



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**“ANÁLISIS DE AVERÍAS MECÁNICAS EN EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DEL  
EJE POSTERIOR EN VEHÍCULOS DE CARGA LIVIANA (N1)”**



**AUTOR: LEONEL DAVID MORALES BASTIDAS**

**MICHAEL ALEXANDER GARCÉS ANDRADE**

**DIRECTOR: ING. EDUARDO FAUSTO TAPIA GUDIÑO, MSC.**

Ibarra-Ecuador

**2024**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	<b>DE</b>	100380105-5	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	<b>Y</b>	MORALES BASTIDAS LEONEL DAVID	
<b>DIRECCIÓN:</b>		13 DE ABRIL Y TULCÁN	
<b>EMAIL:</b>		moralitodavid034@gmail.com	
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELF. MOVIL</b>	0999000558

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	<b>DE</b>	100509423-8	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	<b>Y</b>	GARCÉS ANDRADE MICHAEL ALEXANDER	
<b>DIRECCIÓN:</b>		PANAMERICANA E35 Y PASAJE BUENA FE	
<b>EMAIL:</b>		michaelgarces19@gmail.com	
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELF. MOVIL</b>	0983194067

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	Análisis de averías mecánicas en el sistema de suspensión de eje posterior en vehículos de carga liviana (N1)
<b>AUTOR (ES):</b>	Morales Bastidas Leonel David Garcés Andrade Michael Alexander
<b>FECHA: AAAAMMDD</b>	2024/11/29
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
<b>CARRERA/PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>GRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingenierio Automotriz
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Eduardo Fausto Tapia Gudíño

## AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Garcés Andrade Michael Alexander, con cédula de identidad Nro. 1005094238, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 29 días del mes de noviembre de 2024

**EL AUTOR:**



Garcés Michaél

## AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Morales Bastidas Leonel David, con cédula de identidad Nro. 100380105-5, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 29 días del mes de noviembre de 2024

**EL AUTOR:**



Morales Leonel

## CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 29 días, del mes de noviembre de 2024

### LOS AUTORES:



Garcés Michael



Morales Leonel

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 29 de noviembre de 2024

Ing. Eduardo Fausto Tapia Gudiño, MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

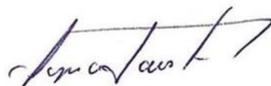


ING. EDUARDO FAUSTO TAPIA GUDIÑO, MSC.  
C.C.: 1002251351

## APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

Ibarra, 29 de noviembre del 2024

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular “Análisis de averías mecánicas en el sistema de suspensión del eje posterior en vehículos de carga liviana (N1)” elaborado por Michael Alexander Garcés Andrade con C.I. 100509423-8, Leonel David Morales Bastidas con C.I. 100380105-5 previo a la obtención del título de Ingeniería Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



ING. EDUARDO FAUSTO TAPIA GUDIÑO, MSC.  
C.C.: 1002251351



ING. MELO OBANDO JORGE LUIS, MSC.  
C.C.: 1718346529

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Dios, mi madre, mi padre y mi pequeña hermana.

A Dios, quien, en los momentos más complicados de mi vida, ha sido mi guía y protector. Me ha brindado sabiduría en situaciones complejas, me ha ayudado a tomar las mejores decisiones en etapas difíciles. Gracias a él, tengo una gran autoestima para enfrentar desafíos en el futuro. Sin su presencia, pienso que mi vida no sería la misma, ya que me ha bendecido con unos padres maravillosos y situaciones dignas de agradecerle.

A mi madre Belén, quien, siempre ha estado conmigo en los buenos y malos momentos de mi vida, desde mi infancia me ha educado con respeto, amor, cariño, bondad, ternura y sobre todo mucha responsabilidad, ya que desde niño me ha enseñado a hacer las cosas de manera correcta, cumplir con mis tareas y obligaciones de hijo. Gracias a ella, mi personalidad se basa en que el amor existe, porque mi madre es el ser más amable y bondadoso que puede haber en la humanidad, y estoy consciente que ella estará siempre a mi lado brindándome ese amor de madre y apoyándome en las decisiones de mi vida.

A mi padre Vinicio, quien, ha estado a mi lado en cada etapa de mi vida apoyándome y compartiendo tanto alegrías como desafíos. Me ha enseñado a que un hijo siempre debe honrar a padre y madre, así como también ser agradecido en la vida, ya que nada es fácil de obtener. Lo que más admiro de mi padre es su responsabilidad y sacrificio, son dos valores que siempre ha tenido desde niño, por lo que, cada día me esfuerzo en tener una mentalidad ganadora como él. Gracias a mi padre, he aprendido a ser un líder y enfrentar cualquier desafío.

A mi hermana pequeña Cristel, quien, me ha enseñado que pensar como un niño es lo más increíble que puedes experimentar, porque un niño transmite emociones, inocencia, aventura, drama, amor, los cuales, son sentimientos verdaderos que nacen dentro de cualquier persona. Por lo que, cada gesto que realiza hacia mí, lo tomo como una acción única y verdadera. Ella, ha hecho que me esfuerce cada día para ser algo que se sienta orgulloso.

**Garcés Andrade Michael Alexander**

## DEDICATORIA

Quiero dedicar este presente trabajo a mis padres, hermano y familiares quien han sido la razón porque quiero mejorar cada día.

A mi madre, Jacqueline Bastidas, por su amor incondicional, por ser mi guía y ejemplo de perseverancia. Te doy gracias por confiar en mi cuando yo mismo dudaba de mis propias capacidades y por estar siempre brindándome amor, apoyo y motivación necesaria para seguir adelante. Gracias por ser una madre excepcional. Tus sacrificios y esfuerzos han sido invaluable, y se cuánto has trabajado para darme las oportunidades que he tenido. Por eso este logro refleja el esfuerzo y el amor que me has brindado.

A mi padre, Romel Morales, quien con su sabiduría y sacrificio ha sido mi mayor apoyo en cada paso de mi vida. Gracias por tenerme paciencia, por enseñarme a nunca rendirme, por tus palabras de aliento cuando más lo necesitaba y por ser una inspiración para poder seguir mejorando. Este trabajo es el reflejo de tus enseñanzas y apoyo incondicional que me has brindado.

A mi hermano, Abdiel Morales, por su cariño y apoyo incondicional en todo momento. Gracias por brindarme alegría y por permitirme compartirte este proceso de aprender y enseñarte de lo capaces que podemos llegar hacer algo si nos lo proponemos.

Finalmente, a todos los miembros de mi familia que de cualquier manera ha sido parte de este proceso, su presencia y respaldo ha sido fundamentales en mi camino.

**Morales Bastidas Leonel David**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres, quienes me brindaron su apoyo incondicional desde el inicio de mis estudios, con sus palabras, sus consejos, y sus conocimientos, las cuales poco a poco me han ayudado a tener confianza en cada toma de decisiones que he realizado. Consejos que uno necesita para seguir adelante y cumplir sueños. Palabras sabias que me impulsan a ser una gran persona.

A mi director de tesis Ing. Fausto Tapia, quien desde el primer momento nos ha guiado en todo el procedimiento de la investigación con ideas primordiales y conocimientos estratégicos, que han dado un resultado eficaz en la culminación del proyecto.

A la universidad, la cual me ha dado la oportunidad de vivir experiencias bonitas en sus campus. Así como también, a los docentes que conforman la carrera de ingeniería automotriz, los cuales, gracias a sus conocimientos, me han brindado ayuda en mi proyecto de investigación.

A la empresa REVIPLUS ECUADOR S.A., que, me abrió las puertas de su entorno laboral como practicante y posteriormente como investigador. A los ingenieros Ricardo Rocha y David Bernal, quienes, apoyaron el tema de investigación desde un inicio, brindando tiempo y atención en cada visita realizada. Agradecido también con cada integrante de la empresa, ya que durante el tiempo que permanecí, me tuvieron paciencia y me brindaron tutorías sobre el funcionamiento de sus máquinas.

A mi familia, quienes, estuvieron a mi lado apoyándome en los momentos más complicados, así como también celebrando cada pequeño logro que obtuve en mis estudios. A mi novia, Marisol, quien ha estado conmigo desde el inicio de mi carrera, apoyándome en los buenos y malos momentos que he pasado.

A mis compañeros y amigos que he ido conociendo durante la carrera, con los cuales, he compartido momentos únicos, en especial a un amigo que partió de este mundo, Dilan Simbaña.

**Garcés Andrade Michael Alexander**

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mis más sincero agradecimiento a todas las personas que me han acompañado y apoyado durante el desarrollo de esta tesis, ya que sin su ayuda y ánimo que me brindaron, este trabajo no habría sido posible.

Primero, a mis padres y hermano, que siempre me ha brindado su amor incondicional, comprensión y aliento en todo momento. Que sin su ayuda no podría haber llegado hasta este punto, gracias por creer siempre en su hijo y acompañarme en el transcurso de este camino que es la finalización de esta etapa de mi formación académica.

A mis amigos de la universidad por estar siempre presente y darme alegrías en esta vida universitaria, por compartirme parte de sus conocimientos y consejos. Quiero hacer un agradecimiento a un amigo que no se encuentra presente con nosotros Dilan Simbaña, gracias por las veces que me ayudaste con tus conocimientos prácticos, consejos y anécdotas que siempre estarán presente. Te recordare siempre con cariño y gratitud. Que en paz descanses.

Igualmente, a mis amigos de Pimampiro, quienes, con su apoyo, logran sacarme una sonrisa en las situaciones más difíciles. Sus palabras de aliento y sus consejos fueron fundamentales para seguirá adelante. Gracias por estar allí siempre y por su amistad sincera.

Finalmente, a la Universidad Técnica del Norte por permitirme cursar la carrera de Ingeniería Automotriz dándome una formación de calidad y permitirme ser un buen profesional. Mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis el Ing. Fausto Tapia, por impartirnos sus conocimientos, por su paciencia y orientación técnica fueron necesarias para la culminación de este trabajo.

A la empresa REVIPLUS ECUADOR S.A., que, me permitió realizar mi investigación, para culminar mis estudios. A los ingenieros Ricardo Rocha y David Bernal, mi más sincero agradecimiento por brindarnos su tiempo y atención en cada visita.

**Morales Batidas Leonel David**

## RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo analiza las diferentes averías mecánicas en el sistema de suspensión posterior en 3 marcas de camionetas (Chevrolet, Mazda y GreatWall) en la provincia de Imbabura, el cual se realiza mediante ensayos que estén regidos a normativas ecuatorianas. Este estudio se lo efectúa debido a que mucho propietario de camionetas excede los límites de carga permitidos por la normativa, tendiendo así fallas en varios componentes del sistema de suspensión, esto permitirá identificar cual de estas 3 marcas de camionetas tiene mejor calidad y durabilidad en sus componentes de suspensión. Se comparará los resultados obtenidos teniendo en cuenta algunas variables como el kilometraje, año y la ubicación donde ocurre la avería. La metodología empleada involucra la utilización de dos diferentes bancos de pruebas para encontrar las averías. Uno es el banco de suspensión, que se basa según la norma EuSAMA, lo que nos permitirá ver el estado que se encuentra el amortiguador (eficacia) y el otro el banco de detector de holgura que está regido al Real Decreto 17/920, permitiendo observar el funcionamiento de los componentes dependiendo de movimientos longitudinales y transversales. Para sustentar el ensayo de suspensión, se ha optado en crear un código de programación que verifique si el funcionamiento del amortiguador está en condiciones óptimas de carretera, para lo cual, en dicho código se ha implementado la resolución de un sistema de ecuaciones diferenciales generados por un diagrama de cuerpo libre realizado en un cuarto de vehículo. Mientras que ensayo de detector de holguras, se ha basado en una inspección visual de todos los componentes del sistema de suspensión tanto en el eje posterior como anterior. Los resultados obtenidos validaron que la marca y modelo Chevrolet Luv D-Max y Mazda BT-50 presentaron averías en años considerables de daño como 2013, mientras que Great Wall Wingle obtuvo una demanda de fallas a partir del año 2019, tomando en cuenta que el kilometraje no superaba los 100 000km. Así como también, se validaron que existen averías en el eje posterior con un 42%, mientras que el eje anterior un 44%, siendo el restante, fallas poco probables con un 14% en los 3 vehículos seleccionados.

**Palabras clave:** Componentes de suspensión, eficacia de adhesión, Normativa EuSAMA, Bancos de pruebas, Normativa INEN, Amplitud

## ABSTRACT

This study analyzes the different mechanical failures in the rear suspension system of three pickup truck brands (Chevrolet, Mazda, and Great Wall) in the province of Imbabura. The analysis is carried out through tests governed by Ecuadorian regulations. This research is conducted because many pickup truck owners exceed the load limits established by the regulations, leading to failures in several components of the suspension system. This will help identify which of these three pickup truck brands offers better quality and durability in their suspension components. The results will be compared considering variables such as mileage, year, and the location where the failure occurs.

The methodology involves the use of two different test benches to identify failures. One is the suspension test bench, based on the EuSAMA standard, which allows the assessment of the shock absorber's condition (efficiency). The other is the play detector test bench, governed by Royal Decree 17/920, which enables the observation of component functionality depending on longitudinal and transverse movements.

To support the suspension test, a programming code has been developed to verify whether the shock absorber is in optimal road condition. This code implements the resolution of a system of differential equations generated from a free-body diagram of a quarter vehicle. Meanwhile, the play detector test is based on a visual inspection of all suspension system components on both the rear and front axles.

The results showed that the Chevrolet Luv D-Max and Mazda BT-50 models exhibited significant failures in older vehicles, particularly from 2013, while the Great Wall Wingle presented a higher incidence of failures starting in 2019, even when the mileage did not exceed 100,000 km. Additionally, it was validated that rear axle failures accounted for 42%, front axle failures for 44%, and less probable failures for 14% in the three selected vehicles.

**Keywords:** Suspension components, Adhesion efficiency, EuSAMA standard, test benches, INEN standard, Amplitude

**LISTA DE SIGLAS**

**INEN.** Servicio Ecuatoriano de Normalización

**EuSAMA.** European Shock Absorber Manufactures

**MMA.** Masa Máxima Autorizada

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	xxii
Problema de investigación.....	xxii
Justificación.....	xxii
Objetivos.....	xxiii
Objetivo General.....	xxiii
Objetivos Específicos.....	xxiii
Alcance.....	xxiv
CAPÍTULO I.....	1
1    MARCO TEÓRICO.....	1
1.1    Fundamentación Teórica del Sistema de Suspensión.....	1
1.1.1    Aspectos Generales.....	2
1.2    Dinámica de la suspensión.....	3
1.2.1    Centro de balanceo y centro de gravedad.....	3
1.2.2    Transferencia de carga.....	3
1.2.3    Funcionamiento de la suspensión.....	4
1.3    Componentes del sistema de suspensión.....	5
1.3.1    Elementos elásticos.....	5
1.3.2    Elementos constructivos y de guiado de la suspensión.....	12
1.4    Tipos de sistema de suspensión.....	15
1.4.1    Suspensión de eje rígido.....	15
1.4.2    Suspensión semirrígida.....	17
1.4.3    Suspensión independiente.....	17
1.4.4    Suspensión de eje oscilante.....	18
1.4.5    Suspensión de paralelogramo deformable.....	19
1.4.6    Suspensión Multibrazo.....	20
1.4.7    Suspensión de brazos arrastrados.....	20
1.4.8    Suspensión McPherson.....	21
1.4.9    Suspensión Pasiva.....	22
1.4.10    Suspensión Activa.....	23
1.4.11    Suspensión semiactiva.....	24
CAPITULO II.....	26
2    MÉTODOS Y MATERIALES.....	26
2.1    Método.....	26

2.2	Selección y especificaciones generales de los vehículos.....	28
2.2.1	Chevrolet Luv D-Max .....	28
2.2.2	Mazda BT-50.....	29
2.2.3	GreatWall Wingle.....	30
2.3	Aplicación del método EuSAMA en la suspensión .....	31
2.3.1	Modelo de un cuarto de vehículo de 2 grados de libertad.....	31
2.4	Elección de Maquinaria para ensayo de suspensión bajo la Norma EuSAMA.....	37
2.4.1	Requisitos para el banco de suspensión según la NTE INEN 2349:2003 .....	37
2.4.2	Banco de suspensión BSU.....	37
2.4.3	Norma EuSAMA .....	42
2.5	Realización de prueba en el banco de suspensión universal BSU.....	43
2.6	Identificación de averías mecánicas en la suspensión .....	46
2.7	Maquinaria para ensayo de detector de holguras y su estructura .....	48
2.7.1	Ensayo de detector de holguras .....	48
2.7.2	Detector de Holguras .....	50
2.8	Realización de prueba en el detector de holguras de los componentes de la suspensión.....	53
CAPITULO III .....		61
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	61
3.1	Resultados de la incorrecta eficacia de la suspensión realizados en el banco de suspensión.....	61
3.1.1	Interpretación del funcionamiento de amortiguadores según normativa EuSAMA .....	61
3.1.2	Incorrecta eficacia de suspensión en eje 1 y 2 en vehículos Chevrolet Luv D-Max	64
3.1.3	Incorrecta eficacia de suspensión en el eje 1 y 2 en vehículos Mazda BT-50 ..	66
3.1.4	Incorrecta eficacia de suspensión en el eje 1 y 2 en vehículos GreatWall Wingle	67
3.2	Resultados de las averías mecánicas realizados en el banco de detector de holguras	69
3.2.1	Ajuste inadecuado de rótula de mesas .....	70
3.2.2	Buje de caucho deteriorado o inexistente de mesa .....	74
3.2.3	Ajuste inadecuado de ojo de ballesta.....	78
3.2.4	Hojas de ballestas desalineadas, rotas o soldadas.....	81
3.2.5	Manoplas, grilletes o gemelos en mal estado o cóncavas.....	85

3.2.6	Averías minoritarias en el sistema de suspensión .....	88
CAPITULO 4	.....	90
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	90
4.1	Conclusiones.....	90
4.2	Recomendaciones .....	92
BIBLIOGRAFÍA	.....	93
ANEXOS	.....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Requisitos del banco de suspensión .....	37
Tabla 2 Especificaciones de cargas al paso y medidas de vía .....	38
Tabla 3 Características del software del banco de suspensión universal BSU.....	40
Tabla 4 Datos Técnicos del banco de suspensión.....	41
Tabla 5 Medias del banco de suspensión.....	41
Tabla 6 Porcentaje de adhesión y su interpretación .....	42
Tabla 7 Averías en los elementos del sistema de suspensión.....	47
Tabla 7 Averías en los elementos del sistema de suspensión (Continuación...)	48
Tabla 8 Parámetros de Banco de Detector de Holguras .....	50
Tabla 9 Datos técnicos del Banco de Detector de Holguras DLJ5 N4.....	51
Tabla 10 Dimensiones del Banco de Detector de Holguras DLJ5 N4 .....	52
Tabla 11 Inspección de holguras en el eje delantero .....	56
Tabla 11 Inspección de holguras en el eje delantero (Continuación...)	57
Tabla 11 Inspección de holguras en el eje delantero (Continuación...)	58
Tabla 12 Inspección de holguras en el eje delantero .....	59
Tabla 12 Inspección de holguras en el eje delantero (Continuación...)	60
Tabla 13 Descripción de averías en los 3 vehículos seleccionados.....	69
Tabla 13 Descripción de averías en los 3 vehículos seleccionados (Continuación...)	70
Tabla 15 Número total de averías en rótulas de mesa .....	70
Tabla 16 Número total de averías en buje de caucho .....	74
Tabla 14 Número total de averías en ojo de ballesta .....	78
Tabla 17 Número total de averías en hojas de ballesta.....	82
Tabla 18 Número total de averías en manoplas.....	85
Tabla 19 Averías con poca frecuencia en el sistema de suspensión.....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema del sistema de suspensión.....	1
Figura 2 Generalidades del sistema de suspensión.....	2
Figura 3 Movimientos geométricos y ejes de movimiento de un vehículo .....	4
Figura 4 Funcionamiento del Sistema de Suspensión .....	5
Figura 5 Concepto de tarado duro y blando .....	6
Figura 6 Influencia del tarado en el recorrido y frecuencia de las oscilaciones.....	7
Figura 7 Estructura de elementos que contienen las ballestas.....	8
Figura 8 Recorrido de los muelles helicoidales.....	9
Figura 9 Estructura del Neumático.....	9
Figura 10 Esquema gráfico de una barra de torsión .....	10
Figura 11 Funcionamiento del Amortiguador .....	11
Figura 12 Bujes de caucho.....	12
Figura 13 Estructura del Brazo de Suspensión.....	13
Figura 14 Rótula.....	14
Figura 15 Esquema gráfico explosionado de una mangueta .....	15
Figura 16 Funcionamiento de la suspensión rígida .....	16
Figura 17 Esquema gráfico del sistema de suspensión rígida .....	16
Figura 18 Representación de la suspensión semirrígida.....	17
Figura 19 Sistema de suspensión independiente .....	18
Figura 20. Suspensión de eje oscilante.....	19
Figura 21 Suspensión de paralelogramo deformable .....	19
Figura 22 Esquema de una suspensión multibrazo.....	20
Figura 23 Suspensión de abrazos arrastrados .....	21
Figura 24 Estructura de una suspensión McPherson .....	22
Figura 25 Esquema gráfico de una suspensión pasiva .....	23
Figura 26 Esquema gráfico de un sistema de suspensión activa .....	24
Figura 27 Esquema gráfico de un sistema de suspensión semiactiva.....	25
Figura 28 Comportamiento de los sistemas de suspensión pasiva y activa.....	25
Figura 29 Flujograma de la metodología.....	27
Figura 30 Vista general de camioneta Chevrolet Luv D-Max.....	28
Figura 31 Vista general de camioneta Mazda BT-50.....	29
Figura 32 Vista general de camioneta Great Wall Wingle.....	30

