#### Figura 34

*Amortiguadores de gas y espirales para la suspensión trasera 4-link*



*Nota.* Piezas nuevas adquiridas para la instalación

Después de realizar el boceto de la suspensión 4-link y la disposición de sus brazos, se adquirió los siguientes componentes que se detallan a continuación en la tabla y son necesarios para la instalación de este nuevo sistema.

#### Tabla 5

*Componentes nuevos adquiridos para la suspensión 4-link*

Componente	Descripción	Cantidad
Amortiguador MONROE Gas Magnum	20" – 25"	4
Espirales	500 lb de Toyota Land Cruiser VX 4"	2
Kit de bujes para suspensión 4-link	Bujes Offroad	14

*Nota.* Se muestra las características de los componentes adquiridos

### Figura 35

*Kit de bujes Offroad para la suspensión*



*Nota.* Kit para los brazos de suspensión y amortiguadores

#### c) Desmontaje del sistema de suspensión por ballestas

Una vez adquirido los componentes principales de esta nueva suspensión, se procede con el desmontaje de la carrocería original del vehículo. Se aflojan todos los pernos que sujetan las ballestas, hasta eliminar por completo este sistema.

### Figura 36

*Proceso de desmontaje de las ballestas*



*Nota.* Desmontaje del sistema por ballestas original

#### d) Fabricación de las nuevas bases para los espirales de la suspensión

Para este nuevo sistema necesitan bases para las espirales adquiridas previamente, una base por cada lado. Estas bases van ubicadas en la parte superior del eje rígido, justo al lado en donde iban apoyadas las ballestas.

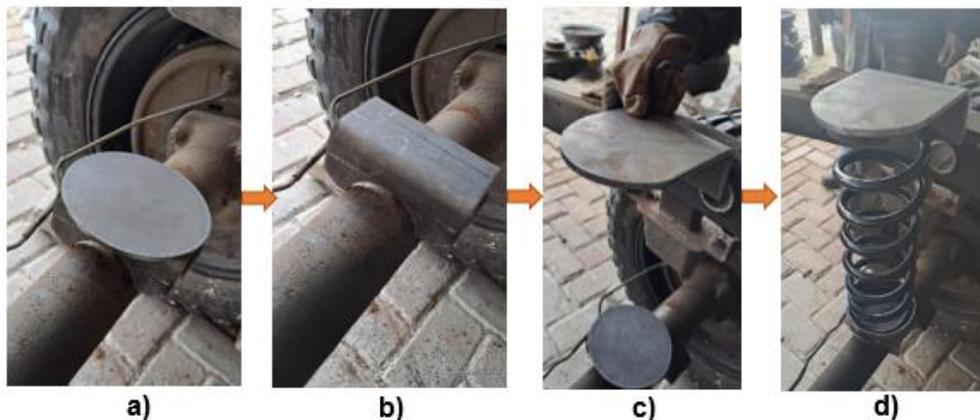
En la figura se puede apreciar que en a) se encuentra la base circular inferior de la espiral, que se encuentra apoyado en el soporte b) el cual irá soldado al eje rígido del diferencial. En c) se coloca la base superior que va soldada a un lado interno del bastidor. Por

último, en d) se puede apreciar la colocación de la espiral dentro de la base inferior y superior.

Se debe volver a repetir el mismo proceso al otro lado del eje rígido.

### Figura 37

*Proceso de fabricación de las bases nuevas para los espirales*



*Nota.* Fabricación y soldadura de las bases de los muelles

Luego de esta serie de pasos, se lija la superficies de cada una de las bases para mejorar el acabado y al final de la instalación de toda la suspensión se procederá con el pintado de estas.

### Figura 38

*Adaptación finalizada de las bases e instalación de los espirales*



*Nota.* Bases y muelles instalados en el bastidor

Una vez instalado de ambos lados, se procede a medir con un flemómetro la altura final del conjunto base – espiral, para proceder con las demás adaptaciones del sistema de suspensión.

**Figura 39**

*Medición de altura del conjunto base-espiral*



*Nota.* Altura del muelle ya instalado

En la primera imagen se mide desde la base apoyada en el eje del diferencial, hasta la base superior soldada en un extremo interior del bastidor, el cual es 45 cm. En la segunda imagen se puede apreciar que la base superior de la espiral sobresale 5 cm de altura respecto al bastidor en la cual está soldada, esto es debido a que se debe montar la estructura del vehículo en este espacio sobrante.

**e) Fabricación e instalación de los soportes que sujetan los cuatro brazos de la suspensión 4-Link**

La característica principal de este sistema de suspensión, es la implementación de dos brazos superiores los cuales van a estar sujetos en un extremo, por un soporte ubicado sobre el eje rígido junto al diferencial y en el otro extremo, justo al frente, en un nuevo soporte que está ubicado a un lado del travesaño.

También se debe implementar dos brazos inferiores, los cuales van a estar sujetos en un extremo, por un soporte ubicado a un costado del eje rígido, a la altura de la base inferior de la espiral y el otro extremo en el soporte que solía ser usado para sostener el conjunto de las ballestas, ubicado a un lado del larguero del bastidor.

## Figura 40

*Nuevos soportes en el eje rígido para los brazos del sistema 4-link*



*Nota.* Eliminación de las bases originales

En la imagen se puede apreciar la eliminación de la base original que sujetaba las ballestas, para la creación de un nuevo soporte que sujete los brazos inferiores del sistema. Además, se instala otros soportes los cuales servirán para los amortiguadores y sobre el eje rígido, junto al diferencial, los dos soportes para los brazos superiores.

### f) **Fabricación de los cuatro brazos del sistema multilink**

Como ya se había mencionado anteriormente, se necesitan cuatro brazos de suspensión, dos superiores y dos inferiores. En la imagen se puede observar la elaboración de un brazo con la longitud deseada y que en sus extremos deben ir instalados un par de bujes offroad.

## Figura 41

*Fabricación de brazos de suspensión*



*Nota.* Soldadura de los nuevos brazos de suspensión

### **g) Instalación de los brazos de suspensión en los soportes del travesaño del bastidor y del eje trasero**

En la imagen se puede apreciar la sujeción de uno de los brazos inferiores, un extremo se sujeta en la base antigua de las ballestas ubicada en el larguero del bastidor y el otro extremo en la parte inferior del eje trasero, a un lado de la base donde se apoya la espiral. Una vez se haya confirmado que la longitud es la correcta se procede a soldar la base que debe ir adaptada en el eje, se ajustan los brazos y se repite el proceso para los tres brazos restantes.

#### **Figura 42**

*Sujeción de un brazo inferior del sistema de suspensión*



*Nota.* Instalación de los brazos en las nuevas bases fabricadas

### **h) Instalación de los amortiguadores MONROE Gas Magnum**

Inicialmente el vehículo original tenía suspensión de ballestas reforzados con amortiguadores telescópicos hidráulicos de doble acción. Al instalar la nueva suspensión 4-link se ha tomado la decisión de agregar un amortiguador más al nuevo sistema, es así que se instalaron bases para un nuevo amortiguador, tanto en el larguero del bastidor como en el eje trasero. Se ha escogido amortiguadores a gas ya que el aporte que va a brindar al sistema es una suspensión mucho más rígida y dura, dando una sensación más deportiva.

### Figura 43

*Instalación de los dos amortiguadores a gas*

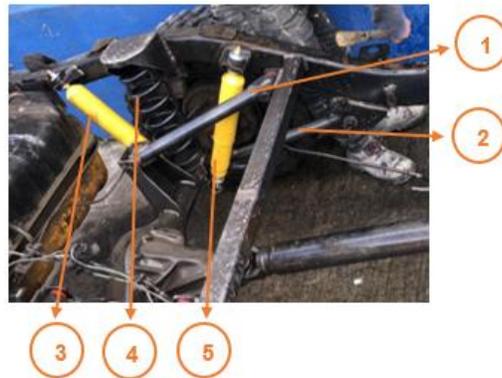


*Nota.* Adaptación de los nuevos amortiguadores a cada lado del eje trasero

#### i) Composición de la suspensión 4-link instalada en el vehículo táctico militar

### Figura 44

*4-Link instalado en el vehículo táctico militar*



*Nota.* Componentes de la suspensión 4-link instalada

- 1) Brazo superior
- 2) Brazo inferior
- 3) Primer amortiguador a gas
- 4) Espiral de 500 lb
- 5) Segundo amortiguador a gas

### j) Suspensión trasera 4-Link terminada

Como último paso se vuelven a retirar los brazos para poder pintarlos del mismo color que los amortiguadores, igualmente las bases y soportes de todo el sistema de suspensión.

En la imagen se puede apreciar una vista total de todo el sistema 4-Link instalado en el vehículo táctico militar. Este sistema va a brindar seguridad a todos los ocupantes, ya que es diseñado únicamente para vehículo offroaders, brindando una suspensión trasera independiente y permitiendo la adherencia de las llantas traseras en todo momento y en cualquier tipo de terreno.

#### Figura 45

*4-Link terminado e instalado en el vehículo táctico militar*



*Nota.* Suspensión multibrazo terminada

#### Sistema de freno del vehículo táctico militar

##### *Datos previos del sistema de Freno vehículo Trooper*

**Tabla 6**

*Datos previos del sistema de Freno Trooper*

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
	Hidráulicos, con doble circuito independiente, con	Delantero: 2 discos
Freno de Servicio	Servofreno simple de 9 in, ajustable	ventilados

Componente	Descripción	Cantidad
	automáticamente, implementa una válvula compensadora de freno.	Trasero: 2 tambores ajustable
Freno de estacionamiento	Mecánico aplicado a ruedas traseras	1

*Nota.* Tipos de freno que incluye el Chevrolet Trooper.