Figura 33 Modelo de un cuarto de vehículo de 2 GDL .....	32
Figura 34 Diagrama de cuerpo libre de un cuarto de vehículo de 2 G.D.L.....	33
Figura 35 Interfaz del software.....	34
Figura 36 Código de entra de datos y condiciones .....	35
Figura 37 Código de las ecuaciones y perfil de carretera.....	35
Figura 38 Código de la gráfica .....	36
Figura 39 Gráfica del amortiguador en prueba.....	36
Figura 40 Banco de suspensión universal BSU.....	38
Figura 41 Interfaz de control del banco de suspensión universal BSU .....	39
Figura 42 Gráfica de adhesión de la suspensión .....	43
Figura 43 Iniciación del programa.....	44
Figura 44 Ubicación del eje delantero en el banco de suspensión .....	44
Figura 45 Toma de peso de los ejes.....	45
Figura 46 Ubicación del eje posterior en el banco de suspensión .....	45
Figura 47 Interfaz de los resultados.....	46
Figura 48 Ensayo de detector de holguras en una camioneta Toyota Hilux .....	49
Figura 49 Banco de Detector de Holguras DLJ5 N4.....	51
Figura 50 Movimiento longitudinal y transversal de las placas del Banco de Detector de Holguras DLJ5 N4.....	52
Figura 51 Ubicación de las 4 ruedas en el banco de holguras .....	54
Figura 52 Procedimiento de Detector de Holguras .....	54
Figura 53 Equipo de protección personal .....	55
Figura 54 Inspección de los elementos del sistema de dirección en el eje delantero .....	55
Figura 55 Descripción de averías mecánicas en el computador .....	60
Figura 56 Resultados de la eficiencia en el amortiguador de 0-20% .....	62
Figura 57 Resultados de la eficiencia en el amortiguador de 21-40% .....	62
Figura 58 Resultados de la eficiencia en el amortiguador de 21-40% .....	63
Figura 59 Resultados de la eficiencia en el amortiguador de 21-40% .....	64
Figura 60 Eficiencia de las 100 camionetas Chevrolet Luv D-Max .....	65
Figura 61 Eficacia de las 100 camionetas Chevrolet Luv D-Max por su ubicación .....	65
Figura 62 Eficiencia de las 100 camionetas Mazda BT-50.....	66
Figura 63 Eficacia de las 100 camionetas Mazda BT-50 por su ubicación.....	67
Figura 64 Eficiencia de las 100 camionetas Great Wall Wingle .....	68
Figura 65 Eficacia de las 100 camionetas Great Wall Wingle por su ubicación.....	68

Figura 69 Avería de rótulas de mesas por año del vehículo.....	71
Figura 70 Avería de rótulas de mesas por kilometraje del vehículo .....	72
Figura 71 Avería de rótulas de mesas por ubicación.....	73
Figura 72 Avería de bujes de caucho de mesas por año del vehículo .....	75
Figura 73 Averías de bujes de caucho de mesas por kilometraje del vehículo .....	76
Figura 74 Avería de bujes de caucho de mesas por ubicación .....	77
Figura 66 Avería de ojo de ballestas por año del vehículo.....	79
Figura 67 Avería de ojo de ballestas por kilometraje del vehículo .....	80
Figura 68 Avería de ojo de ballestas por ubicación.....	81
Figura 75 Avería de hojas de ballesta por año del vehículo.....	82
Figura 76 Avería de hojas de ballesta por kilometraje del vehículo .....	83
Figura 77 Avería de hojas de ballesta por ubicación.....	84
Figura 78 Avería de manoplas por año del vehículo.....	86
Figura 79 Avería de manoplas por kilometraje del vehículo.....	87
Figura 80 Avería de manoplas por ubicación.....	88

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación</b> [1] Suposición de un cuarto de vehículo.....	31
<b>Ecuación</b> [2] Ec Diferencial de la masa suspendida.....	33
<b>Ecuación</b> [3] Ec Diferencial de la masa no suspendida.....	33
<b>Ecuación</b> [4] Porcentaje de adhesión de suspensión .....	43

## INTRODUCCIÓN

### **Problema de investigación**

Los vehículos, especialmente los de carga liviana, desempeñan un papel crucial en el transporte, ya que se espera que puedan soportar cargas dentro de los límites establecidos por las normativas. Sin embargo, muchos propietarios optan por exceder estos límites, lo que puede dar como resultado fallas en diversos sistemas del vehículo. Uno de los sistemas más importantes es el sistema de suspensión, encargado de mantener las ruedas en contacto con la superficie del suelo y garantizar el equilibrio del vehículo.

La naturaleza del trabajo pesado para la cual se destinan muchas camionetas lleva un desgaste significativo en los componentes de la suspensión. Esto suele ser atribuido a la capacidad de carga utilizada en actividades comerciales, al diseño del vehículo en sí, a un mantenimiento inadecuado e incluso a la marca del vehículo. Los propietarios esperan que una marca reconocida garantice un comportamiento eficaz en el sistema de suspensión, ya que no todas las camionetas experimentarán el mismo nivel de desgaste.

Se ha planteado realizar un análisis exhaustivo sobre las averías mecánicas en el sistema de suspensión del eje posterior en vehículos de carga liviana, con el objetivo de obtener resultados claros sobre los posibles factores que pueden llevar a estas fallas y posteriormente compararlos mediante un modelo para su análisis. A partir de este análisis, se podrán obtener conclusiones precisas sobre las causas de las fallas, lo que permitirá tomar medidas adecuadas para abordar el problema.

### **Justificación**

El proyecto propuesto se enfoca primordialmente en analizar las diferentes fallas en el sistema de suspensión en vehículos de carga liviana, todo esto con el fin de garantizar la seguridad ciudadana, específicamente a los ciudadanos conductores y acompañantes, según el Objetivo 9: “Garantizar la seguridad ciudadana, orden público y gestión de riesgos”, con lo cual se incentiva a la sociedad conductora mantener una cierta preocupación por la vida útil de los elementos que contiene un vehículo. Según el Objetivo 9 mediante políticas de gobierno se propone finalidades como Política 9.2 “Fortalecer la seguridad de los sistemas de transporte terrestre y aéreo,

promoviendo ambientes seguros” y 9.3 “Impulsar la reducción de riesgos de desastres y atención oportuna a emergencias ante amenazas naturales o antrópicas en todos los sectores y niveles territoriales”

La seguridad y el confort son las características más importantes para usuarios al momento de inspeccionar un vehículo, ya que estas son las que van a salvar la vida de los conductores y acompañantes a un posible siniestro de tránsito, por tanto, la base de la investigación se genera en estas características.

Ahora bien, la elección se basa en dos marcas de vehículos de carga liviana (N1) que presentan averías mecánicas en su sistema de suspensión en el eje posterior, los cuales fueron firmados por centros de mantenimiento automotriz en la ciudad de Ibarra, por este con esta incertidumbre se ha decidido explorar de manera más profunda el funcionamiento de dichos vehículos.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar las principales averías mecánicas en el sistema de suspensión del eje posterior en las camionetas Chevrolet Luv D-Max, Mazda BT-50 y GreatWall Wingle en la provincia de Imbabura

### **Objetivos Específicos**

- Revisar fuentes bibliográficas de diferentes bases de datos para obtener información sobre los sistemas de suspensión en vehículos.
- Identificar los fallos mecánicos que sufren los elementos que conforman el sistema de suspensión del eje posterior en las camionetas.
- Realizar las pruebas en el banco de suspensión y detector de holguras en los ejes del sistema de suspensión sin desmontar sus elementos para extraer datos.
- Comparar los resultados obtenidos de las pruebas realizadas entre las camionetas Chevrolet Luv D-Max, Mazda BT-50 y Great Wall Wingle para seleccionar la más adecuada en su durabilidad

**Alcance**

El presente proyecto analizará las principales averías mecánicas en el sistema de suspensión posterior de las camionetas Chevrolet Luv D-Max, Mazda BT-50 y GreatWall que van desde el año 2011 hasta 2019. Para la obtención de información, se realizará una búsqueda profunda en la base de datos que proporciona la Universidad Técnica del Norte, las cuales son accesibles y fuentes confiables disponibles.

La identificación de los fallos mecánicos en el sistema de suspensión del eje posterior se llevará a cabo en vehículos de carga liviana ya mencionados con el objetivo de encontrar elementos en su composición que brinden averías en su funcionamiento.

Para realizar las pruebas del sistema de suspensión, se tomará en cuenta dos en especial, la prueba de eficacia y la prueba de holguras en sus ejes, las cuales van a ser sustentadas por un método explicativo. Se considera que dichas pruebas se van a realizar en un límite mínimo de 14 vehículos, mientras que el límite máximo será de 20 distribuidos por igual.

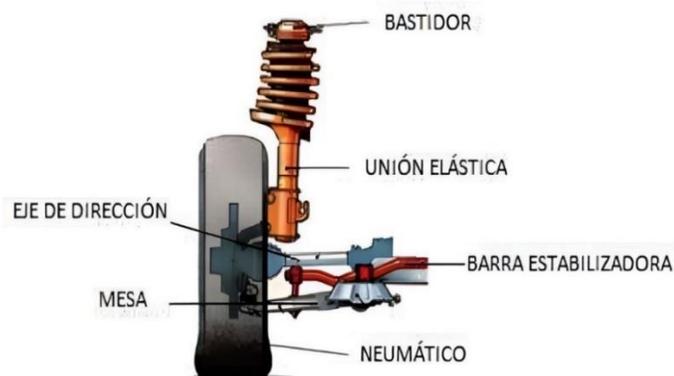
Una vez obtenido los resultados de las pruebas realizadas, se va a enfatizar la información del eje posterior del sistema de suspensión de ambas camionetas para compararlas y posteriormente elegir la más adecuada en su durabilidad.

# CAPÍTULO I

## 1 MARCO TEÓRICO

### 1.1 Fundamentación Teórica del Sistema de Suspensión

El sistema de suspensión en un automóvil se compone de un conjunto de componentes mecánicos diseñados para evitar los movimientos oscilatorios producidos por las imperfecciones del camino, evitando que estos movimientos lleguen a la carrocería del vehículo. Por tanto, esto ayuda a mejorar el confort durante el transcurso del viaje y, al mismo tiempo, protege las piezas del automóvil, como la carga que tiene el automóvil. Para conseguir este efecto, se logra mediante un grupo de uniones elásticas que permiten que el bastidor, que es el elemento pesado, permanezca suspendido sobre ellas. Estas mismas están conectadas con los neumáticos, que son el apoyo ligero. Estas uniones elásticas se deforman de acuerdo con el peso del vehículo y su inercia, ajustándose a las elevaciones y descensos ocasionados por las irregularidades del terreno (Marcial & Rosero, 2012, p. 1) como se muestra en la figura 1.



**Figura 1** Esquema del sistema de suspensión

(Marcial & Rosero, 2012, p. 1)

A medida que el vehículo se carga, los elementos elásticos, se comprimen por el peso añadido. Así, el recorrido de extensión permitido aumenta, ya que los elementos tienen más espacio para expandirse desde su posición inicial comprimida. Sin embargo, el recorrido de compresión

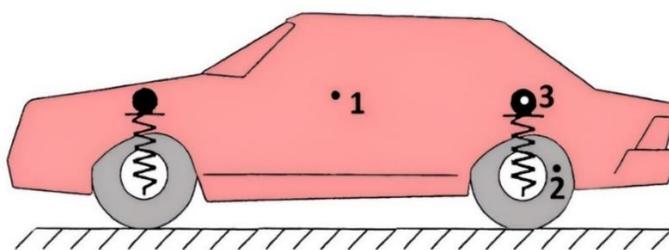
disminuirá, pues parte de su capacidad ya se ha usado para soportar la carga adicional (Pérez Bello, 2008, p. 177)

### 1.1.1 Aspectos Generales

El sistema de suspensión está compuesto por elementos elásticos que están unidos unos encima de otro, esto tiene lugar a una masa suspendida, una masa no suspendida y los elementos elásticos:

- Masa suspendida: Tiene relación en los componentes del vehículo que sostiene la suspensión, lo que es incluido el chasis, la carrocería, los pasajeros y la carga que lleva el automóvil entre otros.
- Masa no suspendida: Hace referencia a todo el componente que no soporta la suspensión y están conectados con el terreno, como los frenos, ruedas, los neumáticos, etc (Alamo, 2016, p. 4).
- Elementos elásticos: Los componentes elásticos que están entre el bastidor y las ruedas absorben irregularidades lineales producidas por su propia deformación, lo que requiere buenas propiedades elásticas (Arteaga & Álvarez, 2016, p. 16).

Los elementos que conforman la masa suspendida, la masa no suspendida y los elementos elásticos se puede observar en la figura 2



1.- Elementos suspendidos / 2.- Elementos no suspendidos / 3.- Elementos elásticos

### Figura 2 Generalidades del sistema de suspensión

(Arteaga & Álvarez, 2016, p. 12)

Por otra parte, el sistema de suspensión tiene varias funciones, aparte de las ya mencionadas, así como las siguientes:

- Proporciona una buena conductibilidad del vehículo debido a que la suspensión mantiene la posición de los neumáticos

- Reduce la cantidad de vibraciones producidas por la carrocería y chasis, ayudando a reducir el desgaste, evitando así la fatiga en los componentes.
- Actúan sobre las fuerzas que produce las ruedas tales como las fuerzas longitudinales y fuerzas laterales.
- Se opone al movimiento de la carrocería, el chasis y el bastidor (Alamo, 2016, p. 13)

## **1.2 Dinámica de la suspensión**

Para entender de una manera más amplia y eficiente el funcionamiento del sistema de suspensión se debe conocer principios básicos sobre centro de balanceo y gravedad, transferencia de carga y oscilaciones (Domínguez & Ferrer, 2012, p. 174)

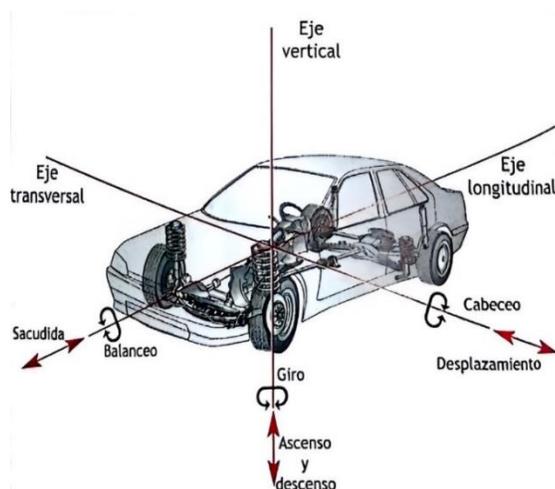
### **1.2.1 Centro de balanceo y centro de gravedad**

El centro de balanceo de un eje es un punto imaginario en el cual actúan fuerzas adyacentes que se transmiten a las ruedas al soportar la acción de la fuerza centrífuga. En otras palabras, es el centro imaginario de rotación de la suspensión de un eje. La altura del centro de balanceo dispone el efecto geométrico de la suspensión y determina el comportamiento dinámico del coche.

El centro de gravedad de un vehículo es el punto virtual en donde se centraliza toda la masa y en el que se aplican tanto una fuerza de gravedad terrestre en donde está sujeto como esfuerzos dinámicos debidos al movimiento que produce el vehículo. La posición de este centro de gravedad va a depender de los distintos ejes geométricos del auto y la carga que va a soportar (Luque et al., 2004, p. 183)

### **1.2.2 Transferencia de carga**

Cuando un vehículo produce un movimiento se genera distintas fuerzas que van a transmitirse en la carrocería. Dichas fuerzas van a provocar una transferencia de carga en los distintos ejes. Todo vehículo posee tres ejes de giro sobre los que pivota, los cuales son eje transversal, transversal y vertical (Domínguez & Ferrer, 2012, p. 174). Así como también los movimientos geométricos como se muestra en la figura 3.

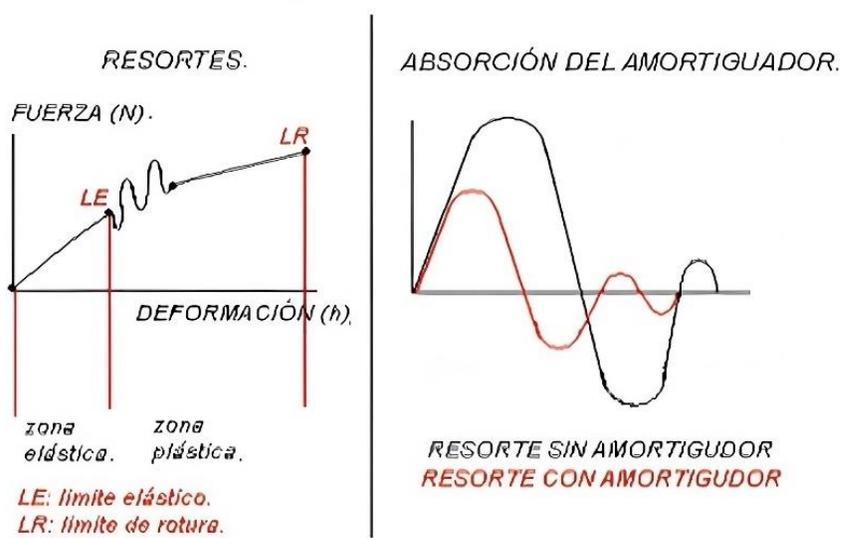


**Figura 3** Movimientos geométricos y ejes de movimiento de un vehículo  
(Domínguez & Ferrer, 2012, p. 174)

### 1.2.3 Funcionamiento de la suspensión

El principio básico del sistema de suspensión se basa en dos elementos importantes, resorte y amortiguador, la intervención del primero se da cuando las ruedas mantienen contacto con las irregularidades del suelo, mientras mayor sea deformaciones de la superficie, mayor será el golpeteo por lo que se necesita un resorte que ayude a absorber dichas irregularidades. El funcionamiento de este se basa en comprimir y almacenar energía, la cual será devuelta por medio de oscilaciones produciendo rebotes en la rueda y un balanceo en la masa suspendida. Es ahí que interviene el amortiguador, el cual ayuda a eliminar los rebotes mencionados (Velásquez & Puyol, 2019, p. 4).

En la figura 4, se detalla el funcionamiento de un resorte con respecto a la fuerza y deformación producida por dicha fuerza, por lo que, a bajas fuerzas, el resorte actúa de manera elástica, pero al superar el límite elástico, entra en una fase de deformación permanente, y si la fuerza aumenta, alcanza el límite de la rotura, donde se rompe definitivamente. Mientras que, con respecto a su absorción, el resorte con amortiguador genera menos amplitud y un menor tiempo en un periodo, a diferencia del resorte sin amortiguación.