El sistema de freno original de vehículo Trooper, sirve de base para alguna modificación, al ser un Freno Hidráulico Servoasistido es de mucha utilidad para el propósito del Vehículo Táctico Militar, por su suavidad y sus tiempos de actuación del freno ideal para un vehículo todoterreno.

### ***Selección del sistema de freno***

**Primera Alternativa:** Sistema de freno hidráulica asistida. El sistema hidráulico obedece al principio de Pascal que menciona que un fluido estancado dentro de un recipiente no deformable al aplicarlo una presión este genera presión aun mayor en todas las direcciones y en sentidos del fluido.

Un freno hidráulico ayuda al conductor a mejorar el frenado, sumado a la incorporación de un servofreno aumenta la fuerza ejercida. El servofreno funciona por medio de presión de vacío, existen servofrenos para disco, para tambor y mixto, el más apropiado y más utilizado es el mixto.

**Segunda Alternativa:** Freno neumático. Este sistema de freno se acciona por aire comprimido, es utilizado en transporte pesado, trenes y maquinaria pesada. Aunque es adaptable a vehículos de cualquier capacidad, su versatilidad hace que sea seguro.

Funciona basado en la energía potencial del aire comprimido que, mediante sus elementos, al momento de accionarlo multiplica la fuerza. Está compuesto por un compresor, válvulas que controlan la dirección de salida y el bloqueo del fluido haciendo mover los actuadores mecánicos hasta llegar a los componentes de fricción frenando las ruedas.

**Análisis de alternativas.** En cuanto a la selección del sistema de freno, se decide usar el mismo sistema ya que al tener discos y tambores ayudan a tener un grado alto de eficiencia al frenado. En cuanto a los discos ayuda a disipar de mejor manera el calor ya que todos sus elementos están en contacto con el exterior lo que hace que tengan una mejor recuperación térmica en el menor tiempo posible, siendo indispensable en la parte delantera ya que en el eje frontal es donde mayor peso por eje tenemos y además recibe el 80% de la potencia de frenado del auto.

***Elementos del sistema de freno vehículo Trooper.***

**Tabla 7**

*Partes del sistema de Freno en Trooper. Diagnóstico*

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>
Disco de Freno	Espesor de, sin rayadura, inspección visual en buen estado.
Mordaza	En buen estado, sujeciones fijas hacia las pastillas.
Pastilla de freno	Desgastadas, proceso de cambio.
Pistón	Cauchos protectores rotos. Procede a cambiarlos.
Tambor	Inspección visual en buen estado. Mediciones sin ovalamiento. Diámetro interior dentro del parámetro del Fabricante.
Resortes	Sucios, proceso de limpieza, en buen estado.
Respaldo	Inspección visual, en buen estado. Buen acople con el tambor.

Elemento	Descripción
Auto ajustador	A tope, por desgaste de zapatas.
Zapata	Con desgaste, proceso de cambio.
Cilindro de Rueda	Sin Cauchos protectores

Nota. Características de los componentes del sistema de freno

Luego de haber realizado una inspección visual y mediciones con Pie de Rey se ha diagnosticado a los elementos del sistema de freno de tambor y disco realizando una tabla de Resumen de los elementos a cambiar y los que están en buen estado.

### Tabla 8

*Diagnóstico de los elementos desgastantes del sistema de freno*

ELEMENTO	TOLERANCIA DEL MANUAL	MEDIDA TOMADA	APTO PARA PRUEBA
PASTILLA DE FRENO	Ancho (35.4 - 25 mm)	32.1 mm	Ok
DISCO DE FRENO	Ancho(25-24.6mm) Paralelismo (0.13mm máximo)	24.74 mm 0.1 mm	Ok Ok
TAMBOR DE FRENO	Diámetro interno (211.4 – 210 mm)	210.1 mm	Ok
ZAPATAS	Ancho(39.4-25 mm)	28.1 mm	Ok

Nota. Tolerancias permitidas en el sistema de freno

### ***Instalación y adaptación del sistema de freno.***

**Servofreno y Bomba.** Para la instalación del sistema de frenos del vehículo trooper, en la carrocería del nuevo vehículo táctico militar se extrajo la bomba de freno, el servofreno para separarlo de la carrocería del vehículo trooper.

Para desmontar la bomba se extrajo con todo el servofreno y el depósito del líquido de freno, para evitar derramamiento del mismo, ya que posterior a la instalación de la nueva carrocería se procederá a realizar las pruebas de funcionamiento de la bomba, cambio de sellos y comprobación de vacío del servofreno. En cuanto a los tubos hidráulicos se procedió a desconectar ya que por ser muy delicados se habrían estropeado al momento de extraer la carrocería anterior.

#### **Figura 46**

*Servofreno desmontado de la carrocería*



*Nota.* Ubicación de los componentes del sistema de freno original

Para la instalación en la nueva carrocería se realizó un agujero de 10 cm en la misma, ubicada en el tol de respaldo intentando replicar la altura y distancia original sin afectar toberas de fluido.

**Figura 47**

*Comparación antes y después de adaptación.*



*Nota.* Se puede apreciar una comparación entre el vehículo original y el prototipo

**Discos y Tambores.** Luego de haber instalado la nueva carrocería sobre el chasis, se realiza un abc de freno que consiste en.

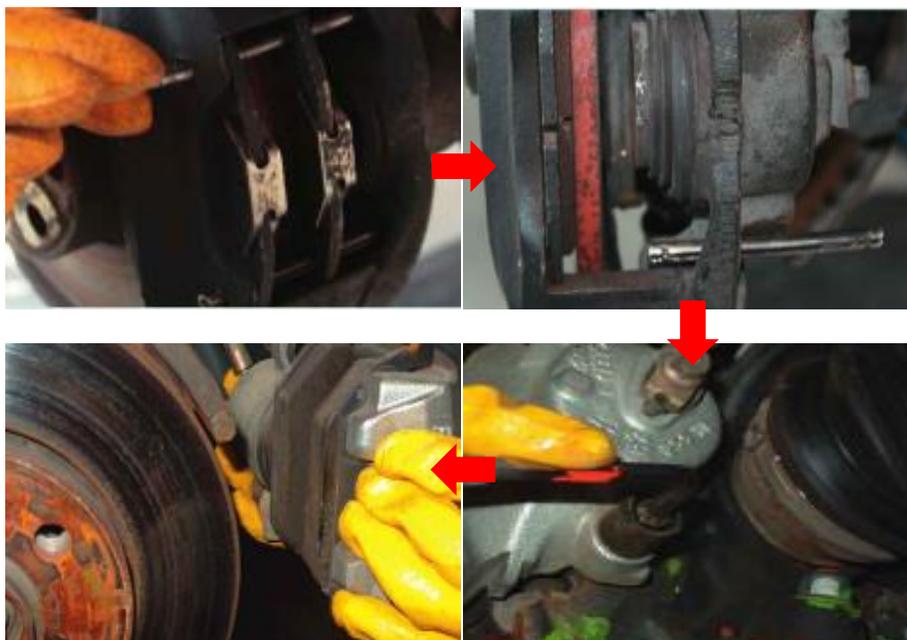
- Verificación de estanqueidad y nivel de líquido de freno.
- Verificación de estado de pastillas y disco de freno.
- Verificación de zapatas y tambores de freno.
- Inspección visual por todo el recorrido de las toberas en busca de posibles fugas.
- Inspección general de componentes delanteros y traseros de freno.

Para el desmontaje de la pastilla de freno hay que desconectar el sistema de unión de la pinza con la porta pinzas por medio de 2 pasadores.

Una vez desplazado los pasadores se extraen las pastillas, las comprobaciones del disco de freno se lo realiza sin extraer el mismo.

**Figura 48**

*Desmontaje de las pastillas de freno.*



*Nota.* Se aprecia el procedimiento del desmontaje de las pastillas

Las pastillas de freno se realiza el cambio.

**Figura 49**

*Pastillas de Freno*



*Nota.* Nuevo kit de pastillas de freno adquirido

Para desmontar el tambor de freno primero retiramos la rueda, para posterior retirar el guardapolvo y la tuerca del eje y con golpes ligeros por la parte trasera retirar el tambor. Posterior retirar los muelles situados en el interior para desarmar y extraer las zapatas.

### Figura 50

*Desmontaje de zapatas y sus elementos.*



*Nota.* Componentes del sistema de freno por zapata trasero

Las zapatas de freno se realiza un proceso de remachado standard.

### Figura 51

*Remachado de Zapatas*



*Nota.* Proceso de remachado de las zapatas del prototipo

## Sistemas de dirección del vehículo táctico militar

### *Datos previos del vehículo Trooper*

El vehículo original Trooper tiene una dirección asistida de manera hidráulica con tornillo sin fin y tuerca con bolas recirculantes.

### **Figura 52**

*Componentes de la dirección vehículo trooper.*



*Nota.* Se puede observar las partes del sistema hidráulico de dirección

### ***Análisis para la implementación en un Vehículo Táctico Militar.***

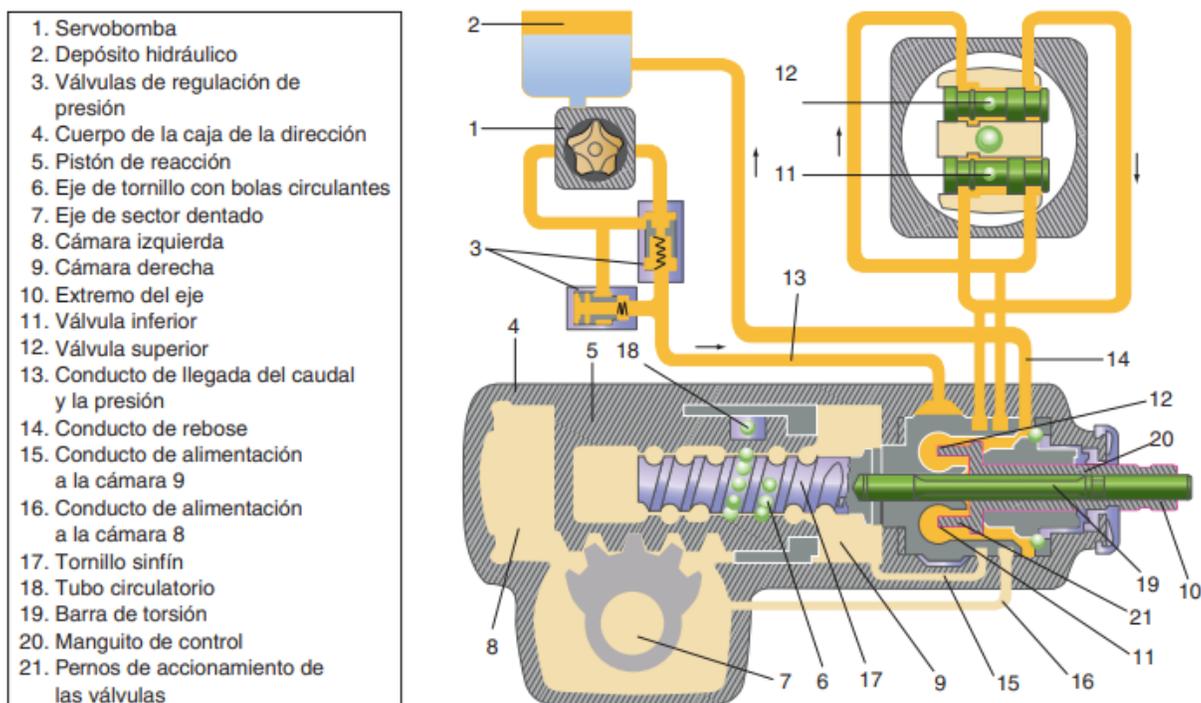
La dirección hidráulica compuesta por un cajetín de tornillo sin fin y bolas recirculantes se caracteriza por su comodidad y suavidad además del poco esfuerzo que se aplica al volante para girar las ruedas de gran tamaño. Tradicionalmente se ha utilizado para dirigir vehículos grandes y todoterreno.

Sin mayor análisis de alternativas y optimizando los recursos a disposición, luego de realizar el análisis de esta dirección se decide incorporar el mismo sistema hidráulico de tornillo sin fin y bolas recirculantes, realizando un diagnóstico previo de su estado.

## Elementos del sistema de dirección de Tornillo sin fin y bolas recirculantes

Figura 53

Elementos del sistema de tornillo sin fin y bolas recirculantes



*Nota.* Imagen que representa las partes internas del cajetín y las partes externas que componen el sistema de dirección de tornillo sin fin y bolas recirculantes. Tomado de Circuitos de Fluidos. Suspensión y Dirección [Ilustración],(Gonzales. At el, 2013)

Esta dirección funciona cuando se gira el volante, el movimiento es transmitido por la columna de dirección, si el esfuerzo es pequeño para torsionar la barra, el sistema sirve como un sistema de dirección mecánica pero cuando el esfuerzo es mayor supera el esfuerzo de la barra produciendo un giro sobre los ejes y el sin fin haciendo girar el manguito de control necesario para accionar los pistones del sistema hidráulico

### ***Tirantería de la dirección.***

La tirantería de la dirección, es el conjunto de elementos que hacen que el movimiento se haga posible hacia las ruedas. Si disponemos de una dirección asistida de tornillo sin fin y bolas recirculantes tendremos diferentes elementos que son visibles en el vehículo Trooper.

**Tabla 9**

*Elementos de la tirantería del vehículo Trooper.*

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Palanca de ataque	Acoge el movimiento de la caja de dirección.	1
Barra de mando	Sujeto por un lado a la palanca de ataque y por el otro a los brazos de acoplamiento	1
Brazos de sujeción o acoplamiento.	Transmiten el movimiento hacia las ruedas	2
Barras de acoplamiento	Une las dos ruedas por una barra y abrazaderas.	1
Rótulas	Une de manera flexible el cajetín de la dirección y los brazos de sujeción, ayuda a corregir la convergencia de las ruedas.	2

*Nota. Descripción de los elementos de la tirantería*

### ***Instalación y adaptación del sistema de dirección en el vehículo***

**Adaptación de la caja de dirección hidráulica.** La caja de dirección deberá ir instalada a la misma altura y posición que la original, en relación a su eje de salida y entrada para no alterar mayormente la ubicación de los componentes originales.

La tirantería de la dirección es la misma y no va a ser alterada ningún componente lo que facilita la instalación. Para la sujeción de la caja de dirección se perforó los guardafangos delanteros del vehículo táctico milita, se perforo tres puntos de diámetro 10mm.

Así mismo para la columna de la dirección se perforo la carrocería.

**Figura 54**

*Columna de dirección adaptada en la carrocería.*



*Nota.* Se aprecia el eje y caja de dirección del vehículo original

Para la fijación de la caja de dirección, soporte del depósito de aceite Hidráulico es necesario realizar unas adaptaciones con láminas de tol de 3mm en Tol de fundición gris 4.5%C, ASRMA A-48.

**Figura 55**

*Base para sujeción de caja de dirección.*



*Nota.* Nuevas bases para la caja de dirección

### Figura 56

*Ubicación de la chapa de sujeción*



*Nota.* Vista lateral del vehículo donde se aprecia la base instalada

### Figura 57

*Sujeción al Chasis*



*Nota.* Bases nuevas sujetadas al bastidor del vehículo

Para la ubicación de la bombona de dirección se debe tener en cuenta las revoluciones a las que gira el motor, para hacer girar la polea de la bomba así evitamos desgaste prematuro en la bomba. Debemos tomar en cuenta que debemos dejar el mismo plano de simetría del cigüeñal, de la bomba de agua, bomba de aceite y alternador para evitarnos costos de adaptación que no sería viable si requerimos instalar el mismo sistema del vehículo Trooper.

La bombona de la dirección con su respectiva banda va en la misma posición, se ajustó que para los mismos componentes sean utilizados.

## Capítulo IV

### Análisis de Resultados

#### Análisis del sistema de suspensión

##### *Datos necesarios para los cálculos del sistema de suspensión*

**Peso del vehículo táctico militar.** El vehículo se monta en la plataforma y nos da cómo peso total sin ocupantes de 1200Kg.

#### Figura 58

*Medición del peso total del vehículo*



*Nota.* Medición del peso del vehículo en la plataforma

#### Datos de chasis y carrocería

#### Tabla 10

*Dimensiones del vehículo táctico militar*

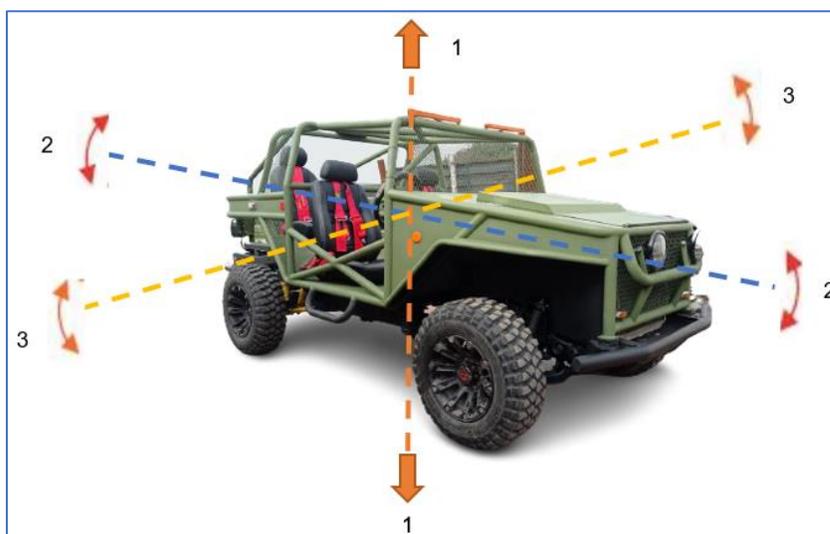
Dimensiones	Valor (mm)
Ancho de vía de eje frontal	1390 mm
Ancho de vía de eje trasero	1400 mm
Batalla (entre ejes)	2300 mm

*Nota.* Nuevas dimensiones del prototipo del vehículo táctico militar.

**Cargas que soporta el vehículo táctico militar.** Las irregularidades del terreno por el cual debe recorrer el vehículo táctico van a ocasionar tres tipos de oscilaciones que se puede observar enumeradas en el siguiente esquema.

**Figura 59**

*Oscilaciones en el vehículo táctico militar*



*Nota.* Se puede apreciar los tipos de oscilaciones que puede sufrir el vehículo

La suspensión delantera original McPherson y la suspensión nueva adaptada 4-link va a brindar seguridad y estabilidad ante las cargas producidas al manejar por todo tipo de terrenos.