**Figura 4** Funcionamiento del Sistema de Suspensión

(Velásquez & Puyol, 2019, p. 5)

### 1.3 Componentes del sistema de suspensión

La suspensión está conformada por diferentes componentes que ayudan a su correcto funcionamiento y garantizan un correcto guiado de la dirección. Estos elementos son importantes en el sistema de suspensión, ya que dependen de la geometría de los ejes, tanto delantero como posterior (Domínguez & Ferrer, 2012, p. 177).

#### 1.3.1 Elementos elásticos

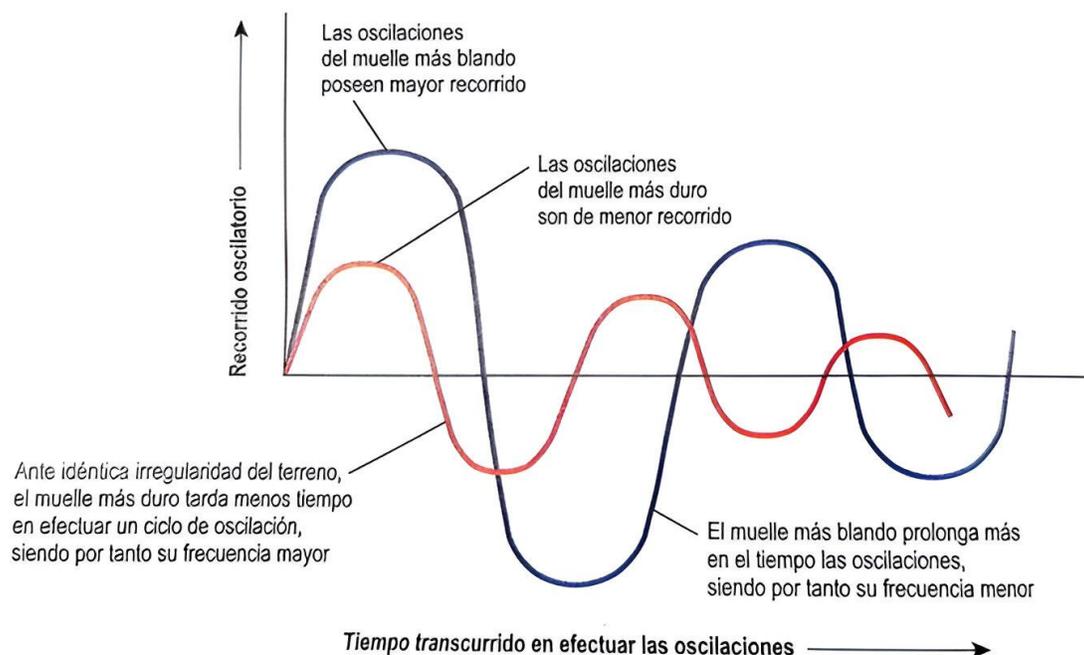
La función de estos elementos es soportar el peso del vehículo, sin embargo, para cumplir con dicha función es importante conocer el tarado de cada elemento elástico. Se conoce a tarado como la resistencia que tiene un elemento elástico a la deformación, está en función del peso, por tanto, la fuerza es necesario para su deformación (Pérez Bello, 2008, p. 181). En la figura 5, se expresa el concepto de tarado duro y blando mediante un ejemplo, en donde el peso influye la cantidad de fuerza que va a ejercer para mantener una misma deformación en el resorte.



**Figura 5** Concepto de tarado duro y blando

(Pérez Bello, 2008, pág. 181)

Una vez entendido el concepto principal de tarado, se debe comprender su influencia con respecto al recorrido y frecuencia de las oscilaciones que produce los elementos elásticos, y para ello, mientras más blando (menor tarado) sea un elemento elástico, mayor será el recorrido entre las ruedas y carrocería, generando un mayor recorrido en las oscilaciones, prolongando mayor su tiempo y una frecuencia menor. Por otro lado, un elemento más duro (mayor tarado), el recorrido de la oscilación será más corto, menor tiempo en cumplir un ciclo y aumentar su frecuencia. (Pérez Bello, 2008, p. 182). En la gráfica 6, se muestra detalladamente la prolongación, su tiempo y la frecuencia.



**Figura 6** Influencia del tarado en el recorrido y frecuencia de las oscilaciones

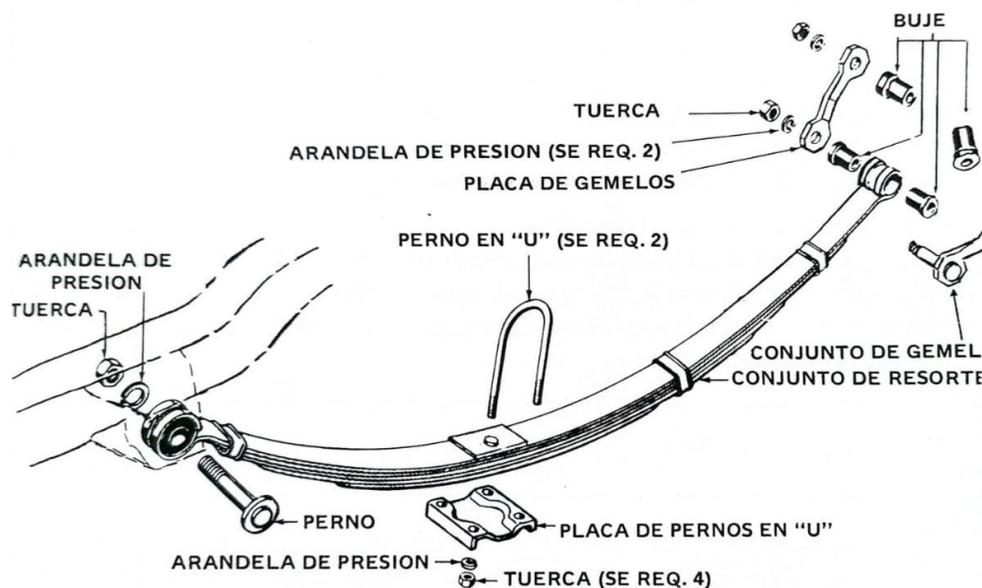
(Pérez Bello, 2008, pág. 182)

Una vez, comprendido el concepto de tarado, se puede deducir el funcionamiento de cada elemento elástico que conforma el sistema de suspensión como ballestas, muelles, neumáticos, barra de torsión y amortiguador.

### 1.3.1.1 Ballestas

La ballesta es un componente esencial en el sistema de suspensión de camiones y automóviles pesados, siendo un tipo de muelle que se compone de una serie de láminas de acero superpuestas, cuya longitud va disminuyendo progresivamente hacia el extremo más corto. Esta tecnología ha sido muy utilizada en vehículos a lo largo de la historia debido a su eficacia y fiabilidad en proporcionar una suspensión robusta y resistente. Para mejorar aún más la flexibilidad y la capacidad de carga de la ballesta, se intercala una lámina de zinc entre las láminas de acero. Esta lámina de zinc, conocida como "lámina de zinc" o "hoja de zinc", tiene la función de reducir la fricción entre las láminas de acero, lo que ayuda a evitar daños por desgaste y garantiza un funcionamiento más duradero (Muñoz, 2012, p. 11). Además, el diseño tradicional de la ballesta consiste uniendo lamas de acero resistente y elástico de diferente espesor, longitud y anchura, esto dependiendo de la necesidad del vehículo (Arias Paz, 2006, p. 810). Para un enfoque más

específico de los elementos de la ballesta, se puede observar en la figura 7 una estructura explosionada completa de los elementos que conforman una ballesta, así como también componentes de sujeción que integran la misma.



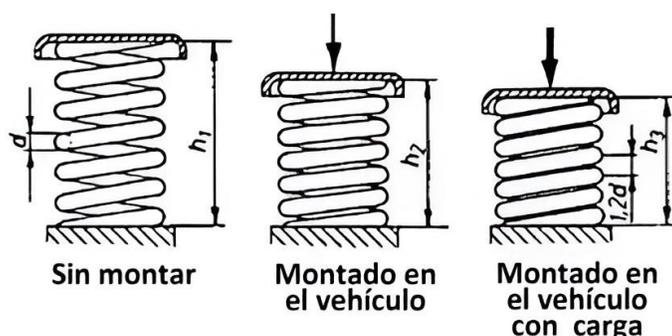
**Figura 7** Estructura de elementos que contienen las ballestas

(Torres R., 1996, p. 73)

A lo largo de los años, los fabricantes de vehículos han perfeccionado el diseño de la ballesta y han buscado alternativas como sistemas de suspensión independientes. Sin embargo, la ballesta aún se emplea ampliamente en vehículos comerciales y camiones debido a su simplicidad, resistencia y rentabilidad (Muñoz, 2012, p. 12).

### 1.3.1.2 Muelles

Los muelles helicoidales son elementos frecuentes en la suspensión del vehículo obteniendo ventajas como poseer un mínimo rozamiento interno y almacenar más el doble de energía por unidad de volumen (Rondón et al., 2012, p. 538). Están compuestos principalmente por una varilla de acero, cuyo diámetro suele oscilar entre diez y quince milímetros, que se enrolla en una configuración helicoidal. Esta estructura en espiral proporciona al muelle una gran flexibilidad y capacidad de absorción de carga. En la figura 8 se muestra la deformación de los muelles cuando es montada y sin montar en un vehículo.



**Figura 8** Recorrido de los muelles helicoidales

(Arteaga & Álvarez, 2016)

### 1.3.1.3 Neumáticos

Los neumáticos, desempeñan un papel fundamental en el rendimiento y comportamiento de los vehículos, estos también conocidos como llantas, gomas o cubiertas, son los únicos elementos que se encuentran en contacto directo con el suelo. Es esencial entender que las condiciones de conducción, así como la seguridad del vehículo, dependen en gran medida de la calidad y estado de los neumáticos, debido a la pequeña superficie de contacto que tienen con el suelo.

El área de contacto entre el neumático y la carretera es crucial para garantizar el adecuado agarre y tracción del vehículo (Sangoquiza & Lemache, 2021, p. 4). Por ello, mantener los neumáticos en buen estado es de vital importancia para asegurar un rendimiento óptimo en la conducción., como se observa en la figura 9 notamos la estructura interna y externa del neumático



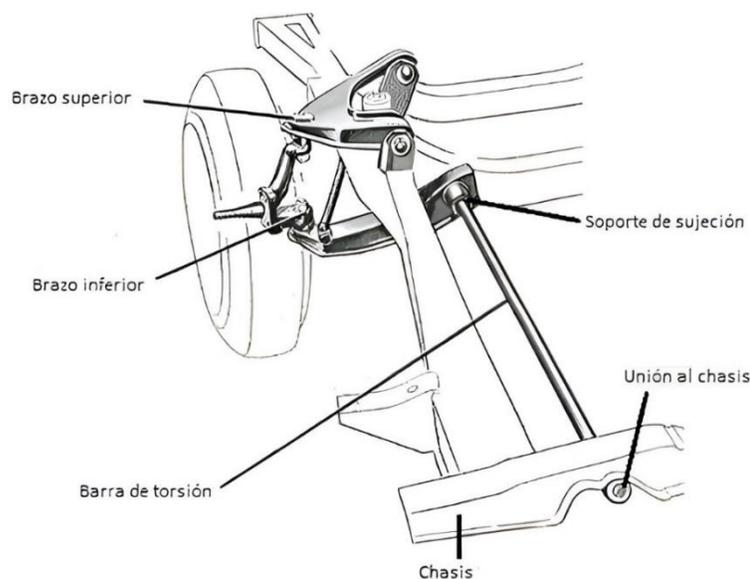
**Figura 9** Estructura del Neumático

(Paucar & Tacuri, 2014)

Además, cabe mencionar que existen diferentes tipos de neumáticos, diseñados para distintas aplicaciones, como neumáticos de verano, invierno o todo terreno. Cada uno de ellos ofrece características específicas adaptadas a las condiciones de conducción para las que han sido diseñadas. Por lo tanto, es fundamental elegir el tipo adecuado de neumático para el vehículo y las condiciones climáticas y de la carretera en las que se vaya a circular (Paucar & Tacuri, 2014, p. 17).

### 1.3.1.4 Barra de torsión

La barra de torsión es un elemento utilizado con frecuencia en ejes traseros. Se trata de una barra de acero elástica que está sometida a un esfuerzo de torsión, dicha barra se encuentra torsionada haciendo presión a la rueda para que permanezca en contacto con la superficie y permite más torsión o libera dependiendo de las irregularidades del suelo (Águeda et al., 2006, p. 316). La característica más destacada de la barra de torsión es su elasticidad, lo que le permite absorber la energía generada y luego regresar a su posición inicial sin ningún problema. Esto es especialmente importante, ya que la suspensión independiente debe adaptarse constantemente a las irregularidades del terreno y las cargas variables, por lo que la barra de torsión juega un papel vital para garantizar una respuesta rápida y efectiva (Marcial & Rosero, 2012, p. 11). En la gráfica 10 se denota los elementos que van conectados a una barra de torsión en un vehículo.



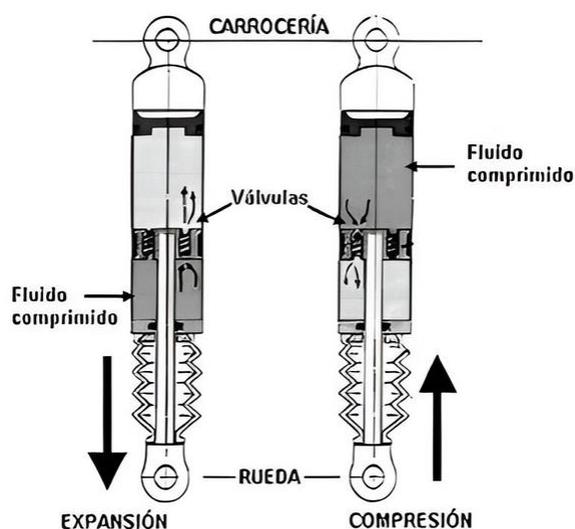
**Figura 10** Esquema gráfico de una barra de torsión

(Marcial & Rosero, 2012, p. 11).

En términos de funcionamiento, cuando el vehículo se encuentra en movimiento, la barra de torsión se somete a tensiones y torsiones según las fuerzas que actúan sobre la suspensión. La flexibilidad del material de acero permite que la barra absorba estas fuerzas y evite que se transfieran de manera brusca al resto del chasis o la carrocería. Esta característica ayuda a proporcionar una conducción más suave y controlada, mejorando la estabilidad y la comodidad para los ocupantes (Vivas, 2019, p. 24).

### 1.3.1.5 Amortiguador

El amortiguador es un dispositivo ingenioso y esencial que cumple la función de absorber energía, generalmente utilizado para reducir las oscilaciones no deseadas en un movimiento periódico o para absorber la energía procedente de golpes o impactos de los caminos irregulares. Su función principal es a mantener que las ruedas del automóvil se mantengan en contacto con el suelo, requiera una conducción más estable y segura. Cuando el vehículo se mueve sobre superficies irregulares o enfrenta baches y obstáculos, las ruedas tienden a rebotar y oscilar, lo que podría afectar negativamente el control y la comodidad del viaje (Chimbolema & Molina, 2015, p. 7). Se puede observar en la figura 11, el funcionamiento del amortiguador en sus dos fases de uso, expansión y compresión.



**Figura 11** Funcionamiento del Amortiguador

(Gavilanez, 2016, p. 32)

El amortiguador resuelve este problema disipando la energía generada por los movimientos de las ruedas. Cuando una rueda golpea un bache, el amortiguador actúa como un amortiguador hidráulico, frenando la oscilación excesiva que seguiría al impacto inicial. Esto garantiza que las ruedas permanezcan en contacto con el suelo, impidiendo pérdidas de tracción y brindando una conducción más suave y estable.

### **1.3.2 Elementos constructivos y de guiado de la suspensión**

Son los elementos responsables de conectar la mangueta con la carrocería, facilitando el movimiento oscilatorio de la rueda. El diseño como la configuración de estos deben asegurar una sujeción eficiente del conjunto, permitiendo resistir los esfuerzos de soporte, tracción y frenado (Pérez Bello, 2008, p. 191).

#### **1.3.2.1 Bujes**

Los bujes son elementos fundamentales en sistemas de suspensión de vehículos, maquinaria y diversas estructuras que requieren una absorción de impactos y vibraciones. Estos seguros están fabricados con caucho vulcanizado u otros materiales elastómeros altamente resistentes y flexibles. Su función principal es amortiguar las reacciones y movimientos generados entre dos elementos que tienen movimiento relativo. Los bujes se colocan entre el chasis del vehículo y los componentes de la suspensión, como brazos de control, barras estabilizadoras o ejes de transmisión. De esta manera, permita que el movimiento se produzca con una mayor suavidad y control, reduzca la transmisión de impactos y vibraciones al resto de la estructura del vehículo. En la figura 12, se muestra los bujes de caucho que se colocan en vehículos livianos y carga.



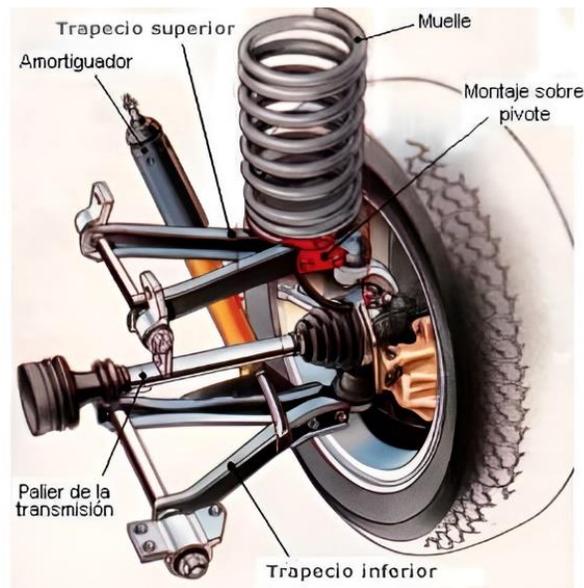
**Figura 12** Bujes de caucho

(Gorosabel, 2024)

Gracias a su composición elástica, los casquillos pueden deformarse temporalmente para absorber la energía por golpes, baches, irregularidades del terreno o maniobras bruscas. Esto evita que las vibraciones lleguen a los ocupantes del vehículo y mejoren la comodidad y seguridad durante la conducción (Correa & Flores, 2021, p. 38).

### 1.3.2.2 Brazo de suspensión

Los brazos de suspensión son componentes esenciales en los sistemas de suspensión de vehículos y maquinaria, diseñados para mantener la estabilidad y control del movimiento. Estos elementos actúan como uniones entre distintos componentes de la suspensión y el chasis, permitiendo el soporte de esfuerzos en la dirección del propio brazo, ya sea en forma de tracción o compresión. Su función principal es absorber y distribuir las fuerzas generadas por irregularidades del terreno, baches, frenada o aceleraciones. En la figura 13, se observa la composición de un cuarto de vehículo, resaltando los brazos de suspensión, superior e inferior.



**Figura 13** Estructura del Brazo de Suspensión

(Muñoz, 2012)

Es importante destacar que los brazos de suspensión generalmente no están diseñados para soportar esfuerzos laterales, es decir, fuerzas que actúan paralelamente a los ejes de sus articulaciones. Su estructura y resistencia están principalmente enfocadas en las cargas que

actúan en la dirección del brazo, lo que permite que se mantengan firmes y estables durante el movimiento vertical de la suspensión (Correa & Flores, 2021).

### 1.3.2.3 Rótulas

Las rótulas son componentes esenciales en la unión y sujeción de la suspensión y dirección del vehículo, permitiendo su pivoteo y movimiento mientras mantienen la correcta geometría de las ruedas. Estas rótulas se fijan mediante tornillos, ya sean roscados exteriores o interiores (Monteros, 2018, p. 28). En la figura 14, se detalla la rótula de un vehículo desmontada

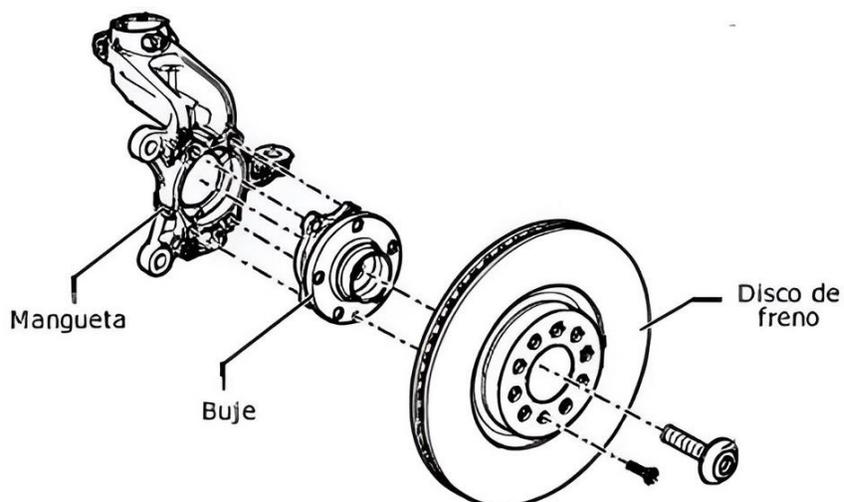


**Figura 14** Rótula

(Monteros, 2018)

### 1.3.2.4 Manguetas

La mangueta de la suspensión es un componente fundamental construido de acero o aleaciones, la cual se conecta en el buje de la rueda y la rueda misma con los elementos de la suspensión, como tirantes, trapecios y amortiguadores, entre otros. La mangueta se debe diseñar considerando las especificaciones geométricas y longitudes del vehículo. Dentro del buje, se instalan rodamientos o cojinetes que aseguran un adecuado giro de la rueda (Monteros, 2018, p. 29). En la figura 15, se muestra un esquema explosionado de un sistema donde incluye la mangueta, buje y disco de freno



**Figura 15** Esquema gráfico explosionado de una mangueta

(Losada, 2018)

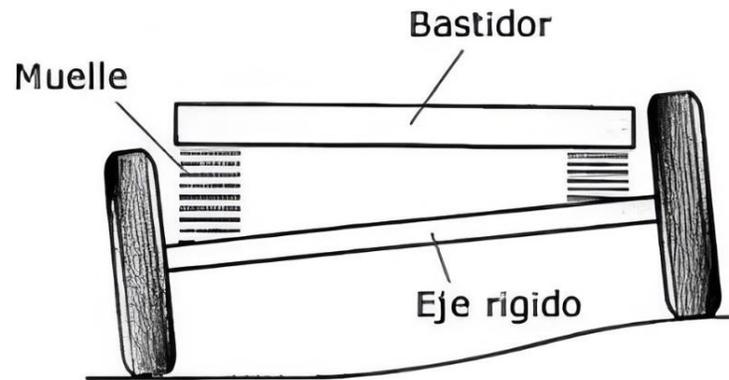
#### **1.4 Tipos de sistema de suspensión**

La disposición de los elementos de suspensión determina las características de esta, además de permitir encuadrarla en alguno de sus diferentes tipos y definir variantes. A continuación, se presenta los siguientes tipos de suspensión (Pérez Bello, 2008, p. 197).

##### **1.4.1 Suspensión de eje rígido**

El principal funcionamiento de una suspensión de eje rígido o también llamada suspensión dependiente es debido a que las ruedas del mismo eje están unidas por un elemento inflexible, el cual comúnmente es una barra. A causa de la firmeza de dicho elemento, cualquier movimiento que posee la rueda, se va a transmitir en la otra de la misma manera por medio del eje.

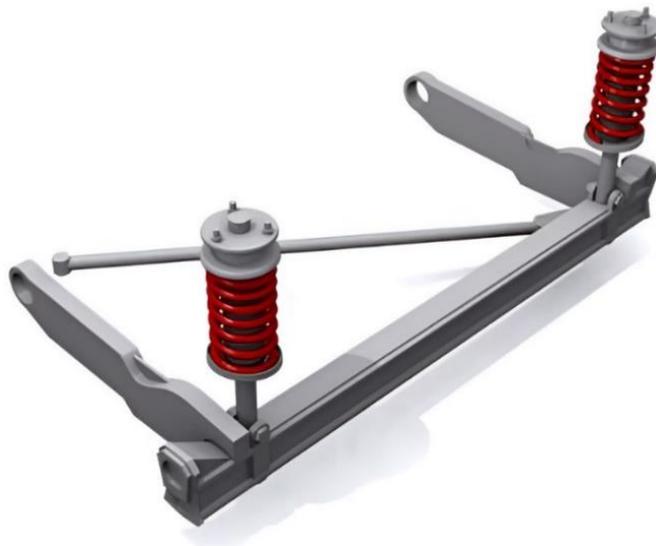
En la figura 16, se puede denotar como la irregularidad de la superficie presente en la rueda, afecta directamente a la otra rueda del mismo eje. Este efecto es debido a que el eje rígido va fijado al bastidor, por tanto, la irregularidad se presenta en todo el vehículo. (Coronel, 2010, p. 18).



**Figura 16** Funcionamiento de la suspensión rígida

(Coronel, 2010)

La suspensión que posee un eje rígido para conectar las ruedas y formar un conjunto presenta ciertas desventajas. Una de ellas es la transmisión de vibraciones entre las ruedas debido a la falta de independencia en la suspensión. A pesar de estos inconvenientes, los ejes rígidos son apreciados por su diseño simple y porque no afectan significativamente los parámetros de la rueda, como la caída o el avance. Usualmente, se usa en camionetas, camiones, buses entre otros. En la figura 17 se puede denotar un esquema gráfico de un sistema de suspensión rígido de eje posterior con tracción delantera (Coronel, 2010, p. 19).



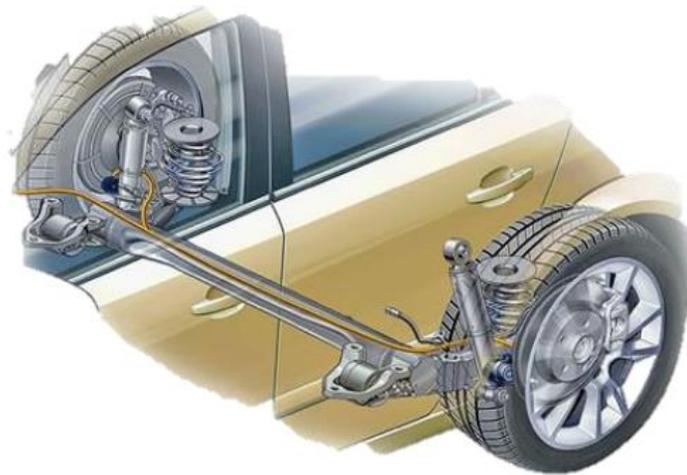
**Figura 17** Esquema gráfico del sistema de suspensión rígida

(Coronel, 2010)

### 1.4.2 Suspensión semirrígida

La suspensión semirrígida se asemeja mucho a la suspensión rígida a primera vista, lo que puede llegar a confusiones, ya que incorpora una barra torsional entre los ejes que absorbe los movimientos fuertes que provocan los caminos irregulares accediendo así a un movimiento semindependiente. Esta configuración se usa principalmente en el eje posterior debido a su simplicidad de construcción, lo cual se recomienda el uso de resortes helicoidales para proporcionar una mayor elasticidad. Además, contiene una barrera torsional dentro de la columna de dicha suspensión, lo que mejora así su recuperación y elasticidad de la suspensión, su uso es de gama media-baja (Jacome & Villota, 2014, p. 11).

En este tipo de suspensión, las ruedas se unen mediante soporte articulados formando parte de la masa suspendida. Esto significa que el conjunto se fija al bastidor mediante dos semiejes, transmitido por un motor a las ruedas de manera similar a las suspensiones independientes (Duran, 2019, p. 82). En la figura 18 se muestra la representación de la suspensión semirrígida de un vehículo liviano.



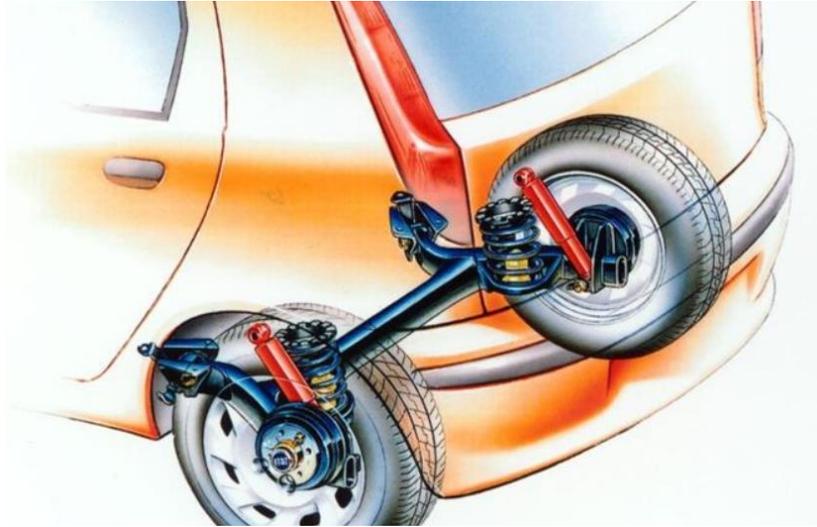
**Figura 18** Representación de la suspensión semirrígida

(Chimbolema & Molina, 2015)

### 1.4.3 Suspensión independiente

La suspensión independiente es la opción más comúnmente utilizada en la industria automotriz. En este tipo de suspensión, las ruedas del automóvil están conectadas de manera individual tanto en los ejes delanteros como en los traseros. Esta configuración brinda una mayor estabilidad y

confort al conducir y es comúnmente empleada en vehículos de alta gama. Una de las principales ventajas de esta suspensión es que cada rueda puede moverse de manera independiente sin afectar al resto. La suspensión independiente se subdivide en varios tipos, entre ellos, McPherson, Brazos Tirados, Multibrazo y paralelo deformable (Mantilla, 2014). En la gráfica 19, se muestra el sistema de suspensión independiente de un vehículo liviano.

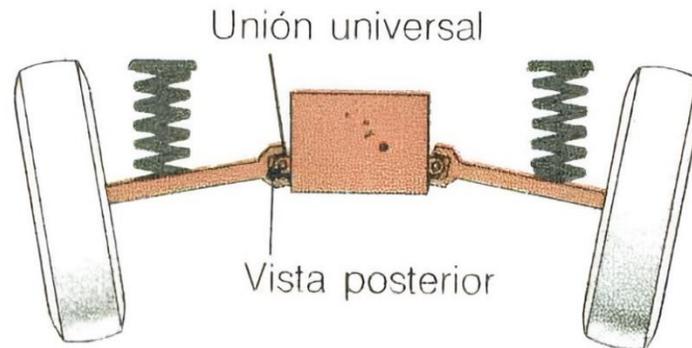


**Figura 19** Sistema de suspensión independiente

(Mantilla, 2014)

#### **1.4.4 Suspensión de eje oscilante**

Como se puede observar en la figura 20, este sistema es un conjunto de uniones universales los cuales se une tanto la rueda, semieje y mesa, esto conlleva a que todo este componente tengan un movimiento en sentido vertical. Este tipo de suspensión no es apropiado para ser empleado como eje directo, dado que se produce una alteración significativa en la inclinación o caída de las ruedas al tomar curvas durante el movimiento oscilatorio de los semiejes. Sin embargo, por su eficacia y sencillez, suele utilizarse en los ejes posteriores. Este sistema se completa con amortiguadores en cada lado y un conjunto de muelles (Gavilanez, 2016, p. 19).



**Figura 20.** Suspensión de eje oscilante

Fuente: (Gavilanez, 2016)

#### 1.4.5 Suspensión de paralelogramo deformable

Conocidas como suspensiones de tipo "mesa" o "trapecios", estas suspensiones están ampliamente empleadas en ambos ejes del vehículo. Se distinguen por tener dos mesas o taburetes que se unen al suelo por un punto superior y otro inferior, normalmente mediante rótulas. En dos puntos cada uno, estas mesas están conectadas al chasis o carrocería. El paralelogramo que resulta de las dos mesas se desplaza simultáneamente en cada extremo del eje cuando el vehículo está en movimiento, garantizando que la rueda se mantenga perfectamente vertical respecto al suelo. Se puede observar en la figura 21 la suspensión de paralelogramo deformable (Losada, 2018, p. 33).



**Figura 21** Suspensión de paralelogramo deformable

(Chimbolema & Molina, 2015)







**Figura 24** Estructura de una suspensión McPherson

(Correa & Flores, 2021)

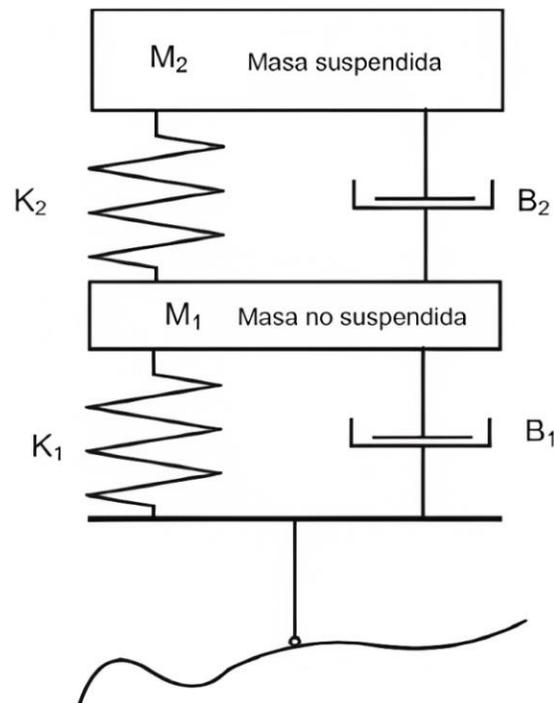
#### 1.4.9 Suspensión Pasiva

Los sistemas de suspensión pasiva se caracterizan primordialmente por no recibir ningún tipo de energía externa. Su funcionamiento se basa en mantener energía por medio de resortes y disiparla mediante amortiguadores. Las variables que se toman en cuenta son fijas y corresponden a una relación con el terreno, la carga soportada y el confort (Ezeta et al., 2013, p. 123)

Este sistema, hoy en día, es uno de los más comunes en vehículos livianos y pequeños, esto debido a su mantenimiento, ya que es muy accesible.

Sin embargo, cuando se cambia la rigidez o el coeficiente de amortiguamiento presenta fallas en su confort. Además de ello, no presenta una estabilidad necesaria para su conducción

Para una mejor explicación, en la figura 25 se muestra la composición de esta, en donde  $B_1$  es el coeficiente de amortiguamiento de la llanta,  $B_2$  es el coeficiente de amortiguamiento de la suspensión,  $K_1$  viene a ser la rigidez del neumático,  $K_2$  es la rigidez de la suspensión,  $M_1$  es la masa no suspensión, es decir, el neumático como tal y finalmente  $M_2$  pertenece a la masa no suspendida, en otras palabras, el chasis del vehículo (Alamo, 2016)



**Figura 25** Esquema gráfico de una suspensión pasiva  
(Alamo, 2016)

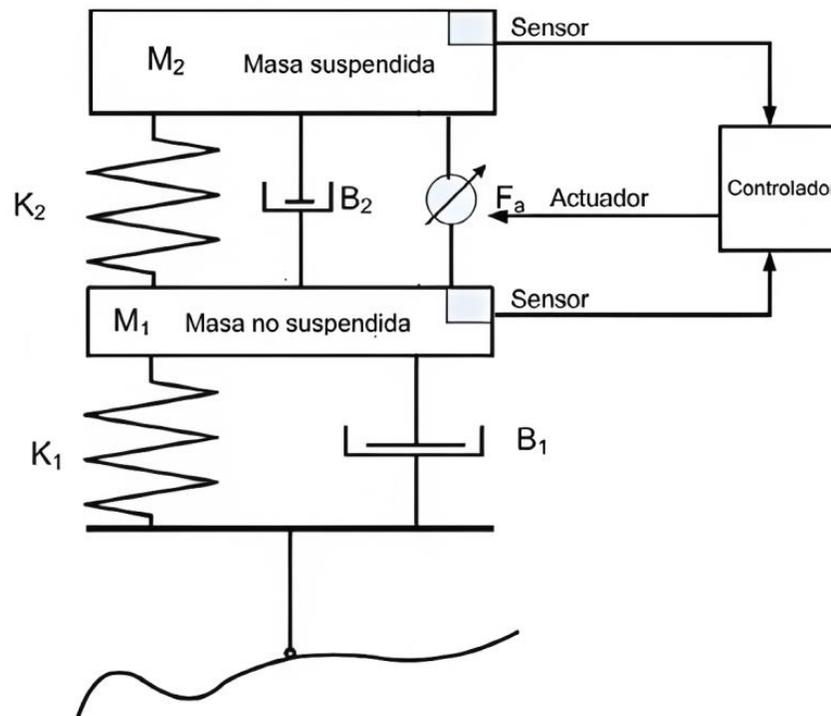
#### 1.4.10 Suspensión Activa

El sistema de suspensión activa se caracteriza por el hecho de que una parte o todas las fuerzas de suspensión son producidas por actuadores (Gil Martínez, 2003, p. 64). Este sistema tiene la capacidad de almacenar, disipar e introducir energía. Su funcionamiento se basa en la regulación a través de sensores y actuadores (Alamo, 2016).

Este tipo de suspensión va dirigido para vehículos que poseen una alta gamma, el cual su propósito general es brindar estabilidad y confort eficaz en el manejo (Luna & Vallejo, 2017).

Para el funcionamiento de este sistema se cuenta con un sistema neumático e hidráulico, el cual posee una computadora que se va a encargar de obtener datos por medio de los sensores equipados en el chasis y ruedas. Una vez recogida la información, el computador enviará pulsos de señales a los actuadores colocados en la suspensión para estabilizar al vehículo (Luna & Vallejo, 2017, p. 3).

Para una mejor explicación, en la figura 26 se muestra los componentes que actúan en el sistema, tomando en cuenta la misma nomenclatura que la anterior.