**Tabla 11**

*Tipos de oscilaciones en el vehículo y sus causas*

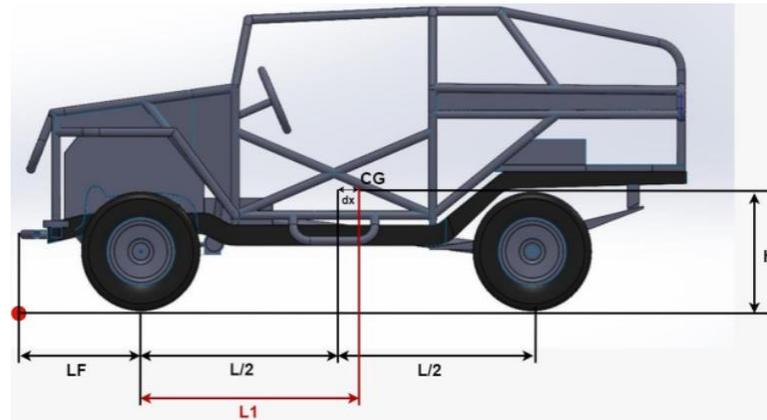
Número	Oscilaciones	Causa
1	Empuje	Baches o terreno ondulado (eje vertical)
2	Cabeceo	Aceleración o frenada brusca (eje transversal)
3	Bamboleo (balanceo)	Curvas o terreno inclinado (eje longitudinal)

*Nota.* Causas de las oscilaciones producidas

**Centro de gravedad del vehículo táctico militar.** Este dato fue facilitado gracias al cálculo realizado en el proceso de diseño y modelamiento del vehículo.

### Figura 60

*Distancias hacia el centro de gravedad*



*Nota.* Se puede apreciar la longitud al centro de gravedad

$$L1 = 1304,306 \text{ mm} \rightarrow \text{Distancia desde el eje delantero al centro de gravedad}$$

$$h = 686,321 \text{ mm} \rightarrow \text{Altura del centro de gravedad}$$

Para obtener la distancia desde el eje trasero al centro de gravedad (L2), debemos restar el valor de batalla con L1

$$L2 = \text{Distancia entre ejes(batalla)} - L1$$

$$L2 = 2300 \text{ mm} - 1304.306 \text{ mm}$$

$$L2 = 995.694 \text{ mm}$$

### **Análisis y cálculos del sistema de suspensión**

**Transferencia longitudinal de carga en pendiente.** Se analiza la transferencia de carga en un ángulo de inclinación estimado de  $40^\circ$ , si el vehículo desciende, aumenta la carga en la suspensión delantera y cuando el vehículo está ascendiendo, la suspensión trasera debe aguantar mayor carga.

$$TLoCp = Rp * \frac{H}{L}$$

Donde:

$Rp =$  Resistencia a rampa (kg)

$H:$  Altura al C.G

$L =$  Batalla (entre ejes)

$\beta =$  ángulo de inclinación (se estima una pendiente de  $40^\circ$ )

$a = 0.8g$

$$Rp = MasaTotal * \text{sen}(\beta)$$

$$Rp = (1200Kg + 75Kg + 75Kg + 75Kg) * \text{sen}(40)$$

$$Rp = 915.97 Kg$$

$$TLoCp = Rp * \frac{H}{L}$$

$$TLoCp = (917.97kg) * \frac{686,321 mm}{2300 mm}$$

$$TLoCp = 2687.18 Kg$$

**Transferencia longitudinal de cargas en aceleración o desaceleración**

$$TLoCf = a * MasaTotal * \frac{H}{L}$$

$$TLoCf = (0.8g) * (1425kg) * \frac{686,321 mm}{2300mm}$$

$$TLoCf = 3337.067 N$$

**Carga total trasferida**

$$TCTr = TLoCp + TLoCf$$

$$TCTr = 2687.18 N + 3337.067 N$$

$$TCTr = 6204.24 N$$

### Carga soportada por el eje delantero

$$P_{cd} = P_{Eje\ delantero} * g$$

$$P_{cd} = 515.596Kg * g$$

$$P_{cd} = 5057.9967N$$

### Carga soportada por el eje trasero

$$P_{ct} = P_{Eje\ trasero} * g$$

$$P_{ct} = 675.404Kg * g$$

$$P_{ct} = 6625.71N$$

### Transferencia de carga al eje trasero en aceleración brusca

$$a_{max} = 1.75 \frac{m}{s^2} (\text{factor de manejo})$$

$$W_a = \frac{a_{max} * MasaTotal * H}{Batalla}$$

$$W_a = \frac{1.75 \frac{m}{s^2} * 1425Kg * 686,321\ mm}{2300mm}$$

$$W_a = 744.136\ N$$

### Transferencia lateral de carga

$$TLaC = a_l * MasaTotal * \frac{H}{Ancho\ de\ vía}$$

$$TLaC = 0.8g * 1425Kg * \frac{686,321\ mm}{1400\ mm}$$

$$TLaC = 558.861N$$

### Análisis por peralte

Para este análisis se tomará en cuenta un peralte de 8° y una aceleración de 0.8g.

$$Vv = \sqrt{g * R * \frac{\frac{S}{2H} + \tan(\zeta)}{1 - \frac{S}{2H} * \tan(\zeta)}}$$

$$Vv = 8.27075\ m/s$$

Donde:

$S = \text{ancho de vía (1.4m)}$

$H: \text{Altura de centro de gravedad (0,6863 m)}$

$g = \text{gravedad } \left(\frac{9.81m}{s^2}\right)$

$\zeta = \text{ángulo de peralte}$

$R = \text{Radio curvatura (8m)}$

$Vv = \text{velocidad de vuelco (20,40,60,80)Km/h}$

**Cálculo de oscilaciones del resorte.** En una suspensión ideal, las oscilaciones del resorte de la suspensión trasera 4-link debe estar en el rango de 30 a 60 períodos por minuto. Este cálculo está en función del peso que soporta el resorte (500lb según el fabricante) y el coeficiente de elasticidad. La deformación producida en el resorte, acciona el resorte y lo entrega como oscilaciones(González, del Río, Tena, & Torres, 2011).

$$f = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{\frac{M}{K}}}$$

Donde:

T= Tiempo de oscilación (Segundos)

H= deformación del resorte (m)

G= 9.81m/s<sup>2</sup>

M=masa suspendida (675.404Kg)

P= carga del resorte

H= deformación del resorte

K= coeficiente elástico del resorte

$$K = \frac{P}{H}$$

$$K = \frac{226.796Kg * 9.81 \frac{m}{s^2}}{0.2m} = \mathbf{11124.34N/m}$$

$$f = \frac{1}{2 * \pi \sqrt{\frac{M}{K}}}$$

$$f = \frac{1}{2 * \pi \sqrt{\frac{675.404Kg}{11124.34N/m}}} = 0.646 \text{ Hz}$$

Se debe convertir a ciclos por minuto con el factor de conversión 1Hz= 60cpm

$$f = 38.76 \text{ ciclos por minuto}$$

**Análisis:** Para una suspensión ideal el número de oscilaciones del muelle trasero del sistema de suspensión 4-link debe estar comprendido de 30 a 60 ciclos por minuto, en el cálculo realizado se obtuvo 38.76 cpm, lo cual nos indica que se encuentra dentro del margen ideal.

### Funcionamiento de la suspensión trasera 4-link

#### Figura 61

*Vista posterior del funcionamiento de la suspensión*



*Nota.* Funcionamiento de la nueva suspensión multibrazo

**Análisis.** La finalidad de instalar la suspensión 4-link en el eje trasero, fue la de lograr una suspensión independiente en el eje trasero para vehículo táctico militar. Originalmente con

el sistema de suspensión con ballestas en el vehículo trooper se tenía una suspensión dependiente, y la mayor desventaja que tenía era que el movimiento producido en una llanta afectaba directamente a la otra.

### Figura 62

*Vista lateral del funcionamiento de la suspensión 4-link*



*Nota.* Levantamiento de la rueda derecha trasera con la nueva suspensión.

**Análisis.** Cada elemento implementado en esta suspensión multibrazo tiene un objetivo claro y una función específica que se detalla a continuación:

### Tabla 12

*Análisis de los componentes del sistema 4-link*

Componente	Función
Brazos superiores	- Consisten en dos brazos colocados en la parte superior del eje trasero, y sujeta la suspensión al travesaño del bastidor
Brazos inferiores	- Son colocados en la parte inferior del sistema y trabaja en conjunto con los brazos superiores para evitar mucha variación de ángulo camber o de caída de la rueda

Componente	Función
Silentblocks	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se refiere a los bujes offroad que son colocados en los amortiguadores y brazos de suspensión. Su función es absorber vibraciones en el sistema.</li> </ul>
Resorte helicoidal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es una de las piezas que absorbe las irregularidades del terreno y a su vez mantiene la estructura tubular suspendida. El muelle está instalado de forma separada del amortiguador, en lugar de llevarlo instalado por dentro como otros sistemas multilink y así tener la opción de implementar dos amortiguadores de gas.</li> </ul>
Amortiguadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son los elementos que ayuda a los muelles a absorber las irregularidades presentes en el terreno</li> </ul>

*Nota: Análisis final de los componentes instalados en la suspensión nueva*

Al no existir un kit de instalación de este sistema multibrazo, se hicieron adaptaciones para implementar el sistema 4-link, es por eso que el costo de instalación es elevado en comparación con el resto de sistemas de suspensión. Además, que es un sistema con un esquema y distribución de elementos mucho más compleja por la mayor cantidad de espacio que necesita, por lo que no se puede ver instalado en vehículos comerciales o venta de kits a gran escala.