**Figura 26** Esquema gráfico de un sistema de suspensión activa

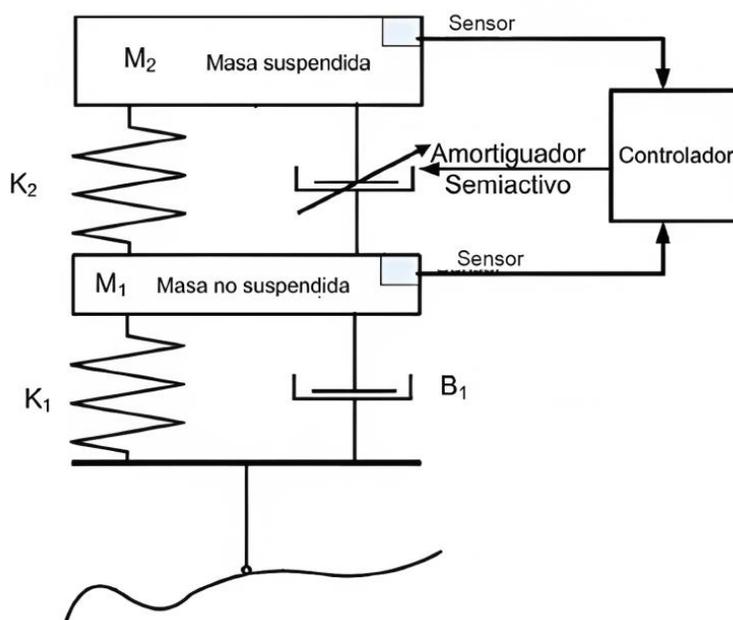
(Luna & Vallejo, 2017)

#### 1.4.11 Suspensión semiactiva

El sistema de suspensión semiactiva se encuentra en una posición intermedia a los sistemas visto anteriormente, ya que lo que se desea es mejorar aspectos del sistema de suspensión pasiva con propiedades del sistema activo (Arteaga & Álvarez, 2016)

Dichas suspensiones tienen elementos activos para controlar mínimas frecuencias y para máximas frecuencias elementos pasivos, dando como resultado un eficiente comportamiento en irregularidades y económicamente accesible. El elemento activo que se utiliza en este sistema es el amortiguador, el cual se va a controlar cambiando su constante de amortiguamiento (Ezeta et al., 2013, p. 124)

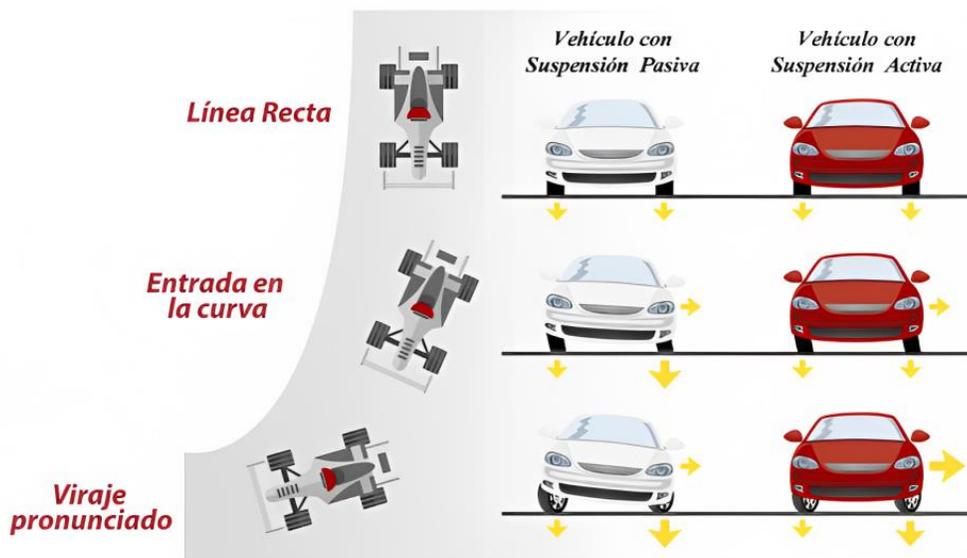
Para una mejor interpretación, en la figura 27 se muestra los debidos componentes que utiliza el sistema de suspensión semiactiva.



**Figura 27** Esquema gráfico de un sistema de suspensión semiactiva

(Ezeta et al., 2013)

Tras una breve explicación de los diferentes tipos de suspensiones tomando en cuenta las irregularidades del suelo, en la figura 28, se denota como se coloca ciertos parámetros como línea recta, entrada a la curva y viraje pronunciado y se observa el comportamiento de (Arteaga & Álvarez, 2016) pasiva y activa (Arteaga & Álvarez, 2016)



**Figura 28** Comportamiento de los sistemas de suspensión pasiva y activa

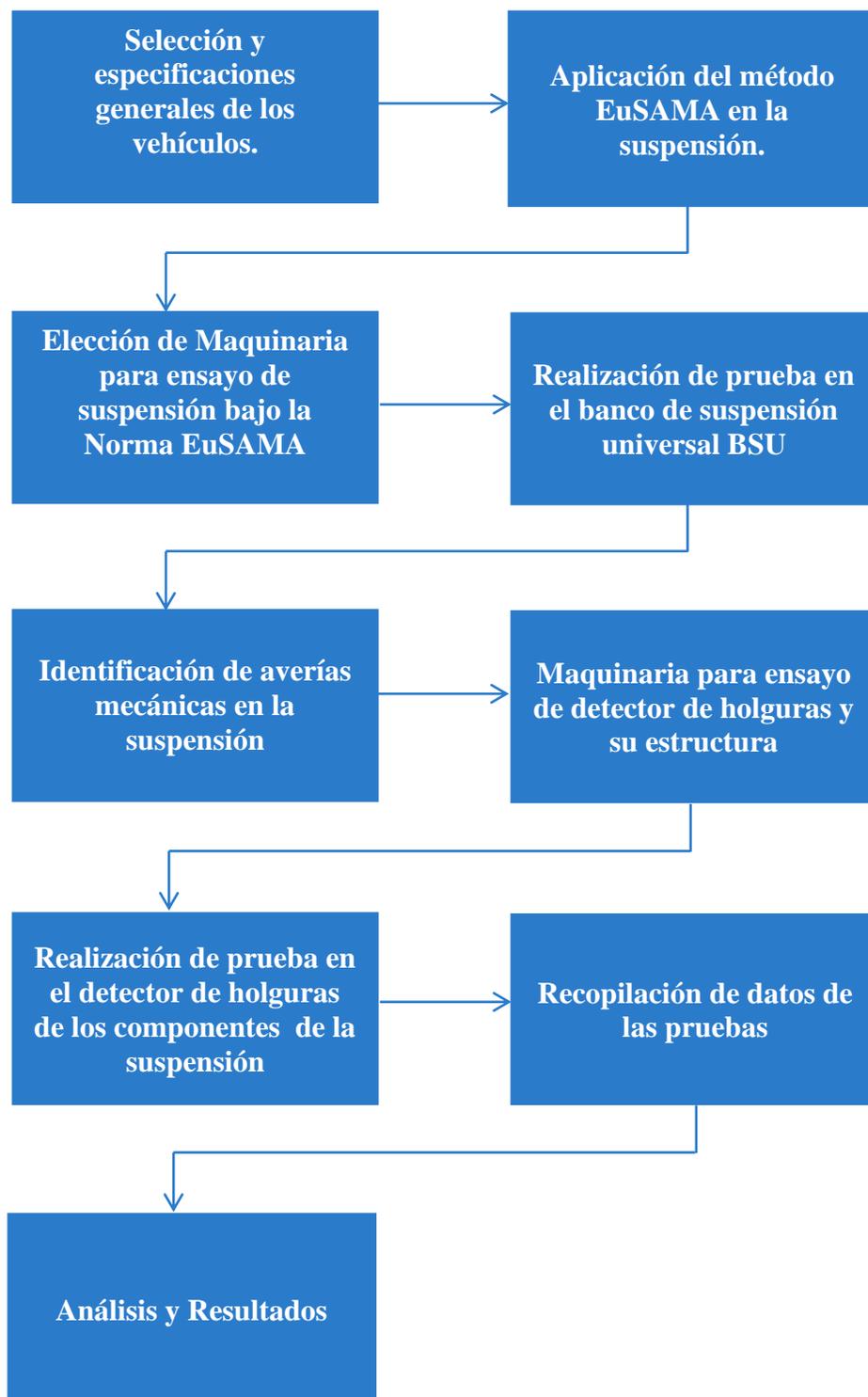
(Arteaga & Álvarez, 2016)

## CAPITULO II

### 2 MÉTODOS Y MATERIALES

#### 2.1 Método

Mediante el uso del banco de suspensión y detector de holguras, se procederá a realizar un análisis de las fallas que tiene el sistema de suspensión, como primer paso será la selección de los vehículos, para ello se ha tomado en cuenta 3 grandes marcas como Chevrolet Luv D-Max, Mazda BT-50 y Great Wall Wingle, los cuales serán sometidos a la realización de dichos ensayos para determinar la obtención de datos. Seguidamente se estudiará el método numérico EuSAMA para la obtención de eficacia que debe de tener la suspensión y también se investigará las averías mecánicas comunes en camionetas para la prueba de detección de holguras. Para la cual la investigación será de diferente base de datos para lograr comprender su funcionamiento. Posteriormente se procederá a investigar la estructura y funcionamiento del banco de suspensión como es el detector de holguras. Asimismo, se estudiará bajo que normativa se encuentra funcionando las máquinas y su debida calibración para que los datos sean lo más exactos posibles, seguidamente se realizará las pruebas en el banco de suspensión y detector de holguras con las respectivas camionetas para obtener lo datos correspondiente con número y graficas. Con dicho resultado se llevará a un análisis de las tres camionetas para elegir cuál es la que menos defectos tiene y más duradera es su suspensión dependiendo del año de la camioneta, el kilometraje recorrido y la ubicación del defecto que tiene dichas camionetas. Ya que estas camionetas se las elegio con la finalidad de compararlas debido a que son las que más utilizadas en el comercio por su capacidad de trabajo y carga. A continuación, en la figura 29 se detalla el procedimiento a seguir de la metodología con un flujograma con la finalidad de seguir cada paso para realizar el proyecto.



**Figura 29** Flujograma de la metodología

(Autoría propia)

## 2.2 Selección y especificaciones generales de los vehículos

Como se muestra en la figura 29, primero se seleccionará las camionetas para realizar las pruebas las cuales son Mazda BT-50, Chevrolet Luv D-Max y Great Wall Wingle entre los años 2011 a 2019 debido a que estas son las más utilizadas por comerciantes, causando así daños en la parte de la suspensión, seguidamente se dar a la recopilación de las especificaciones generales de las camionetas para tener así información para las pruebas a realizar

### 2.2.1 Chevrolet Luv D-Max

La Chevrolet Luv D-Max es una camioneta pickup, la cual es muy conocida en mercados internacionales, pero su mayor comercialización es Sudamérica debido a su durabilidad y versatilidad. Está diseñado para usuarios que están en el sector de comercialización, ya que ofrece capacidades de alta carga, tracción en las cuatro ruedas y una amplia variedad de configuraciones de cabina y motor. Se puede observar en la figura 30 la camioneta en vista general (Lugo & Cárdenas, 2008).



**Figura 30** Vista general de camioneta Chevrolet Luv D-Max

(Autoría Propia)

Esta camioneta está equipada con motores potentes y eficientes, tanto para combustibles diésel o gasolina, también suele contar con sistemas de seguridad avanzado y muchas características

que ayuda al confort para la comodidad de la conducción. En la tabla daremos las especificaciones generales de la camioneta.

La estructura del sistema de suspensión de la Luv D-Max, en su parte delantera utiliza la suspensión de paralelogramo deformable, esta posee muelles y barra de torsión. En cambio, en su parte trasera cuenta con una suspensión de eje rígido, la cual cuenta con muelle de suspensión de ballestas, pero sin barras estabilizadoras, estas solo están presentes en la parte delantera (Lugo & Cárdenas, 2008)

### 2.2.2 Mazda BT-50

Mazda, ha sido una de las marcas más conocidas a nivel mundial en vehículos debido a la creación de clásicos que la han hecho grande como Mazda Luce, Mazda 787B, Mazda MX-5, Mazda BT-50. Esta última convirtiéndose en un total éxito de ventas en todo el mundo debido a su estilo Pick-Up. En la figura 31, se puede observar una vista general de una camioneta doble cabina Mazda BT-50.



**Figura 31** Vista general de camioneta Mazda BT-50

(Autoría Propia)

Si de camionetas se habla, la Mazda BT-50 está entre las elecciones de usuarios que necesitan fuerza y carga en un vehículo, debido que su perfil se postula características como potencia, diseño, equipamiento y seguridad. Es un vehículo ideal cuando se requiere de un todo terreno

debido a que su motor posee grandes prestaciones de potencia y torque. El complemento de su potencia se basa con un chasis rígido, el cual permite una capacidad de remolque de 3.5 toneladas, mientras que su capacidad de carga es de hasta 130kg.

Además de ello, cuenta con una comodidad en su interior óptima en cualquier zona de carretera y esto es debido a su sistema de suspensión. En la parte delantera tiene un tipo de suspensión independiente doble brazo con una barra de torsión, una barra estabilizadora y con amortiguadores a gas. Mientras que, en la parte posterior, cuenta con un eje rígido con ballesta de 5 hojas que ayuda al momento de carga en el vehículo (Mazda Ecuador, 2020).

### 2.2.3 GreatWall Wingle

GreatWall ha sido la primera marca automovilística china en llevar sus camionetas al extranjero y lograr una gran acogida por varios países de Centro y Sudamérica, uno de ellos Ecuador. En este, el lanzamiento de GreatWall Wingle fue satisfactorio por los usuarios debido a su relación precio-calidad, característica importante para la selección de un vehículo. Este pick up está diseñado para un buen desempeño en zonas irregulares de suelos. En la gráfica 32, se puede observar una vista general de la camioneta Great Wall Wingle (Ambacar, 2020)



**Figura 32** Vista general de camioneta Great Wall Wingle

(Autoría propia)

Esta camioneta se caracteriza por su diseño práctico y capacidad de carga de 1050kg, la cual le convierte en ideal para el transporte de carga pesada y mercancías en terrenos complejos. Cuenta

con una suspensión delantera tipo doble horquilla con resorte helicoidal, que ayuda a la estabilidad en zonas irregulares, mientras que la trasera es de ballestas, ideal para carga en camionetas.

Debido a su equilibrio entre precio y funcionalidad, esta camioneta ha sido bien recibida en el mercado automotriz, obteniendo un importante renombre en la actualidad (Great Wall Motors (GWM), 2023)

### 2.3 Aplicación del método EuSAMA en la suspensión

Para la realización de la prueba en el banco de suspensión que utiliza el diagrama de un cuarto de vehículo, que es de dos grados de libertad, este no varía los datos finales con respecto a un vehículo completo tan significativamente. La utilización del cuarto de un vehículo para el análisis es uno de los más sencillos, ya que la prueba solo consiste en hacer vibrar placas así el neumático mediante motores y es la más utilizada por los bancos de suspensión debido a que se necesite una rápida verificación del estado de la suspensión teniendo así, un porcentaje de eficacia de la suspensión.

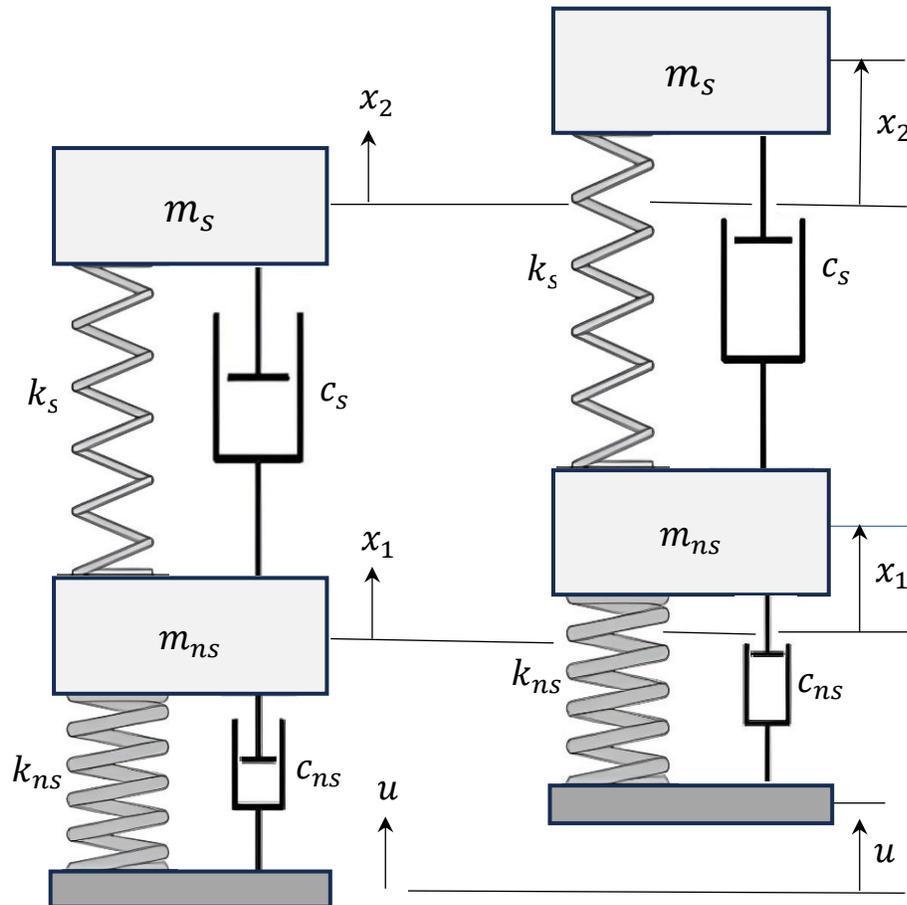
#### 2.3.1 Modelo de un cuarto de vehículo de 2 grados de libertad

Si se considera la masa no suspendida y la rigidez del neumático, se tiene como resultado un modelo de un cuarto de vehículo con dos grados de libertad, que no permite el análisis de los movimientos de la masa suspendida en función de la masa no suspendida, la rigidez de neumático, la rigidez del resorte de la suspensión y las características del elemento amortiguador. En la figura 33 se muestra el diagrama de equilibrio y movimiento de un cuarto de vehículo de dos grados de libertad. Este diagrama se basa a la suposición del movimiento que tiene el sistema de suspensión (Cebolla, 2017, p. 51).

$$x_2 > x_1 > u \quad [1]$$

En la figura 33 lo que describe este modelo de 2 GDL básicamente consiste en una masa suspendida “ $m_s$ ”, la cual se sostiene de un sistema de suspensión principal, que esta se conecta con una masa no suspendida que corresponde al eje de la rueda del vehículo “ $m_{ns}$ ”. La suspensión se compone de una rigidez y una amortiguación estas son sus características más

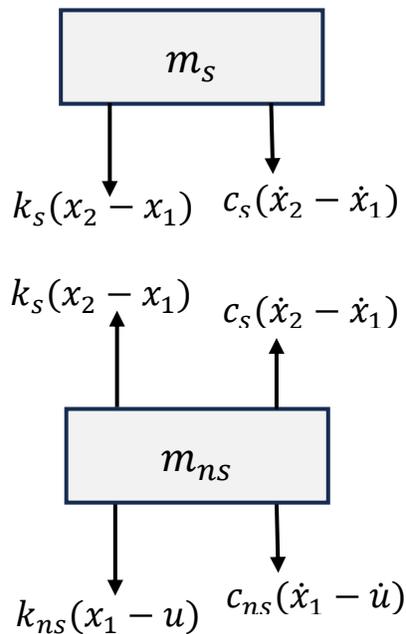
importantes. El neumático se simula como un simple resorte con rigidez, en casos se le incluye un amortiguador pequeño para representar la amortiguación intrínseca debido a que es la naturaleza viscoelástica del caucho del neumático, pero mayormente se desprecia esta amortiguación ya que es un 5 % respecto a la rigidez del neumático, lo cual es un poco insignificante la intervención debido a que es muy bajo (Cebolla, 2017, p. 52).



**Figura 33** Modelo de un cuarto de vehículo de 2 GDL

(Cebolla, 2017)

Seguidamente se realizará el diagrama de cuerpo libre del modelo de un cuarto de vehículo para obtener el sistema de ecuaciones diferenciales. Para este caso se comenzará sacando el diagrama de cada masa para analizar el desplazamiento y cada uno de sus componentes, así como también las constantes que intervienen (Cebolla, 2017, p. 52).



**Figura 34** Diagrama de cuerpo libre de un cuarto de vehículo de 2 G.D.L

(Cebolla, 2017)

Una vez teniendo obtenido el diagrama de cuerpo libre, aplicamos la segunda ley de Newton en las dos masas la cual sería la  $\Sigma F_y = m \cdot a$ , también con la Ley de Hooke en los resortes que es  $F = -kx$  y tomemos en cuenta  $c_{ns}(\dot{x}_1 - \dot{u})$  se vuelve 0, ya que es un coeficiente de amortiguación muy bajo del neumático, lo que se desprecia por su baja intervención que teniendo en sí las siguientes ecuaciones que son (Navarro Arcas et al., 2012, p. 2)

$$M_s \ddot{x}_2 = -k_s(x_2 - x_1) - c_s(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) \quad [2]$$

$$M_{ns} \ddot{x}_1 = k_s(x_1 - x_2) + c_s(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_{ns}(x_1 - u) \quad [3]$$

Donde:

$M_s$  = Masa suspendida

$M_{ns}$  = Masa no suspendida

$\ddot{x}_1$  = Aceleración vertical de masa no suspendida

$\ddot{x}_2$  = Aceleración vertical de masa suspendida

$\dot{x}_1$  = Velocidad vertical de la masa no suspendida

$\dot{x}_2$  = Velocidad vertical de la masa suspendida

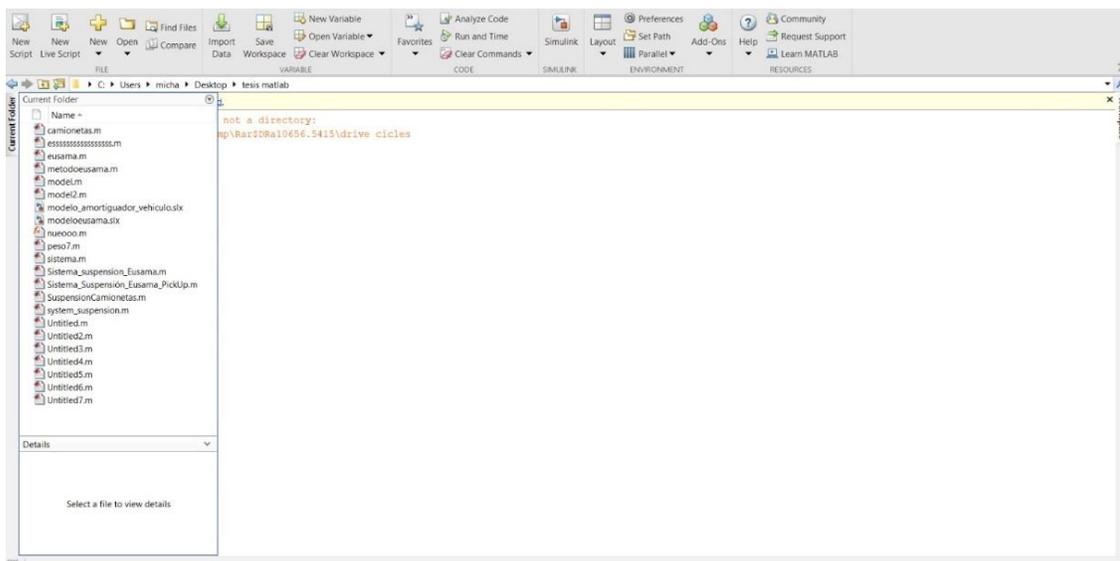
$k_s$ = Rigidez del muelle de suspensión

$k_{ns}$ = Rigidez del neumático

$c_s$ = Coeficiente de amortiguación

$u$ = Perfil de la carretera

Para la resolución del sistema de ecuaciones diferenciales, se utilizó el software estudiantil de programación MatLab, para obtener la gráfica que tendría el amortiguador del vehículo, teniendo cuenta la norma EuSAMA. En la figura 35, se observa la interfaz de software para dar inicio con la programación del sistema de ecuaciones.



**Figura 35** Interfaz del software

(Autoría Propia)

Como se observa en la figura 36, se puede apreciar el código de la entrada de parámetro del sistema de suspensión, condiciones iniciales que se va a encontrar el amortiguador, la duración que va a tener la simulación y el código de la matriz que resuelve el sistema de ecuaciones diferenciales.

```

Editor - C:\Users\micha\Desktop\tesis matlab\SuspensionCamionetas.m
SuspensionCamionetas.m x +
1 % Parámetros del sistema de suspensión para camioneta
2 ms = 1000; % Masa suspendida (kg)
3 mu = 100; % Masa no suspendida (kg)
4 ks = 40000; % Rigidez del muelle de suspensión (N/m)
5 kt = 400000; % Rigidez del neumático (N/m)
6 cs = 3000; % Coeficiente de amortiguación (Ns/m)
7
8 % Tiempo de simulación
9 t = linspace(0, 4, 1000);
10
11 % Condiciones iniciales [zs, zu, dzs_dt, dzu_dt]
12 initial_state = [0; 0; 0; 0];
13
14 % Resolver el sistema de ecuaciones diferenciales
15 [t, solution] = ode45(@(t,y) suspension_system(t, y, ms, mu, ks, kt, cs), t, initial_state);
16
17 % Extraer los resultados
18 zs = solution(:, 1);
19 zu = solution(:, 2);
20

```

**Figura 36** Código de entra de datos y condiciones

(Autoría Propia)

En la figura 37, se encuentra la función del sistema de suspensión con las ecuaciones de masa suspendida y masa no suspendida, para la resolución de esta, cabe recalcar, también se utilizó un código de función de carretera para que pueda simular la frecuencia que ejerce los motores del banco de suspensión que son de 25-0 Hz.

```

Editor - C:\Users\micha\Desktop\tesis matlab\SuspensionCamionetas.m
SuspensionCamionetas.m x +
39 % Función del sistema de suspensión
40 function dydt = suspension_system(t, y, ms, mu, ks, kt, cs)
41 zs = y(1);
42 zu = y(2);
43 dzs_dt = y(3);
44 dzu_dt = y(4);
45
46 zr = road_profile(t);
47
48 d2zs_dt2 = (-ks*(zs-zu) - cs*(dzs_dt-dzu_dt)) / ms;
49 d2zu_dt2 = (ks*(zs-zu) + cs*(dzs_dt-dzu_dt) - kt*(zu-zr)) / mu;
50
51 dydt = [dzs_dt; dzu_dt; d2zs_dt2; d2zu_dt2];
52 end
53
54 % Función para el perfil de la carretera
55 function zr = road_profile(t)
56 freq = max(25 * (1 - t/4), 0); % Frecuencia decrece linealmente hasta 0 en t=4
57 zr = 0.05 * sin(2 * pi * freq * (t - t^2 / 8));
58 end
Command Window

```

**Figura 37** Código de las ecuaciones y perfil de carretera

(Autoría Propia)

En esta figura 38, se aprecia el código de la gráfica de resultado del sistema de ecuaciones diferenciales, es necesario que todos los parámetros en este código se encuentren organizado para tener el resultado final sin errores.



```

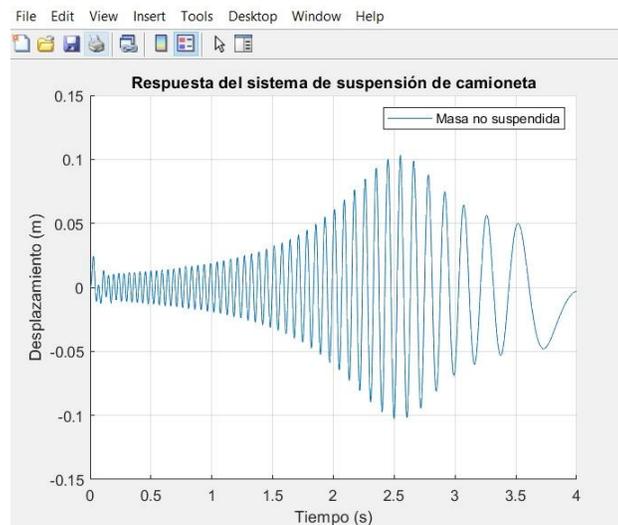
Editor - C:\Users\micha\Desktop\tesis matlab\SuspensionCamionetas.m
SuspensionCamionetas.m
21 % Calcular zr para el gráfico
22 zr = zeros(size(t));
23 for i = 1:length(t)
24     zr(i) = road_profile(t(i));
25 end
26
27 % Graficar los resultados
28 figure;
29 %plot(t, zs, 'DisplayName', 'Masa suspendida');
30 hold on;
31 plot(t, zu, 'DisplayName', 'Masa no suspendida');
32 %plot(t, zr, 'DisplayName', 'Perfil de la carretera');
33 xlabel('Tiempo (s)');
34 ylabel('Desplazamiento (m)');
35 title('Respuesta del sistema de suspensión de camioneta');
36 legend('show');
37 grid on;
38
39 % Función del sistema de suspensión
40 function dvdt = suspension_system(t, v, ms, mu, ks, kt, cs)
Command Window

```

**Figura 38** Código de la gráfica

(Autoría Propia)

Finalmente, en la figura 39 se tiene la gráfica obtenida del sistema de ecuaciones, se puede notar que el eje de las abscisas x determina el tiempo de 1 a 4 segundos que dura el banco de suspensión y en el eje de las ordenadas y, el desplazamiento de las ondulaciones.



**Figura 39** Gráfica del amortiguador en prueba

(Autoría Propia)

## 2.4 Elección de Maquinaria para ensayo de suspensión bajo la Norma EuSAMA

Se empleó un banco de suspensión para llevar a cabo las pruebas y determinar la eficiencia del sistema de suspensión. A continuación, se va a detallar su estructura, los componentes que lo integran, los sistemas electrónicos involucrados, el software utilizado en el banco y los requerimientos que debe tener el banco de suspensión para su funcionamiento según la Normativa Ecuatoriana. También, la Norma EuSAMA que se utiliza para evaluar la eficacia que debe tener correctamente el vehículo para que este mismo se seguro para el manejo de personas siendo así para evitar accidentes.

### 2.4.1 Requisitos para el banco de suspensión según la NTE INEN 2349:2003

El banco de pruebas para suspensiones, según la normativa es que cumpla con la medición automática de la eficiencia de la suspensión, tanto para el eje delantero como el eje posterior en porcentaje, también la amplitud máxima de oscilaciones en resonancia de cada una de las ruedas del vehículo, en milímetros, esto debe ser cumplidas, pero teniendo una excepción en las líneas para vehículos pesados (INEN, 2003). Se puede ver en la siguiente tabla 1 los requisitos que debe cumplir el banco de pruebas.

**Tabla 1** Requisitos del banco de suspensión

PARAMETRO	REQUERIMIENTO
Tipo	De Doble placa oscilante y empotrada a ras del piso, de amplitud y frecuencia de oscilación variables automáticas.
Ancho de vía del vehículo	850 mm mínimo interno 2000 mm máximo externo
Capacidad portante mínima	1500 kg por eje
Valor de una división de escala (resolución)	1 % en la eficiencia; 1 mm de amplitud

Fuente: (INEN, 2003)

### 2.4.2 Banco de suspensión BSU

Para la realización de la prueba de eficacia se utilizó el banco de suspensión BSU de la RYME el cual este equipo está diseñado en soportar el paso del vehículo de 16 toneladas por eje sin dañar sus celdas de carga, gracias a sus motores de 3KW el desplazamiento mínimo esta puede

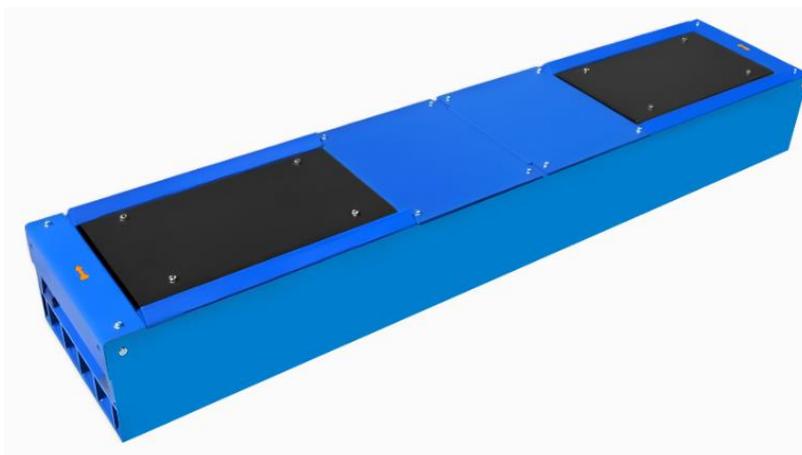
realizar las pruebas de las suspensiones de hasta 2.5 toneladas por eje, llegando analizar vehículos de turismo como furgoneta. En la tabla 2 se puede verificar el contenido de las especificaciones que tiene la maquinaria para realizar la prueba (Castellanos, 2016, p. 18).

**Tabla 2** Especificaciones de cargas al paso y medidas de vía

Carga Máx. por eje al paso	16 Tn
Motor	2 x 3 KW
Ancho de vía máx.	2.115 mm
Ancho de vía mín.	825 mm

**Fuente:** (Ryme Worldwide SA, 2021)

El propósito principal de este banco es llevar a cabo un análisis rápido y efectivo del estado de la suspensión de vehículos. Para ello, utiliza el método EuSAMA y mide cada una de las ruedas de manera individual en cada eje. La bancada está equipada con sistemas de seguridad que detectan la presencia del vehículo durante el ensayo, activándolo únicamente cuando las plataformas de medición identifican un peso mínimo. Sus motores de 3 KW es el que somete a la suspensión del vehículo unas oscilaciones (Vibraciones) entre 16 Hz a 0 Hz lo que simula las condiciones de una carretera, lo cual se obtiene el grado de adherencia y calcular su eficiencia en cada rueda. Se puede observar en a la figura 40 el banco de suspensión BSU (Ryme Worldwide SA, 2021, p. 62).



**Figura 40** Banco de suspensión universal BSU

(Ryme Worldwide SA, 2021)

Un ordenador administra integralmente el sistema de medición y la operación de la máquina. La interfaz de control es versátil, permitiendo la manipulación a través de teclado, ratón o mando a distancia. Además, la visualización de los datos se efectúa mediante un software altamente intuitivo, facilitando la interpretación y análisis de los resultados. Se puede observar en la figura 41 el interfaz del control que es un ordenador con el software para interpretar datos (Ryme Worldwide SA, 2021, p. 63).



**Figura 41** Interfaz de control del banco de suspensión universal BSU

(Ryme Worldwide SA, 2021)

Sabemos que el que para el manejo de datos se un utiliza un software intuitivo que permite analizar y sacar como resultado una eficiencia dependiendo del estado que se encuentra la suspensión. A continuación, en la tabla 3 se da a conocer características cruciales del software para que este sea lo suficientemente eficiente al manejar los datos.

**Tabla 3** Características del software del banco de suspensión universal BSU

<b>Características del software</b>	Envíos y procesamiento de datos y graficas en tiempo real
	Compatible con el 100 % de sistema de gestión y base de datos
	Software de configuración intuitivo, simple y rápido
	Configuración de la duración de la prueba al mínimo y/o máximo Tiempo necesario para optimizar el tiempo de trabajo
	Auto chequeo de puesta a 0 en el inicio de cada prueba
	Software de control muy intuitivo guiado mediante iconos gráficos
	Medición de amplitud máxima producida desde el arranque hasta la parada
	Compatibilidad con más del 95% de los sistemas gestores de bases de datos del mercado actual, ORACLE, SQL SERVER, Postgre, SQLite, etc. Compatibilidad con SO de 32 y 64 Bits y con Android, Windows
	Mejora en el proceso de la calibración de la placa principal. Permite ajustar la calibración de pesaje y de fuerzas a unos valores muy precisos.
	Las aplicaciones Ryme pueden encriptar sus datos, haciendo un sistema más seguro y fiable
	Posibilidad de análisis y estudio, bajo presupuesto, para adaptación a nuevas normativas de cualquier región y/o país
	Visualización de los resultados gráfica y numérica

**Fuente:** (Ryme Worldwide SA, 2021)

Los datos técnicos poder visualizar en la tabla, tiene varios componentes utiliza para el funcionamiento del banco de suspensión BSU, lo cual utiliza motores con una potencia de 3 KW en las placas con voltajes de 400 V. 50/60 Hz Trifásico, también utiliza fusibles de protección esto nos ofrece 3 niveles de valoración como se puede observar en la tabla 4 (Ryme Worldwide SA, 2021, p. 63).

**Tabla 4** Datos Técnicos del banco de suspensión

Peso máximo paso	16 Tn
Peso máximo prueba	2500 kg
Potencia del motor	2 x 3 KW
Ancho de vía máx.	2.120 mm
Ancho de vía mín.	825 mm
Voltaje	400 V. 50/60 Hz. Trifásico
Fusible de protección	3 x 20 A
Frecuencias de excitación	16 Hz
3 niveles de valoración	A) Amplitud B) Eficacia en % C) Diagnostico

**Fuente:**(Ryme Worldwide SA, 2021)

También hay que tener en cuenta las medidas que tiene el banco de suspensión BSU para determinar un espacio adecuado para su uso, como se puede observar en la siguiente tabla 5 las medidas de los del banco y de sus componentes.

**Tabla 5** Medias del banco de suspensión

Dimensiones del bastidor	2330 x 480 x 308 mm
Dimensiones del bastidor embalado	2400 x 600 x 400 mm
Peso del bastidor	615 kg
Peso del bastidor embalado	665 kg
Dimensión de la consola	720 x 420 x 1850 mm
Dimensión de la consola embalada	800 x 600 x 1580 mm
Peso de la consola	55 kg
Peso de la consola embalada	80 kg

**Fuente:** (Ryme Worldwide SA, 2021)

### 2.4.3 Norma EuSAMA

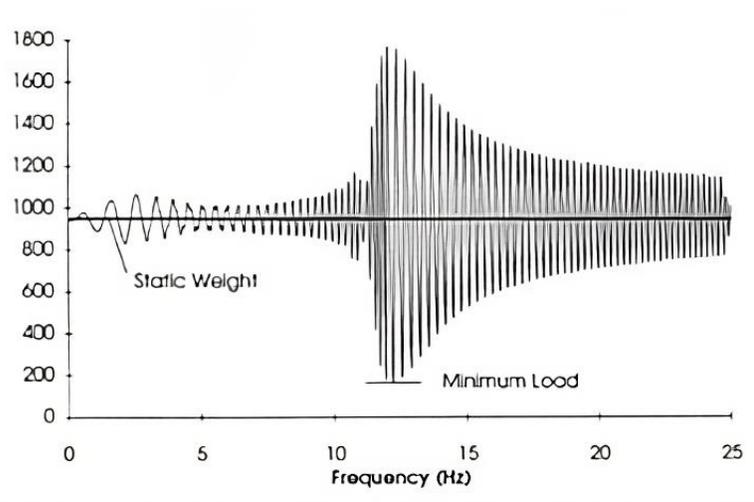
European Shock Absorber Manufacturers (EuSAMA) en 1971 fue creada por International Standards, son las guías que evalúan diferentes equipos de ensayos de suspensión, por lo cual estableció una serie de recomendaciones del desempeño que debe cumplir para la suspensión de un vehículo. Por tanto, se estandarizó un documento sobre la adherencia a la carretera que este debía cumplir como se puede ver en la tabla 6, lo cual es una excelente comparación de seguridad para el vehículo. En varios países utilizan este método EuSAMA como parte para la certificación que debe tener el vehículo anualmente para su seguridad (Arbeláez & Marín, 2007, p. 237).

**Tabla 6** Porcentaje de adhesión y su interpretación

Medida de Adhesión en %	Interpretación EuSAMA
61 % a 100 %	Excelente contacto dinámico de la llanta
41 % a 60 %	Buen contacto dinámico de la llanta
21 % a 40 %	Aceptable contacto dinámico de la llanta
1 % a 20 %	Pobre contacto dinámico de la llanta
0 %	Ningún contacto dinámico de la llanta

**Fuente:** (Arbeláez & Marín, 2007)

La adherencia es el porcentaje mínimo de la fuerza de contacto vertical remanente del neumático y la superficie de la carretera. Este porcentaje se calcula tomando la relación entre la carga vertical mínima remanente y el peso estático (Fuerza de contacto vertical del neumático) en el probador de suspensión como se muestra en la figura 42 (Castellanos, 2016, p. 19).



**Figura 42** Gráfica de adhesión de la suspensión

(Tsymborov, 1996)

La fórmula para la adhesión en %:

$$Adhesion [\%] = 100 \times \frac{Carga\ mínima}{Peso\ estático} \quad [4]$$

Los equipos diseñados para evaluar la adhesión de la llanta sobre el suelo, de acuerdo con la norma EuSAMA, el vehículo es sometido a la vibración en la llanta entre 0 a 25 Hertz con una amplitud de 3 a 6 milímetros, estos equipos poseen el control que permite medir la fuerza vertical del contacto en función de la frecuencia. Si la rueda rompe el contacto con la plataforma durante la prueba, la adherencia mínima es cero (Tsymborov, 1996, p. 972).

### 2.5 Realización de prueba en el banco de suspensión universal BSU

Una vez seleccionado el equipo, seguimos con la realización del ensayo para identificar la eficacia de la suspensión en la parte posterior los vehículos que vamos a realizar en los vehículos Chevrolet Luv D-Max, Mazda BT-50 y GreatWall Wingle, para la selección de equipo y procedimiento, debe cumplir con la norma para que los resultados tenga un validez a nivel nacional, por lo cual, el procedimiento para el ensayo del detector de holguras se basa en la norma INEN 2349:2003 en el apartado procedimiento de revisión, sección de prueba de suspensiones. A continuación, se va a detallar el procedimiento que se utilizó para la realización de la prueba con los vehículos ya mencionados.