### **Análisis del sistema de dirección**

Para el análisis del sistema de dirección está basado en el informe de alineación. Donde se muestran los ángulos de alineación de las llantas, tomando de referencia los datos del vehículo original Trooper que se encontraba en la base de información del software de la alineadora.

Figura 63

Informe 1 de Alineación. Datos Obtenidos.

Numero de matricula	PBJ-7184	Kilometraje	0
Fabricante	Isuzu	Kilómetros/mes	1
Modelo	Trooper ROW		
Dirección	LATACUNGA		

Lista de valores de alineación	Valor estándar	Medición inicial	Ajuste
Ruedas delanteras	< >  < >	<< >>	<< >>
Avance	1,50° 2,50° 3,50°	1,26° 1,54°	0,99° 1,25°
Angulo de salida	9,00° 10,00° 11,00°	12,09° 12,09°	12,09° 12,09°
Caída	0,00° 0,50° 1,00°	-0,12° -1,16°	-0,19° -1,20°
Convergencia individual	0,00 0,80 1,60	1,00 -1,20	0,80 1,20
Convergencia total	0,00 1,60 3,20	-0,20	2,00
Retraso		0,15	-1,16
Angulo incluido		11,97° 9,81°	11,90° 9,77°
Angulo de salida		0,00° 0,00°	0,00° 0,00°
Angulo de giro máximo		-----	-----
Distancia entre ruedas		1562,9	1561,8
Ruedas traseras	< >  < >	<< >>	<< >>
Caída	-----	-0,58° -0,95°	-0,56° -0,95°
Convergencia individual	-----	-2,20 0,80	-2,00 1,00
Convergencia total	-----	-1,40	-1,10
Retraso		-7,35	-5,66
Wheelbase differ		0,00	4,50
Angulo de tracción		0,23°	0,23°
Distancia entre ruedas		1648,0	1647,9
Distancia entre ejes		2288,8 2282,2	2290,7 2285,9

Lista de comprobaciones auxiliares(☺:Correcto ×:Anormal □:Ignorar)

Nota. Se puede apreciar el informe de alineado de las llantas del vehículo

### El volante y la rueda

El objetivo es conseguir una desmultiplicación del giro del volante para disminuir la fuerza que aplica el conductor al volante para hacer girar la rueda. Se consigue con el mecanismo de dirección y las barras del trapecio de Ackerman. Existe un ángulo de giro denominado  $\beta$  propiamente del volante y el ángulo de viraje  $\alpha$  de la rueda que se dirige para este caso denominada rueda 1 ( $k_1$ ) y rueda 2 ( $k_2$ ).

La relación de transmisión de movimiento del volante está dada como un dato del fabricante del vehículo Trooper. Aunque se lo puede calcular con la relación:

$$i_d = \frac{\beta}{\alpha}$$

De acuerdo a los datos del informe:

$$i_d = \frac{32^\circ}{2^\circ}$$

$$i_d = 16^\circ$$

Este dato se puede comprobar como dato del fabricante.

Para este análisis hay que interpretar el recorrido de un vehículo cuando ingresa en una curva.

De acuerdo con (H. Kindler, 1986) existe una longitud recorrida para ruedas exteriores definida por la formula:

$$l_e = \frac{r_e * \pi * d}{180^\circ}$$

$$l_e = \frac{7m * \pi * 60^\circ}{180^\circ}$$

$$l_e = 7.33 m$$

Siendo:

$r_e$ : Radio de la trayectoria de las ruedas exteriores (m).

$l_e$ : Longitud recorrida por las ruedas exteriores (m).

$d$ : ángulo de arco recorrido ( $^\circ$ )

De acuerdo a (H. Kindler, 1986) existe una longitud recorrida por las ruedas interiores definidas por:

$$l_i = \frac{r_i * \pi * d}{180^\circ}$$

$$r_i = r_e - S$$

$$r_i = 7m - 1.4m$$

$$r_i = 5.6 m$$

Siendo

$r_i$ : Radio de las trayectorias interiores de las ruedas.

S: Ancho entre ruedas dada por el fabricante 1.4m.

Tenemos además un ángulo de guiado dado por una rueda del tren delantero en el plano longitudinal del vehículo táctico militar. En los vehículos con geometría basada en la condición de Ackerman el ángulo interior es mayor que el ángulo exterior.

El radio de giro mínimo (R) es el doble de la distancia entre ejes también llamada batalla(B).

$$R = 2B$$

$$R = 2(2.3m)$$

$$R = 4.6 m$$

**Fuerzas Laterales.** Las ruedas se encargan de generar fuerzas laterales con el objetivo de controlar la dirección del vehículo y resistir fuerzas externas que en la carretera o el terreno se presenten. Esta fuerza se crea gracias a la inclinación lateral de la rueda (caída) o a un deslizamiento.

Para vehículos todoterreno en el que entra el vehículo táctico militar, las fuerzas laterales se calculan aplicando la aceleración de 0.8\* gravedad siendo esta la aceleración máxima que podrá lograr este tipo de vehículos.

Según (Luque, Álvarez, & Vera, 2008):

$$F_y = \frac{P}{g} X \frac{V^2}{R}$$

$$F_y = m * a_y$$

$$F_y = (12000kg) * (0.8 * 9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$F_y = 9.417,6 N$$

Para los vehículos todoterreno y de transmisiones traseras se debe calcular las fuerzas laterales tanto en el eje delantero como en el eje trasero.

Para el eje delantero:

$$F_{yd} = m_d * a_y$$

$$F_{yd} = (515.596kg) * (0.8 * 9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$F_{yd} = 4.046,40N$$

Para el eje trasero según (Luque, Álvarez, & Vera, 2008):

$$F_{yt} = m_t * a_y$$

$$F_{yt} = (675.404kg) * (0.8 * 9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$F_{yt} = 5300.57 N$$

De acuerdo a (H. Kindler, 1986) la fuerza aplicada por el conductor ( $F_v$ ) con facilidad es de 400 N. Con esto calcula la fuerza necesaria para direccionar las ruedas del vehículo ( $F_r$ ).

$$F_R = F_V * i_d$$

$$F_R = 400 N * 16$$

$$F_R = 6400 N$$

Se debe comprobar si la fuerza de 6400 N es necesaria o suficiente para mover y direccionar las ruedas.

**Régimen de Giro.** El par de rotación o de giro que se aplica es el resultado de una fuerza aplicada a una cierta distancia por lo que:

$$P = F \times R$$

Por lo que la desmultiplicación que se genera viene dada por el diámetro del volante y el eje piñón dirección. Dicho esto, las fuerzas que se aplican son inversamente proporcionales a los radios de rotación. Sabiendo que el esfuerzo del momento del volante es igual a la resistencia de la dirección.

$$F_1 \times R_1 = F_2 \times R_2$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

El régimen de giro es la correspondencia que existe entre el ángulo que describe la trayectoria del volante y el ángulo que se obtiene del plano de las ruedas.

Es decir que, si decimos que si decimos que el conductor ejerce una fuerza de 400 N sin problema:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$F_2 = \frac{F_1 \times R_1}{R_2}$$

$$F_2 = \frac{400 \text{ N} \times 45 \text{ cm}}{4 \text{ cm}}$$

$$F_2 = 4500 \text{ N}$$

Siendo:

$F_1$ : el esfuerzo del conductor. (N)

$R_1$ : Diámetro del volante (45 cm)

$R_2$ ; Diámetro de la dirección del Piñón de dirección. (4 cm).

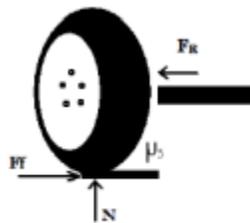
Para el régimen de giro se comprueba dando una vuelta completa el volante y midiendo cuantos ángulos ha girado el centro de la rueda en sentido de su línea recta. Para nuestro caso obtuvimos 26° en una vuelta del volante. De esta manera calculamos la desmultiplicación.

Hacemos la relación:

$$R = \frac{360^\circ}{26^\circ} = 14$$

### Figura 64

*Diagrama del cuerpo libre de un neumático*



*Nota.* Diagrama que expresa las fuerzas que actúan en la rueda

Realizando una sumatoria de fuerzas:

$$\sum F = F_R * F_f$$

$$F_f = N * u_s$$

Siendo la fuerza de resistencia al movimiento.

Para encontrar la fuerza que actúa en el neumático contrastamos que:

$$N = m_d * g$$

$$N = 515.596kg * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$N = 5.058 N$$

$$F_f = 5058 * 0.8$$

$$F_f = 4.046,4 N$$

Del diagrama del cuerpo libre concluimos:

$$< - \quad \sum F = 6400 N - 4046.4 N$$

$$\sum F = 2353.6 N$$

Siendo una fuerza mucho mayor a los 400 N que aplica el conductor al volante haciendo que la dirección ayude de buena manera al movimiento desmultiplicado de la misma sin mayor esfuerzo.

### ***Geometría de la Dirección***

Para el funcionamiento óptimo de la dirección, esta debe cumplir con ciertos parámetros, unos medidos en grados y otros en milímetros, denominados cotas de dirección, estas cotas se deben regular con frecuencia para que los elementos de la dirección cumplan con el objetivo de desmultiplicar el movimiento sin alterar la orientación en el terreno o en algún frenado. Así destacamos todos los ángulos y cotas obtenidas de un proceso de alineación y balanceo.