1. Al iniciar el programa, se registra al vehículo que será inspeccionado y se selecciona el ensayo de banco de suspensión. A continuación, se elige la opción para vehículos de 2 ejes, lo que permite realizar la prueba en las 4 ruedas, seguido de ello, se presiona la tecla F2 para que comience la prueba de suspensión en las ruedas.



**Figura 43** Iniciación del programa

(Autoría Propia)

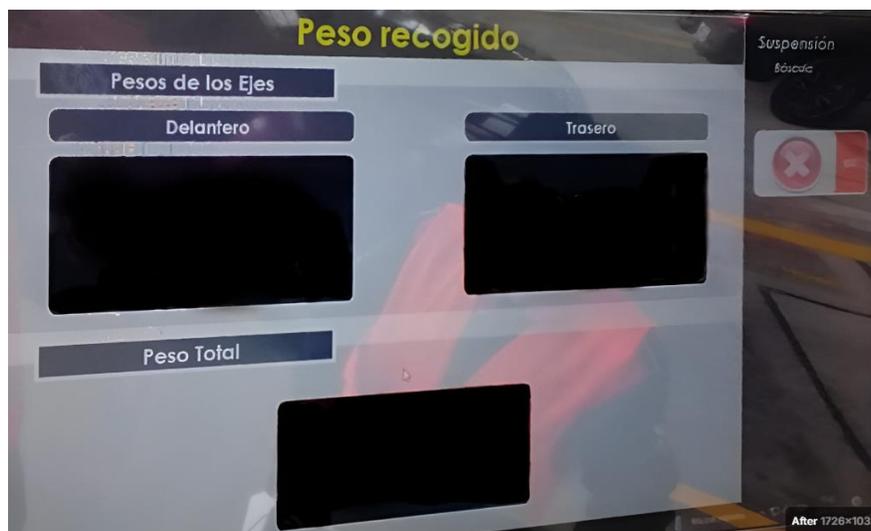
2. Una vez enviada la prueba, se debe transportar al vehículo hasta las placas de banco de suspensión, posicionando las ruedas del eje delantero en las dos placas, una vez que las ruedas estén posicionadas comenzará la realización del ensayo como se observa en la figura 44.



**Figura 44** Ubicación del eje delantero en el banco de suspensión

(Autoría Propia)

- Las placas cuentan con una báscula integrada que toma el peso del eje, así como también de cada rueda, una vez tomado el peso, las placas del banco comienzan a vibrar en una frecuencia de 25-0 Hz en cada rueda durante 4 segundos.



**Figura 45** Toma de peso de los ejes

(Autoría Propia)

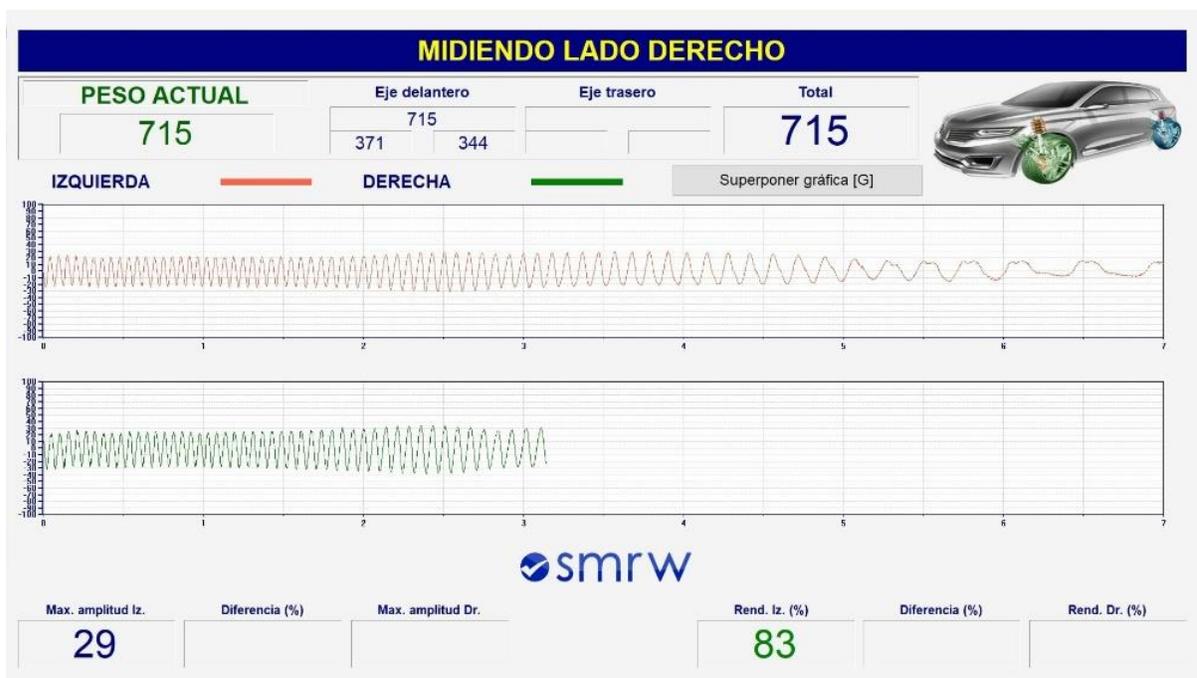
- Ya terminado la prueba en la parte del eje delantero, seguidamente se comienza con el eje posterior del vehículo, siguiendo los mismos pasos en posicionar las ruedas traseras en las placas del banco de suspensión y esperar a que tome el peso, para dar comienzo las vibraciones de las placas.



**Figura 46** Ubicación del eje posterior en el banco de suspensión

(Autoría Propia)

5. Finalmente, una vez terminada la prueba en los dos ejes, se guarda los datos obtenidos de la prueba realizada, y damos por finalizado el ensayo de la suspensión obteniendo los datos presentados en la figura 47



**Figura 47** Interfaz de los resultados

(Ryme Worldwide SA, 2021)

## 2.6 Identificación de averías mecánicas en la suspensión

Se logro identificar en manuales de revisión técnica vehicular las averías más frecuentes en el sistema de suspensión, se encontró que los componentes con más frecuencia se encuentra fallas son en bujes, rotulas, ballestas, entre otros. Esto puede ser debido al esfuerzo de carga en camionetas comerciales o caminos sumamente irregulares, lo que provocaría una conducción incomoda, llegado así a situaciones peligrosas que compromete la seguridad del conductor como de los pasajeros. Se puede observar en la siguiente tabla 7, los elementos que intervienen en el sistema de suspensión y las posibles causas de avería que generan un desgaste o final de ciclo del elemento.

**Tabla 7** Averías en los elementos del sistema de suspensión

<b>Elementos del sistema de suspensión</b>	<b>Averías</b>
Rótulas y Guardapolvos con	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ruptura de la goma exterior de protección</li> <li>-Desgaste excesivo de las juntas interiores y pérdida de rigidez</li> <li>-Juegos entre componentes</li> </ul>
Mesas o platos de suspensión con	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Juegos en los terminales de rótulas y bujes</li> <li>-Desgaste excesivos</li> <li>-Fisuras o deformaciones en la mesa</li> </ul>
Ballestas con	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bujes rotos, deformados o con juego excesivo</li> <li>-Hojas rotas, deformadas o corregidas</li> <li>-Abrazaderas flojas</li> <li>-Pernos y tornillos flojos o aislado</li> <li>-Soportes agrietados, deformados o rotos</li> <li>-Holguras sobre ejes</li> <li>-Arandelas de seguridad desgastadas</li> <li>-Topes de ballestas en mal estado</li> </ul>
Barra estabilizadora con	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Juegos y desgastes</li> <li>-Soldaduras en la barra</li> <li>-Fisuras y/o deformaciones en anclajes</li> <li>-Inexistencia o roturas de barra</li> </ul>
Muelles o resortes helicoidales con	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Roturas, grietas o distorsiones</li> <li>-Soportes y anclajes flojos</li> <li>-Topes nulos o mal estado</li> <li>-Holguras sobre ejes</li> <li>-Pernos y tornillos flojos y aislados</li> <li>-Soportes agrietados, deformados o rotos</li> </ul>

**Tabla 7** Averías en los elementos del sistema de suspensión (**Continuación...**)

Suspensiones neumáticas o hidráulicas	Fugas, deformaciones, accionamientos incorrectos, holguras excesivas, anclajes o sujeciones defectuosos
Amortiguadores con	-Fijación incorrecta -Fugas de aceite -Deformaciones, golpes, roturas -Soldaduras -Funcionamiento incorrecto
Barras de torsión y triángulos de suspensión con	-Incorrecta fijación al chasis -Deformaciones, fisuras, roturas o soldaduras -Ejes de giro en mal funcionamiento -Rótulas de suspensión defectuosas o con juego excesivo

Fuente: (Autoría Propia)

## 2.7 Maquinaria para ensayo de detector de holguras y su estructura

En la presente investigación, se utilizó un banco de detector de holguras para identificar las averías mecánicas que poseen los vehículos seleccionados en la provincia de Imbabura, tanto en el sistema de suspensión como el de dirección, para evitar posibles siniestros de tránsito. Para una mayor validez en sus resultados, el equipo contó con calibración regida a la norma INEN 2349:2003, por lo cual, la información recolectada fue confiable.

### 2.7.1 Ensayo de detector de holguras

El banco de detector de holguras es un equipo mecatrónico que se utiliza en los centros de revisión vehicular con el fin de diagnosticar averías tanto el sistema de suspensión como dirección de un vehículo. Su finalidad es encontrar algún tipo de desgaste, desalineación o dificultades estructurales en dichas áreas. Así como también detectar las holguras o movimiento anormales excesivos en el vehículo. Todo ello con el fin de prevenir a los conductores y acompañantes de siniestros de tránsito (Ordoñez, 2022, p. 16).

Este equipo debe ser empotrado sobre una fosa que tenga una iluminación adecuada para la visualización de los componentes inferiores del vehículo a inspeccionar. Para un correcto funcionamiento del ensayo, el carro debe estar muy bien ubicado en las placas de detección, ya que estas serán las encargadas de generar movimientos tanto longitudinales como transversales por medio de un mando controlado por el inspector (INEN, 2003)

En la figura 48, se muestra que el inspector vehicular se debe asegurar que no exista movimientos anormales en el sistema de suspensión y dirección, así como también holguras o desgaste excesivos de componentes y fugas de líquidos por la parte inferior del vehículo.



**Figura 48** Ensayo de detector de holguras en una camioneta Toyota Hilux

(Autoría propia)

El equipo de detector de holguras para una validez de sus resultados en un centro de revisión debe estar calibrada por una entidad. La institución que normaliza esto es la INEN, Servicio Ecuatoriano de Normalización, mediante su normativa 2349:2003, la cual cita que los procedimientos a seguir para una correcta realización de la revisión técnica vehicular en lugares de revisión y control vehicular. Los parámetros que se toman en cuenta en el banco de detector de holguras se muestran en la tabla 8, en donde se identifica las características técnicas para un correcto funcionamiento (INEN, 2003)

**Tabla 8** Parámetros de Banco de Detector de Holguras

<b>PARÁMETRO</b>	<b>REQUERIMIENTO</b>
Tipo de banco	De dos placas, con movimientos longitudinales y transversales, iguales y contrarios. Accionamiento de placas con control remoto. Estará empotrado en el pavimento sobre la fosa o se incorporará el elevador.
Capacidad portante	1000 kg por placa para vehículos livianos 3500 kg por placa para vehículos pesados
Iluminación para detección visual	Lámpara halógena de alta potencia, regulable

**Fuente:** (INEN, 2003)

### **2.7.2 Detector de Holguras**

Para la presente investigación, el ensayo de detector de holguras se lo realizó con el banco de detector de holguras DLJ5 N4, perteneciente a la empresa Ryme Worldwide. Dicho equipo cuenta con un funcionamiento Electroneumático que se utiliza para la comprobación del estado de ejes de vehículos ligeros de MMA (Masa Máxima Admisible) 3500 kg. Mientras que la carga máxima por eje que puede soportar este equipo es 2 toneladas. Tomando en cuenta que su funcionamiento es electroneumático posee una presión neumática de mínimo 7 bares y máximo 12 bares, permitiendo observar los posibles desgastes, roturas y movimientos no normales ocasionados en el sistema de suspensión o dirección del vehículo (Ryme Worldwide SA, 2021, p. 13)

Este equipo cuenta con 4 placas creando una facilidad para cubrir las batallas y anchos de vía de cualquier vehículo ligero y así también realizar la prueba en una única colocación del carro, provocando una mayor rapidez en el ensayo de holguras. Además de ello, cuenta con 4 detectores de juegos electroneumáticos con 4 movimientos, una caja eléctrica y una linterna halógena de mando con cable. En la figura 49, se muestra el equipo de banco de detector de holguras DLJ5 N4 creado por la empresa Ryme Worldwide (Ryme Worldwide SA, 2021, p. 13)



**Figura 49** Banco de Detector de Holguras DLJ5 N4

(Ryme Worldwide SA, 2021)

En la tabla 9, se muestra los datos técnicos y específicos que el equipo DLJ5 N4 ofrece en sus servicios

**Tabla 9** Datos técnicos del Banco de Detector de Holguras DLJ5 N4

<b>Datos técnicos</b>	
Carga máxima por eje	2 Tn.
Voltaje	230V – 50 Hz
Fusible de protección	2 x 3 A
Lampara LED	12V / 6 W
Presión nominal	8 bares
Presión neumática (Mín./Máx.)	7/12 bares
Caudal de aire mínimo	250 l/minuto
Fuerza de empuje	2500 N
Desplazamiento de la placa	50mm
Movimiento longitudinal y transversal en ambas placas	
Accionamiento y control desde la linterna	

**Fuente:** (Ryme Worldwide SA, 2021)

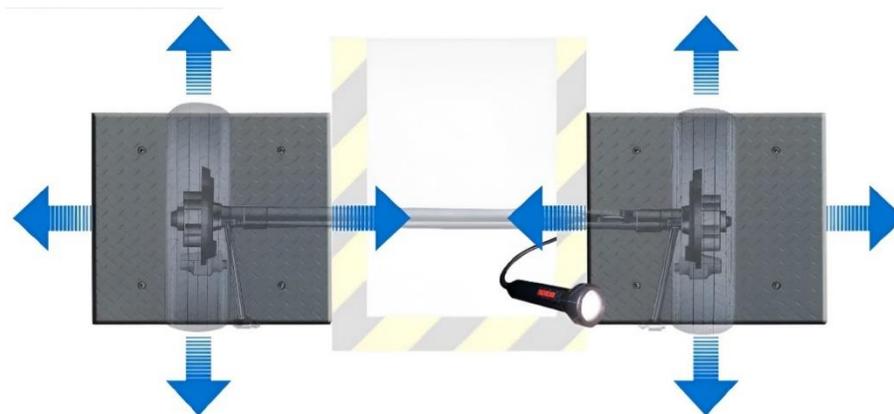
Con respecto a sus dimensiones, en la tabla 10, se detalla las dimensiones que poseen las placas y su peso.

**Tabla 10** Dimensiones del Banco de Detector de Holguras DLJ5 N4

Dimensiones	
Dimensiones de la placa	965 x 670 x 213 mm
Dimensiones del equipo embalado	980 x 710 x 450 mm
Peso de la placa (unidad)	105kg
Peso del equipo embalado	450 kg

**Fuente:** (Ryme Worldwide SA, 2021)

En la figura 50, se muestra el movimiento que produce las placas al ser activadas por el control remoto



**Figura 50** Movimiento longitudinal y transversal de las placas del Banco de Detector de Holguras DLJ5 N4

(Ryme Worldwide SA, 2021)

Para el funcionamiento adecuado del banco de detector de holguras es necesario que el equipo se rija a un decreto para la validez de sus resultados, para ello el equipo esta adoptado al Real Decreto 17/920, el cual menciona de manera directa todos los requerimientos mínimos del régimen de inspecciones técnicas de los vehículos para la libre circulación en zonas públicas, así como también, dictamina los requerimientos y obligaciones que deben ejecutar las estaciones de revisión vehicular.

Dentro del Real Decreto 17/920, expone que los equipos a utilizar en las ITV deben cumplir requisitos mínimos para su funcionamiento, en este caso, con respecto al banco de detector de holguras, el equipo debe realizar el ensayo sin levantar ninguno de los ejes del vehículo y

estrictamente cumplir con los siguientes requerimientos (Legislación Consolidada BOE, 2017, p. 47)

- El equipo debe poseer al menos dos placas motorizadas que se muevan en sentido opuesto, tanto de manera transversal como longitudinal
- El inspector debe realizar el movimiento de las placas desde el lugar en que se ejecuta la inspección.
- Los vehículos mayores con una MMA de 3.5 toneladas, las placas necesariamente deben poseer un movimiento longitudinal y transversal mínimo de 95mm y la velocidad de movimiento de 5 cm a 15 cm (Legislación Consolidada BOE, 2017, p. 47)

El banco de holguras seleccionado para esta investigación por defecto en su fabricación fue adaptado al Real Decreto 17/920 debido a que el equipo es de procedencia extranjera, sin embargo, al ingresar al Ecuador, la máquina debe regirse a la normativa correspondiente sobre los equipos que se utilizan en las inspecciones técnicas vehiculares de todo el país, por lo cual la Norma 2349:2003, es aquella que detalla los procedimientos para una revisión técnica vehicular y la que rige a nivel nacional. Por lo que, el equipo seleccionado cumple con la norma INEN 2349:2003 con una correcta calibración y así una validez en sus resultados.

## **2.8 Realización de prueba en el detector de holguras de los componentes de la suspensión**

Una vez que se seleccionó el equipo, el siguiente paso a realizar es el ensayo para identificar las holguras o juegos que poseen en el sistema de suspensión de la parte posterior de los vehículos Mazda BT-50, Chevrolet Luv D-Max y GreatWall Wingle, para ello, como se mostró en el apartado anterior, para la selección de equipo y procedimiento, debe cumplir una norma para que los resultados tengan validez a nivel nacional, por lo cual, el procedimiento para el ensayo del detector de holguras se basa en la norma INEN 2349:2003 en su apartado procedimiento de revisión, sección prueba de holguras. A continuación, se va a detallar el seguimiento utilizado en esta investigación en las instalaciones de la empresa REVIPLUS ECUADOR S.A. ubicado en la ciudad de Ibarra.

1. Se debe transportar el vehículo hasta la fosa, en donde se encuentra el equipo de detector de holguras, colocando las ruedas sobre las 4 placas móviles quedando de manera centrada.



**Figura 51** Ubicación de las 4 ruedas en el banco de holguras

(Autoría Propia)

2. Se necesita informar al usuario, las indicaciones pertinentes para el ensayo. En primer lugar, se coloca el freno de mano o bloqueo y la palanca en neutro o parking (automáticos). Seguidamente, girar el volante de izquierda a derecha con movimientos rápidos, ya que ayuda a identificar de manera rápida el funcionamiento de eje posterior y posibles averías. Finalmente, mantener firme el volante y presionar el freno, esto debido a que se mantenga firme los neumáticos a los movimientos del equipo.



**Figura 52** Procedimiento de Detector de Holguras

(Autoría Propia)

3. Se procede a bajar por la fosa y colocarse los equipos de seguridad como casco, lentes y mascarilla como se muestra en la figura 53, donde se encuentra los equipos de seguridad que se maneja en todo establecimiento de revisión técnica vehicular.