Figura 65

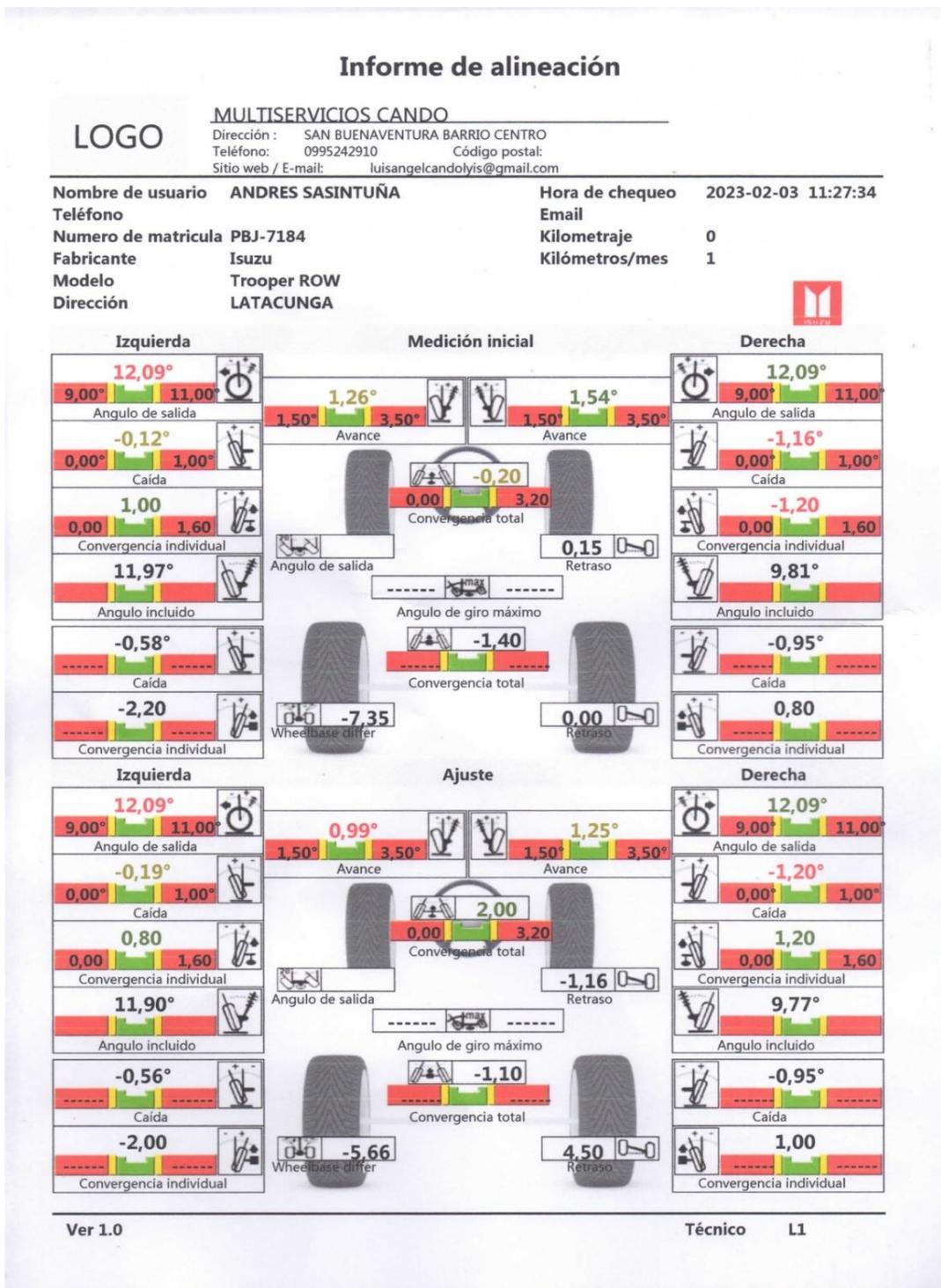
Informe 2 de balanceo. Geometría de la Dirección.

Informe de alineación				
<b>LOGO</b>		<b>MULTISERVICIOS CANDO</b>		
Dirección :		SAN BUENAVENTURA BARRIO CENTRO		
Teléfono:		0995242910	Código postal:	
Sitio web / E-mail:		luisangelcandolyis@gmail.com		
<b>Nombre de usuario</b>	<b>ANDRES SASINTUÑA</b>	<b>Hora de chequeo</b>	2023-02-03 11:27:34	
<b>Teléfono</b>		<b>Email</b>		
<b>Numero de matricula</b>	<b>PBJ-7184</b>	<b>Kilometraje</b>	0	
<b>Fabricante</b>	<b>Isuzu</b>	<b>Kilómetros/mes</b>	1	
<b>Modelo</b>	<b>Trooper ROW</b>			
<b>Dirección</b>	<b>LATACUNGA</b>			
				
Lista de valores de alineación	Medición inicial		Ajuste	
Ruedas delanteras	<<	>>	<<	>>
Avance	1,26°	1,54°	0,99°	1,25°
Angulo de salida	12,09°	12,09°	12,09°	12,09°
Caída	-0,12°	-1,16°	-0,19°	-1,20°
Convergencia individual	1,00	-1,20	0,80	1,20
Convergencia total		-0,20		2,00
Retraso		0,15		-1,16
Angulo incluido	11,97°	9,81°	11,90°	9,77°
Angulo de salida	0,00°	0,00°	0,00°	0,00°
Angulo de giro máximo	-----	-----	-----	-----
Distancia entre ruedas		1562,9		1561,8
Ruedas traseras	<<	>>	<<	>>
Caída	-0,58°	-0,95°	-0,56°	-0,95°
Convergencia individual	-2,20	0,80	-2,00	1,00
Convergencia total		-1,40		-1,10
Retraso		-7,35		-5,66
Wheelbase differ		0,00		4,50
Angulo de tracción		0,23°		0,23°
Distancia entre ruedas		1648,0		1647,9
Distancia entre ejes	2288,8	2282,2	2290,7	2285,9

Nota. Lista de valores de alineación de las llantas

Figura 66

Informe 3 de balanceo.



Nota. Medidas estándar óptimas del fabricante comparadas con las tomadas del vehículo Táctico Militar.

## Análisis del Sistema de Freno

### *Distribución de pesos del vehículo táctico militar*

Cuando el vehículo táctico militar no tiene aceleración existe una distribución de pesos constante en sus cuatro ruedas, pero va a existir un reparto diferente en el delantero con respecto al eje trasero por su diferencia de peso.

Conocido el peso total del vehículo se puede obtener el porcentaje de peso que llevan el eje delantero ( $m_d$ ) y trasero ( $m_t$ ) teniendo así:

$$\text{Distribucion } m_d = \frac{m_d}{m_t} * 100\%$$

$$\text{Distribucion } m_t = \frac{m_t}{m_t} * 100\%$$

$$\text{Distribucion } m_d = \frac{515.596 \text{ kg}}{1191 \text{ kg}} * 100\%$$

$$\text{Distribucion } m_t = \frac{675.404 \text{ kg}}{1191 \text{ kg}} * 100\%$$

$$\text{Distribucion } m_d = 43.29\%$$

$$\text{Distribucion } m_t = 56.71\%$$

Con esto se calcula la distancia posicional del CG en función de la geometría del vehículo táctico militar.

Se calcula la distancia del CG desde el eje delantero del vehículo.

$$CG_{dx} = \frac{m_d}{m_T} * S$$

$$CG_{dx} = \frac{515.596 \text{ kg}}{1191 \text{ kg}} * 1.4 \text{ m}$$

$$CG_{dx} = 0.606 \text{ m}$$

Es posible calcular la distancia del CG respecto al eje trasero.

$$CG_{tx} = \frac{m_t}{m_T} * S$$

$$CG_{tx} = \frac{675.404 \text{ kg}}{1191 \text{ kg}} * 1.4 \text{ m}$$

$$CG_{tx} = 0.794 \text{ m}$$

**Efectos en el frenado del vehículo táctico militar.**

Cuando existe una desaceleración en un vehículo el peso que se ejerce en cada rueda es diferente, aunque el peso de todo el auto es constante, la fuerza que soporta el eje delantero aumenta y la del eje trasero disminuye a medida del tiempo en que transcurre en el frenado, a este fenómeno se lo conoce como cabeceo.

$$TP = \left(\frac{a_v}{g}\right) \left(\frac{H}{L}\right) * m_T$$

$$TP = \left(\frac{(0.8 \text{ G's}) \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right)}{9.8 \frac{m}{s^2}}\right) \left(\frac{0.686 \text{ m}}{2.3 \text{ m}}\right) (1200 \text{ kg}) \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$TP = 2806.04 \text{ N}$$

Siendo:

$TP = \text{Transferencia de peso (N)}$

$g = \text{Gravedad}$

$H = \text{Altura del centro de gravedad al suelo (m)}$

Peso aplicado en el eje delantero durante la desaceleración (Pdd)

$$P_{dd} = m_d * g - TP$$

$$P_{dd} = \left(515.596 \text{ kg} * 9.8 \frac{m}{s^2}\right) - 2806.04 \text{ N}$$

$$P_{dd} = 2246.80 \text{ N}$$

Peso aplicado en el eje trasero durante la desaceleración (Ptd)

$$P_{td} = m_t * g - TP$$

$$P_{td} = \left(675.404 \text{ kg} * 9.8 \frac{m}{s^2}\right) - 2806.04 \text{ N}$$

$$P_{td} = 3812.92 \text{ N}$$

Después de obtener los pesos en los ejes durante la reducción de la aceleración, se obtiene la fuerza que se ejerce en cada uno durante el frenado ( $F_f$ ), bajo condiciones estáticas, la  $F_{max}$  de frenado viene dado según la ecuación para el eje.:

$$F_f = \mu * P_d$$

Siendo  $\mu$  una constante de rozamiento valuada en 0.5 sin dimensiones para el contacto entre el neumático y un suelo mixto, considerado este como terreno de piedra, tierra y de condiciones extremas por donde el vehículo táctico militar circulara.

Fuerza de frenado en el eje delantero:

$$F_{fd} = \mu * P_{dd}$$

$$F_{fd} = 0.5 * 2246.80 \text{ N}$$

$$F_{fd} = 1123.4 \text{ N}$$

Fuerza de frenado para el eje trasero:

$$F_{ft} = \mu * P_{dt}$$

$$F_{ft} = 0.5 * 3812.92 \text{ N}$$

$$F_{ft} = 1906.46 \text{ N}$$

Se puede determinar la fuerza de frenado máxima o total ( $F_{max}$ ) ejercida por todo el vehículo táctico militar siendo:

$$F_{max} = F_{fd} + F_{ft}$$

$$F_{max} = 1123.4 \text{ N} + 1906.46 \text{ N}$$

$$F_{max} = 3029.86 \text{ N}$$

Sabiendo la fuerza máxima tenemos un par de oposición al movimiento  $N$  del vehículo por medio del radio de sus llantas.

Teniendo un radio de la llanta de ( $R_d$ ) de 0.35 m, calculado para eje delantero  $N_d$

$$N_d = F_{fd} * R_d$$

$$N_d = 1123.4 \text{ N} * 0.35 \text{ m}$$

$$N_d = 393.19 \text{ Nm}$$

Y, el par de Frenado Trasero ( $N_t$ ):

$$N_t = F_{ft} * R_d$$

$$N_t = 1906.46 \text{ N} * 0.35\text{m}$$

$$N_t = 667.261 \text{ Nm}$$

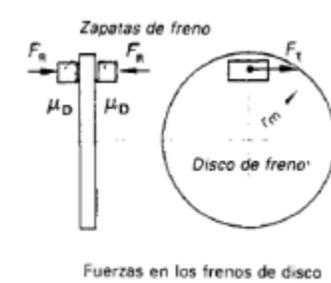
### **Fuerzas de rozamiento entre pastillas y zapatas de freno**

Las fuerzas que ejercen el rozamiento entre la pastilla de freno y el disco, así como la de la zapata de freno y tambor se produce con el objetivo de oponerse al movimiento de las ruedas dependiendo de la fuerza de aprieto y el rozamiento que estos elementos generan.

Al accionar el freno la bomba produce una presión en los cilindros del freno oprimiendo las pastillas sobre el disco brindando una fuerza periférica o de rozamiento con un brazo de palanca  $r_m$  que es el radio del disco.

### **Figura 67**

*Fuerzas en los frenos de disco*



Nota. Fuerza en los frenos de disco tomado de (Aparicio Izquierdo, Vera Álvarez, & Diaz López, 2001)

De acuerdo a (Aparicio Izquierdo. At el, 2001) la fórmula de la fuerza de fricción delantera entre los elementos frenantes, obtenida de la ficha técnica la fuerza del cilindro de freno delantero siendo 6514.41 N en condiciones normales de frenado y el coeficiente de frenado entre la pastilla de freno y el disco de 0.44 adimensional de acuerdo a las

especificaciones de la pastilla de freno instalada. Tomando 2, ya que son dos los discos de freno que actúan al frenar el vehículo táctico militar.

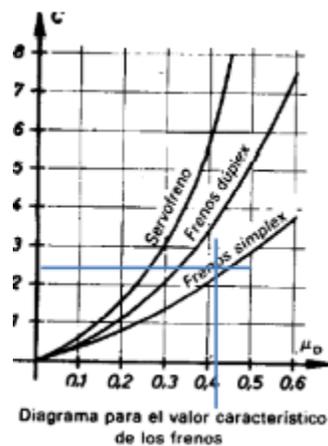
$$F_{fd} = 2 * F_{st} * u_d$$

$$F_{fd} = 2 * 6541 N * 0.44$$

$$F_{fd} = 5732.68 N$$

### Figura 68

Diagrama para el valor característico de los frenos



Nota. Diagrama para el valor característico de los frenos tomado de (H. Kindler, 1986)

Para los elementos frenantes posteriores según (H. Kindler, 1986) tenemos la fórmula:

$$F_{ft} = C * F_{st}$$

Siendo  $F_{st}$  la fuerza de ingreso del cilindro de freno para la zapata igual a 1628.6 N y C siendo un valor característico obtenido de la figura del diagrama para el valor característico de los frenos.

$$F_{ft} = 2.3 * 1628.6 N$$

$$F_{ft} = 3745.78 N$$

**Par de freno en discos y pastillas.** El disco de freno genera un esfuerzo de torsión en función de la fuerza de la fuerza de torsión que se obtiene en el contacto de la pastilla de freno consiguiendo un par de frenado que permitirá detener el vehículo.

$$N_{Fdel} = F_{fd} * R_{efd}$$

Siendo:

$N_{fd}$  = Par de freno delantero

$N_{ft}$  = Par de freno trasero

$R_{efd}$  = Radio efectivo del disco de freno

$R_{eft}$  = Radio efectivo del tambor

$$N_{Fdel} = 5732.68 \text{ N} * 0.15 \text{ m}$$

$$N_{Fdel} = 859.90 \text{ Nm}$$

Para el freno trasero usamos:

$$N_{Ftras} = F_{ft} * R_{eft}$$

$$N_{Ftras} = 3745.58 * 0.13 \text{ m}$$

$$N_{Ftras} = 486.93 \text{ Nm}$$

### **Distancia de frenado**

Es la distancia que recorre el vehículo desde que el conductor acciona el pedal del freno hasta cuando el vehículo se detiene, la velocidad inicial será la que se tiene antes de accionar el pedal.

De acuerdo con la Norma INEN la fórmula para el cálculo de la desaceleración media es:

$$dm = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25.92 (s_e - s_b)} \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

Siendo:

- $V_o$ =Velocidad inicial en, km/h,
- $V_b$ =Velocidad del auto a 0.8  $V_o$ , en km/h,

- $V_e$  = Velocidad a 0.1  $V_o$ , en km/h,
- $S_b$  = Distancia entre  $V_o$  y  $V_b$ , en m,
- $S_e$  = Distancia recorrida entre  $V_o$  y  $V_e$ , en m.

Teniendo así:

$$dm = \frac{\left(80 \frac{km}{h}\right)^2 - \left(0.1 \times 80 \frac{km}{h}\right)^2}{25.92 (40m - 36m)}$$

$$dm = \frac{(22.222 \text{ m/s})^2 - \left(0.1 \times 22.222 \frac{m}{s}\right)^2}{25.92 (40m - 36m)}$$

$$dm = 4.71 \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

### **Tiempo de frenado.**

Es el intervalo de tiempo en el que están accionados los frenos.

### **Distancia de Frenado.**

Es la distancia que existe durante el tiempo de frenado en que el vehículo aun recorre dicha distancia.

### **Figura 69**

*Procesos de Frenado.*



*Nota.* La figura muestra la distancia que aparecen en el proceso de frenado, como las que existen antes de accionar el freno, como las que aparecen al haber accionado el freno.

Tiempo de frenado

$$t = \frac{v_o}{dm} = \frac{2s}{v_o}$$

$$t = \frac{22.22 \text{ m/s}}{4.71 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]}$$

$$t = 4.72 \text{ s}$$

Distancia de frenado.

$$s = \frac{v_o \times t}{2} = \frac{v_o^2}{2dm}$$

$$s = \frac{22.22 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 4.72 \text{ s}}{2}$$

$$s = 52.44 \text{ m}$$

***Distancia hasta el paro.***

Para calcular la distancia hasta el paro, debemos entender que va a existir un tiempo entre el susto y la reacción del conductor, es decir el tiempo entre la primera observación de un obstáculo por parte del conductor y el accionamiento del pedal de freno que tiene un total de  $t_r = 1.5$  segundos de acuerdo a estudios.

$$S_{total} = s + v_o \times t_r$$

$$S_{total} = 52.44 \text{ m} + \left( 22.22 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 1.5 \text{ s} \right)$$

$$S_{total} = 85.77 \text{ m}$$

## Capítulo V

### Marco Administrativo

#### Recursos humanos

Es todo aquel personal que se encuentra participando en el proyecto.

**Tabla 13**

*Participantes de la investigación*

Participantes	Función
Sasintuña Chancusig Andrés Esteban	Investigador
Zúñiga Lema Jorge David	Investigador
Ing. Cevallos Alex	Colaborador científico

*Nota.* Se muestra los participantes del proyecto y el tutor de la investigación

#### Recursos tecnológicos

Se refiere a las herramientas tecnológicas que se necesitó para llevar a cabo el desarrollo e investigación del proyecto.

**Tabla 14**

*Recursos tecnológicos usados en el proyecto*

Herramienta	Cantidad
Computador	2
Internet	2
Software Solidworks	2

*Nota.* Se muestra las herramientas tecnológicas que se usó para realizar la investigación.

#### Recursos económicos

En la tabla mostrada se detalla todos los gastos hechos en la realización del proyecto en lo que respecta al sistema de suspensión, dirección y frenado. Con el fin de detallar las piezas, componentes o procesos que generaron un gasto económico.

**Tabla 15***Gastos realizados en el sistema de suspensión*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unidad</b>	<b>Subtotal</b>
- Amortiguadores MONROE Gas Magnum 20" – 25"	4	\$90	\$360
- Espirales 500lb de Toyota Land Cruiser VX de 4"	2	\$70	\$140
- Brazos de suspensión 4-Link	4	\$70	\$280
- Soportes de los brazos y amortiguadores de la suspensión 4- link	6	\$40	\$240
- Bujes Off-Road para la suspensión	12	\$7	\$84
<b>Subtotal sistema de suspensión</b>			<b>\$1104</b>

*Nota.* Se muestra el precio de los componentes usados en la nueva suspensión 4-Link

**Tabla 16***Gastos realizados en el sistema de freno*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unidad</b>	<b>Subtotal</b>
- ABC de frenos	1	\$30	\$30
- Líquido de freno 1Lt	1	\$15	\$15
- Kit de pastillas de freno	1	\$25	\$25
- Rectificación de discos de freno	2	\$15	\$30
<b>Subtotal sistema de freno</b>			<b>\$100</b>

*Nota.* Se muestra el precio del proceso de mantenimiento al sistema de frenos

**Tabla 17***Gastos en el sistema de dirección*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unidad</b>	<b>Subtotal</b>
- Terminales de dirección	2	\$20	\$40
- Engrasado	1	\$20	\$20
- Mantenimiento al sistema hidráulico de dirección	1	\$40	\$40
- Alineado de llantas	1	\$20	\$20
- Combustible para el transporte	1	\$20	\$20
<b>Subtotal sistema de dirección</b>			<b>\$140</b>

*Nota.* Se muestra el precio del proceso de mantenimiento al sistema de dirección

**Tabla 18***Gasto total en la investigación*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unidad</b>	<b>Subtotal</b>
- Sistema de suspensión	1	\$1104	\$1104
- Sistema de frenos	1	\$100	\$100
- Sistema de dirección	1	\$140	\$140
<b>TOTAL</b>			<b>\$1344</b>

*Nota.* Se muestra la sumatoria de los gastos subtotales de los sistemas de suspensión, dirección y frenos

## Capítulo VI

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

Se seleccionó e implementó los sistemas de suspensión, dirección y frenos para un vehículo táctico militar, a partir de la adquisición de un Isuzu Trooper 4x4 (1990), en el cual el chasis original, sea la base y comienzo del proyecto. La primera parte fue el diseño y simulación del nuevo vehículo a cargo del primer grupo de investigación, donde se obtuvieron medidas y datos importantes, como la ubicación del centro de gravedad, peso total de la estructura tubular, cargas en cada eje, medidas y distancias necesarias para los cálculos de estos sistemas, para su posterior optimización, adaptación e instalación en el vehículo.

Para el análisis del sistema de dirección, se determinó que el sistema asistido hidráulicamente original, es el más idóneo para el vehículo táctico militar, ya que no requerirá grandes esfuerzos por parte del conductor al manejar, brindando comodidad. Fue necesario realizar un mantenimiento preventivo, dando una limpieza al sistema, comprobación del circuito hidráulico para eliminar rastro de fugas y para finalizar, se realizó la alineación de las llantas, corrigiendo los ángulos de caída, avance, convergencia y empuje según los rangos de medidas y parámetros del fabricante original Isuzu Trooper 4x4 (1990).

Se implementó el sistema de suspensión multibrazo en el eje trasero del vehículo, cambiando en su totalidad el conjunto de ballestas reforzadas con amortiguadores telescópicos hidráulicos de doble acción original, a un sistema de suspensión 4-link, compuesto de dos brazos superiores que conectan el eje superior trasero con el travesaño del bastidor, dos brazos inferiores que conectan el eje inferior trasero a la base original de las ballestas. Se adaptaron bases para la instalación de dos muelles de un Toyota Land Cruiser VX 4" de 500 lb cada uno, así como dos amortiguadores Monroe Gas Magnum para cada lado. Para determinar si tenemos de una suspensión ideal el número de oscilaciones del muelle trasero debe estar

comprendido de 30 a 60 ciclos por minuto, en el cálculo realizado se obtuvo 38.76 cpm, lo cual nos indica que se encuentra dentro del margen ideal.

En cuanto a la selección del sistema de freno se ha seleccionado un freno delantero de disco ya que de acuerdo a las cargas soportadas al momento de frenar, estas se multiplican a la carga superior en un corto tiempo lo que hace necesario que sean refrigeradas de manera rápido lo cual favorece la selección del disco de freno delantero, en cuanto a los frenos posteriores, tomando en cuanto el factor económico al disponer del sistema original del Trooper de tambor y al ser el vehículo táctico militar, un auto todoterreno, se vio indispensable unos frenos de tambor por la facilidad y la seguridad que brinda un freno de estacionamiento con un sistema de tambor, así como también que con un tambor ningún elemento de freno se ve expuesto a agentes contaminantes como agua, polvo o cualquier otro elemento que puede ingresar y desgastar prematuramente las zapatas de freno. Así mismo el tambor de freno es un elemento de mayor tiempo de intervalos de mantenimiento.

## Recomendaciones

Se debe realizar mantenimientos preventivos a los sistemas de suspensión, dirección y frenado de manera periódica, ya que estos son los encargados de brindar estabilidad al vehículo y seguridad a los ocupantes. Es por eso que se debe realizar un plan de mantenimiento por kilometraje para cada uno de estos sistemas, y analizar las piezas que sufrirán mayor desgaste, para poder tener un control exacto del recambio de piezas y fluidos de los circuitos hidráulicos de la dirección y frenos.

Revisar con frecuencia que los terminales de dirección se encuentren en excelente estado, a su vez tener un control de la alineación de las llantas, para evitar que los ángulos de caída, avance, convergencia y empuje se encuentren fuera de rango y llegue a desestabilizar el vehículo pudiendo causar accidentes, ya que al ser un vehículo todoterreno offroad, tienen mayor tendencia a desgastar los componentes de la dirección mucho más rápido que otros vehículos ya que va a estar sometido a mayores esfuerzos.

La suspensión original de ballestas en el eje trasero fue cambiada y se instaló un sistema 4-link, es posible aumentar un quinto brazo adicional de control, llegando a convertirse en una suspensión 5-link y mejorar aún más el sistema instalado. El eje delantero se mantuvo con la suspensión original McPherson, pero para una posible investigación es posible cambiar u optimizar este sistema para mejorar aún más la estabilidad del vehículo.

En cuanto al sistema de freno al momento de realizar el cambio de zapatas y pastillas de freno, de paso se debe realizar un chequeo de los discos con el objetivo de verificar que no exista rayaduras en el disco que puedan desgastar prematuramente los discos de freno, así también verificar la tolerancia del Tambor ya que, si bien estuvo en el límite de lo aceptable, con el tiempo puede existir desgaste y el tambor no soportaría más cargas y se fracturaría.

## Bibliografía

- (INEN), S. E. (2016). *REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 034 (4R) ELEMENTOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES*. Quito. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-034-4R.pdf>
- Águeda Casado, E., Martín Navarro, J., & Gómez Morales, T. (2011). *Sistemas de Transmisión y Frenado* (2da ed.). Madrid, España: Paraninfo, SA.
- Borja, J. C., Fenoll, J., & Herrera, J. (2009). *Sistemas de Transmisión y Frenado*. Macmillan Iberia.
- Bustamante, D. A. (2022). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA FRENOS Y EMBRAGUES*. [Tesis de grado, Universidad Autónoma de Occidente de Santiago de Cali].
- Carpio Cueva, D. (2018). *Diseño y construcción del sistema de frenos de un vehículo de competencia Formula SAE eléctrico*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]: Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana.
- Coello Triay, I. (2018). *Diseño del sistema de frenado de un automóvil. Cálculo de la geometría, materiales, energía disipada, par de frenado, fuerzas de accionamiento y circuito hidráulico*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia]: Repositorio de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Dominguez, E., & Ferrer, J. (2012). *Sistemas de transmisión y frenado*. Editex.
- González, T., Del Rio, G., Tena, J., & Torres, B. (2011). *Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección*. Editorial Editex. doi:849771539X
- González, T., del Río, G., Tena, J., & Torres, B. (2011). *Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección*. Madrid: Editex.
- González, T., Del Rio, G., Tena, J., & Torres, B. (2011). *Circuitos de Fluidos. Suspension y Dirección*. Editorial Editex. doi:849771539X

- INEN. (2012). NTE INEN2656:2012. *CLASIFICACIÓN VEHICULAR*. QUITO, PICHINCHA, ECUADOR.
- INEN. (05 de 2013). Vehículos Automotores. Sistema de Frenado Para Vehículos de Categoría M, N y O. Requisitos y Métodos de Ensayo. 2710. QUITO, PICHINCHA, ECUADOR.
- Juarez, M. (11 de Junio de 2020). *Motor Pasión*. Obtenido de <https://www.motorpasion.com.mx/industria/frenos-disco-vs-frenos-tambor-diferencias>
- Pacheco, M. (02 de 2017). *DAUTOMOTRIZUFT*. Obtenido de <https://dautomotrizuft.weebly.com/suspensioacuten.html>
- Quishpe, A. (2014). DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN, DIRECCIÓN Y FRENOS DE UN VEHÍCULO BLINDADO 4X4. *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SUSPENSIÓN, DIRECCIÓN Y FRENOS DE UN VEHÍCULO BLINDADO 4X4*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga.
- Vigliani, N. (4 de 3 de 2021). *IAD Instituto de automovilismo deportivo*. Obtenido de [https://iad.la/blogs/el-sistema-de-suspension-en-autos-de-competicion\\_86/](https://iad.la/blogs/el-sistema-de-suspension-en-autos-de-competicion_86/)

**Anexos**