**Figura 53** Equipo de protección personal  
(MOTORGIGA, 2024)

4. Se debe ingresar a la parte interna de la fosa, tomar la lámpara halógena e inspeccionar el eje delantero del vehículo seleccionado, mientras el usuario está girando la dirección de izquierda a derecha, se verifica los elementos del sistema de dirección. En la figura 54, se observa cómo se realizó el ensayo en el eje delantero de una camioneta carga liviana N1



**Figura 54** Inspección de los elementos del sistema de dirección en el eje delantero  
(Autoría Propia)

5. Una vez revisado el sistema de dirección, se debe avisar al usuario para que deje de girar el volante, por lo que el usuario procede a frenar y mantener el volante estático. Es allí cuando se utiliza el control de mando para generar los movimientos transversales como longitudinales. En la tabla 11, se detalla los elementos de suspensión que se inspeccionan con dichos movimientos

**Tabla 11** Inspección de holguras en el eje delantero

<b>Inspección de elementos del sistema de suspensión en el eje delantero</b>			
<b>Elementos de suspensión</b>	<b>Tipo de movimiento</b>	<b>Posible avería</b>	<b>Imagen del componente</b>
Bujes de caucho de mesa inferior izquierdo y derecho	Longitudinal	-Desgaste excesivo del caucho provocando colisión metal con metal	
Bujes de caucho de mesa superior izquierdo y derecho	Longitudinal	-Desgaste excesivo del caucho provocando colisión metal con metal	
Mesas o platos de suspensión izquierdo y derecho como también superior e inferior	Longitudinal y transversal	-Fisuras y deformaciones, así como roturas de anclaje	

**Tabla 11** Inspección de holguras en el eje delantero (**Continuación...**)

Rótulas y guardapolvos de mesa inferior izquierdo y derecho	Transversal	-Guardapolvos rotos, juegos mínimos y excesivos en rótulas	
Rótulas y guardapolvos de mesa superior izquierdo y derecho	Transversal	-Guardapolvos rotos, juegos mínimos y excesivos en rótulas	
Barra de torsión	Sin movimiento (Visual)	-Juegos del elemento, soldaduras o fisuras.	
Barra estabilizadora	Sin movimiento (Visual)	-Juegos del elemento, soldaduras o fisuras.	

**Tabla 11** Inspección de holguras en el eje delantero (**Continuación...**)

Amortiguadores izquierdo y derecho	Sin movimiento (Visual)	-Fijaciones en mal estado, fugas de fluido	
Resortes helicoidales izquierdo y derecho	Sin movimiento (Visual)	-Resortes sueltos o rotos, espirales con fisuras	

**Fuente:** (Autoría Propia)

6. Tras verificar el eje delantero, se procede a inspeccionar todos los sistemas que intervienen debajo del vehículo, hasta llegar al eje posterior, en donde con la misma temática del punto anterior, por medio de los movimientos longitudinales y transversales se puede diagnosticar cualquier tipo de avería. En la tabla 12, se puede ver detalladamente cómo se realizó la inspección de los elementos del sistema de suspensión del eje posterior de los vehículos seleccionados.

**Tabla 12** Inspección de holguras en el eje delantero

<b>Inspección de elementos del sistema de suspensión en el eje posterior</b>			
<b>Elementos de suspensión</b>	<b>Tipo de movimiento</b>	<b>Posible avería</b>	<b>Imagen del componente</b>
Bujes de caucho ojo de ballesta izquierdo y derecho	Longitudinal	-Desgaste excesivo del caucho provocando colisión metal con metal, sujeción de perno	
Ballestas de lado izquierdo y derecho	Sin movimiento (visual)	-Hojas se encuentren abanicadas o desalineadas -Hoja principal y secundaria estén rotas o soldadas	
Amortiguadores izquierdo y derecho	Sin movimiento (visual)	-Fijaciones en mal estado, fugas de fluido	

**Tabla 12** Inspección de holguras en el eje delantero (**Continuación...**)

Abrazadera principal de ballesta	Longitudinal y transversal	-Fijaciones de pernos a hojas de ballestas	
Manoplas, grilletes o gemelos de lado izquierdo y derecho	Longitudinal	-Desgaste excesivo del caucho provocando colisión metal con metal, sujeción de perno	

Fuente: (Autoría Propia)

7. Finalmente, una vez realizado la debida inspección, se sale de la fosa y se procede a escribir las averías encontradas en el sistema, para que dichas averías se reflejen en el informe final del vehículo inspeccionado. En la figura 55, se refleja cómo se ingresa los datos de averías en el computador mediante el programa.

**Figura 55** Descripción de averías mecánicas en el computador

(Autoría Propia)

## CAPITULO III

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo se presenta las averías de camionetas (Chevrolet Luv Dmax, Mazda BT-50 y GreatWall Wingle) en el sistema de suspensión en función del año (2011-2019), kilometraje y la ubicación del defecto (eje delantero y posterior), para obtener datos se utilizaron el banco de holguras (averías mecánicas) y el banco de suspensión (estado del amortiguador) proporcionados por la empresa REVIPLUS ECUADOR S.A. Con los datos que se obtenidos se pudo comparar las tres marcas de camionetas tomando en cuentas sus averías en los componentes (rótulas, bujes, amortiguadores, barra estabilizadora ballestas, etc), esto permitirá dar un análisis comparativo, para escoger la camioneta con mayor durabilidad de sus componentes del sistema de suspensión.

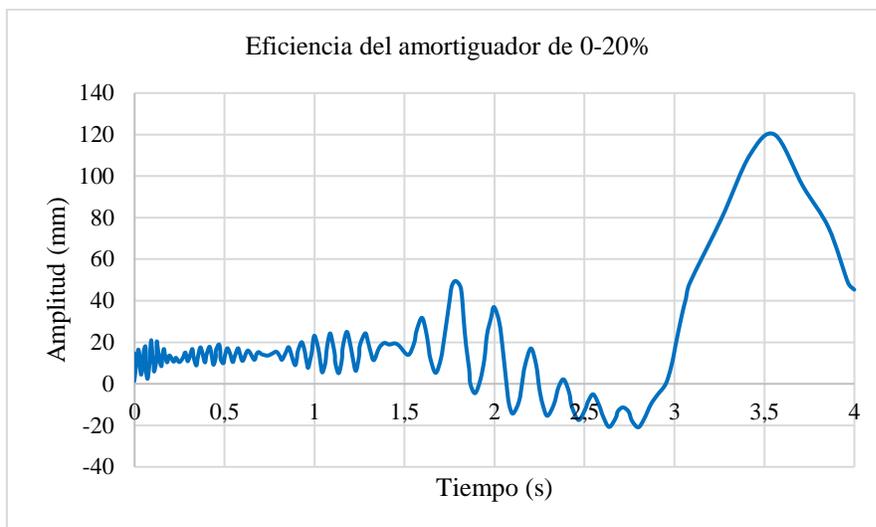
A continuación, se presenta de maneta grafica los datos obtenidos de las camionetas relacionado con las cantidades de averías obtenidas de cada componente encontrado.

#### **3.1 Resultados de la incorrecta eficacia de la suspensión realizados en el banco de suspensión**

Tras exponer a los vehículos seleccionados en el banco de suspensión, se ha extraído datos, para posteriormente detallarlos en gráficas que interpretan el comportamiento del amortiguador en función de su desgaste. Por lo que, en esta sección, se presenta el porcentaje de eficacia que posee un amortiguador cuando es expuesto a vibraciones de hasta 25Hz.

##### **3.1.1 Interpretación del funcionamiento de amortiguadores según normativa EuSAMA**

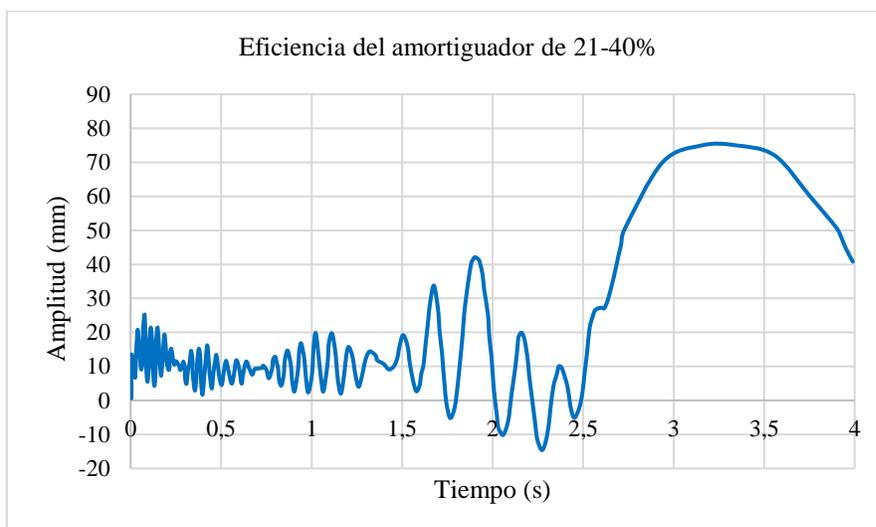
Las gráficas a continuación muestran el porcentaje de eficacia y el estado en el que se encuentran los amortiguadores, la cual nos permite entender el estado y su diferente rango de eficacia.



**Figura 56** Resultados de la eficiencia en el amortiguador de 0-20%

(Autoría Propia)

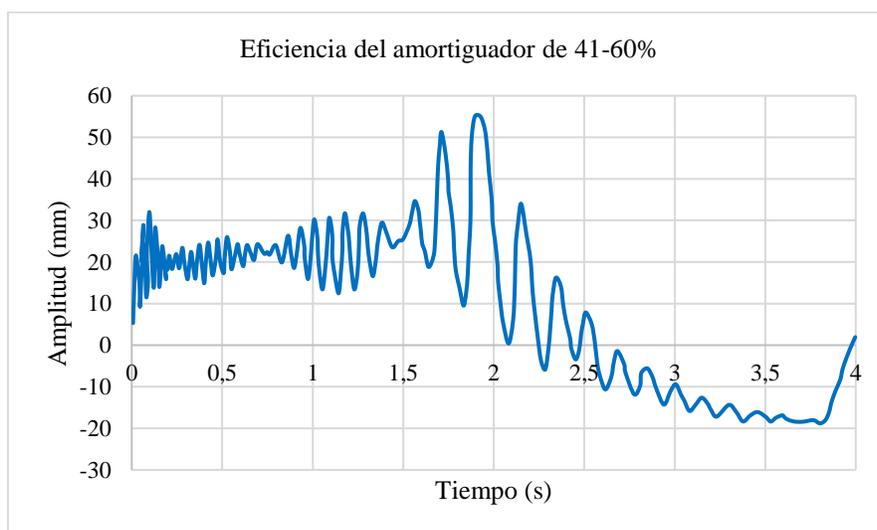
La figura 56, muestra el rango de 0-20% de eficacia según la tabla 6, lo que significa que el amortiguador se encuentra en condiciones excesivamente negativas. Se puede apreciar que el amortiguador mantiene los ciclos pequeños con bajas amplitudes de 21 mm en el primer segundo, lo que significa que funciona muy bien, pero conforme pasa el tiempo, se encuentran ciclos amplios, hasta llegar al punto crítico a partir del tercer segundo, donde se llega hasta una amplitud muy alta de 120 mm, lo que significa que el amortiguador no disipa la energía mecánica.



**Figura 57** Resultados de la eficiencia en el amortiguador de 21-40%

(Autoría Propia)

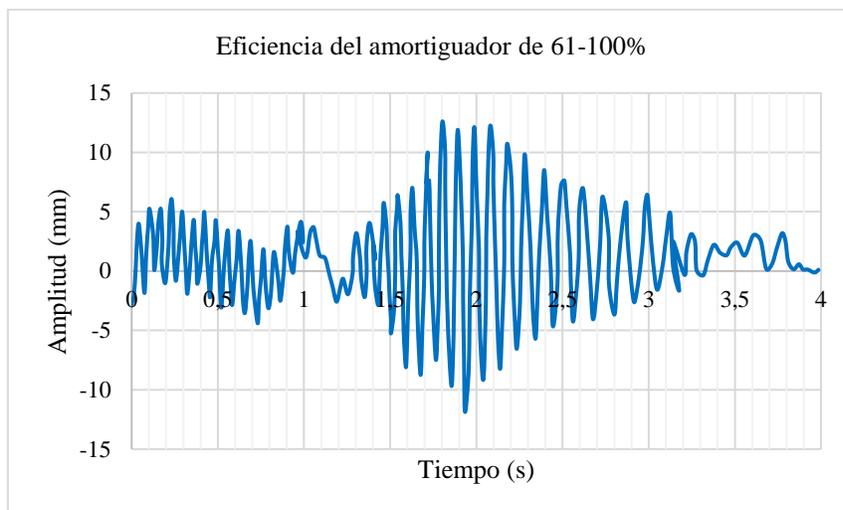
La figura 57, muestra la gráfica de un amortiguador, que pertenece al rango de 21-40% de eficacia según la tabla 6, siendo el mínimo aceptable en el amortiguador, se aprecia en este ejemplo que los primeros segundos de sus ciclos son normales debido a que reacciona rápido y se estabiliza, pero desde 2,5 segundos, el amortiguador no logra estabilizarme rápido, debido a que su amplitud aumenta a los 75mm



**Figura 58** Resultados de la eficiencia en el amortiguador de 41-60%

(Autoría Propia)

La figura 58, muestra que el amortiguador, está en el rango de 41-60% de eficacia según la tabla 6, lo que significa que el amortiguador tiene un funcionamiento bueno, esta grafica muestra que en los primeros segundos el amortiguador funciona perfectamente con ciclos pequeños y baja amplitud, conforme pasa el tiempo podemos ver que los ciclos llegan hasta amplitudes de 50mm, logrando estabilizarse desde los 2,5 segundos, porque el amortiguador todavía puede disipar la energía mecánica.



**Figura 59** Resultados de la eficiencia en el amortiguador de 61-100%  
(Autoría Propia)

La figura 59, muestra el rango de 61-100% de eficacia según la tabla 6, lo que significa que el amortiguador se encuentra en un excelente estado, se puede apreciar que se encuentra con ciclos relativamente pequeños y con amplitudes que llega a 12 mm, esto se va desarrollando perfectamente en los 4 s que dura la prueba, lo que es normal en un amortiguador, cumpliendo con su función de disipar la energía mecánica.

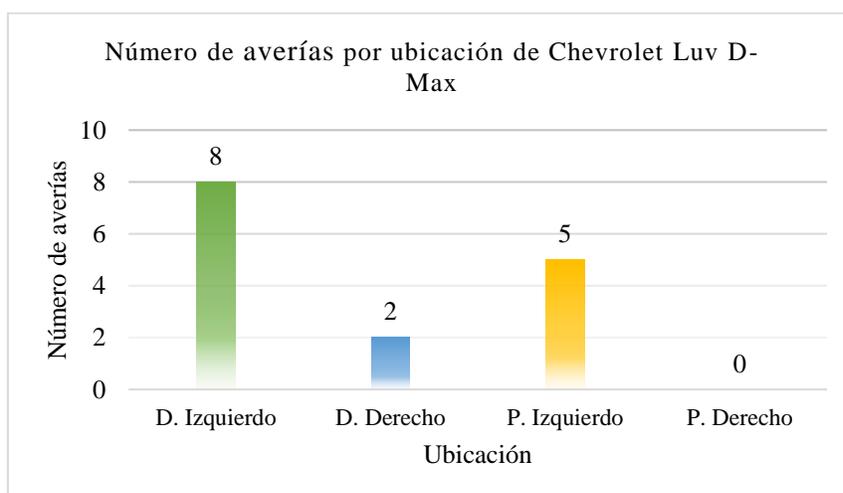
### 3.1.2 Incorrecta eficacia de suspensión en eje 1 y 2 en vehículos Chevrolet Luv D-Max

Se desarrolló la prueba de banco de suspensión a 100 camionetas Chevrolet Luv D-Max en cada rueda, con el fin de registrar la eficiencia de su amortiguador y cuestionar si los amortiguadores cumplen con la normativa EuSAMA.



**Figura 60** Eficiencia de las 100 camionetas Chevrolet Luv D-Max  
(Autoría Propia)

La figura 60, muestra la cantidad total de los amortiguadores en la camioneta Chevrolet Luv D-Max, según la tabla 6 bajo norma EuSAMA el 82% de total de las camionetas se encuentran con un excelente contacto dinámico de la llanta con la calzada. El 14 % se encuentra con un buen contacto, lo que presenta una buena adherencia a la calzada aún. Por el otro lado, el 2 % tiene el mínimo de eficacia para lo que es aceptable para que el continúe en funcionamiento, los siguientes de porcentaje que presentan el 1% estos se encuentran con una pobre contacto dinámico o nulo, esto es preocupante dicho que la falta de eficiencia en los amortiguadores podría dañar los demás componentes de la suspensión.



**Figura 61** Eficacia de las 100 camionetas Chevrolet Luv D-Max por su ubicación  
(Autoría Propia)

La gráfica 61, evidencia que el mayor número de averías en la suspensión se da en el lado izquierdo, específicamente en el delantero con 8. Existe una cantidad elevada en este punto debido a causas como la distribución de peso (conductor/motor), así como también condiciones de terreno (baches/empedrado) absorbiendo más impactos donde existe mayor peso, causando desgastes desiguales, de la misma manera se toma en cuenta la conducción en zonas urbanas (frenados/aceleraciones constantes), trayendo consigo un mayor esfuerzo en el lado analizado.

### 3.1.3 Incorrecta eficacia de suspensión en el eje 1 y 2 en vehículos Mazda BT-50

Se desarrolló la prueba de banco de suspensión a 100 camionetas Mazda BT-50 en cada rueda, con el fin de registrar la eficiencia de su amortiguador y cuestionar si los amortiguadores cumplen con la normativa EuSAMA.

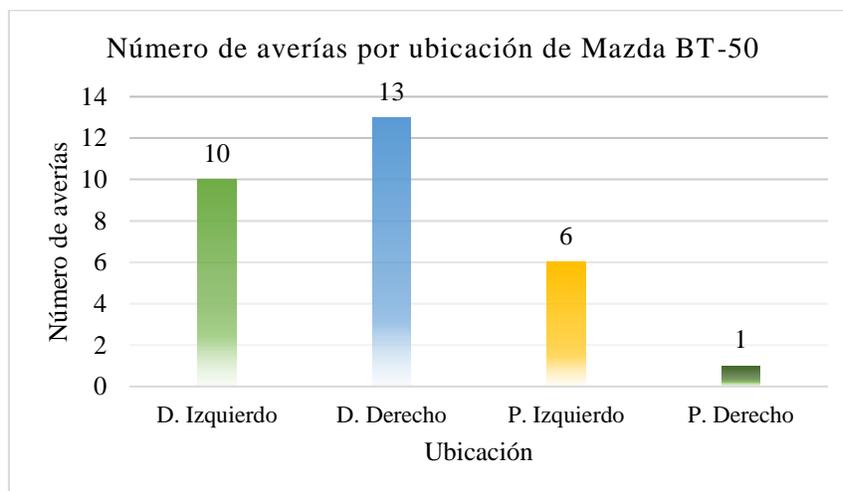


**Figura 62** Eficiencia de las 100 camionetas Mazda BT-50

(Autoría Propia)

La figura 62, muestra la cantidad total de los amortiguadores en la camioneta Mazda BT-50, según la tabla 6 de norma EuSAMA el 64 % del total de camioneta, lo que es una cantidad considerablemente buena, ya que estos se encuentran con un excelente contacto dinámico de la llanta con la calzada. El 28% todavía se encuentra con una buena adherencia hacia el suelo. Por otro lado, el 6% carece de una buena adherencia, pero estos aún son usables, pero con el mínimo porcentaje de eficacia, con la consecuencia que falle en algún momento, mientras que los

porcentajes del 1% se encuentran con una pobre adherencia hacia el suelo o este es nulo, por en el amortiguador es suave teniendo a dañar el sistema de suspensión.



**Figura 63** Eficacia de las 100 camionetas Mazda BT-50 por su ubicación

(Autoría Propia)

La gráfica 63, detalla que Mazda BT-50 posee mayor número de averías en suspensión en el eje delantero, con un punto máximo de 13 fallas en el lado derecho y 10 en el izquierdo. Los datos presentados afirman un problema en la parte anterior de estas camionetas, para lo cual los factores que influyen pueden ser debido a superficies irregulares (baches), ya que el eje delantero es el primero en absorber impactos en la carretera, así como también, curvas y pendientes, puesto que el peso de vehículo se transfiere hacia la parte delantera, creando sobrecarga en el eje y generando un mayor desgaste en la suspensión.

### 3.1.4 Incorrecta eficacia de suspensión en el eje 1 y 2 en vehículos GreatWall

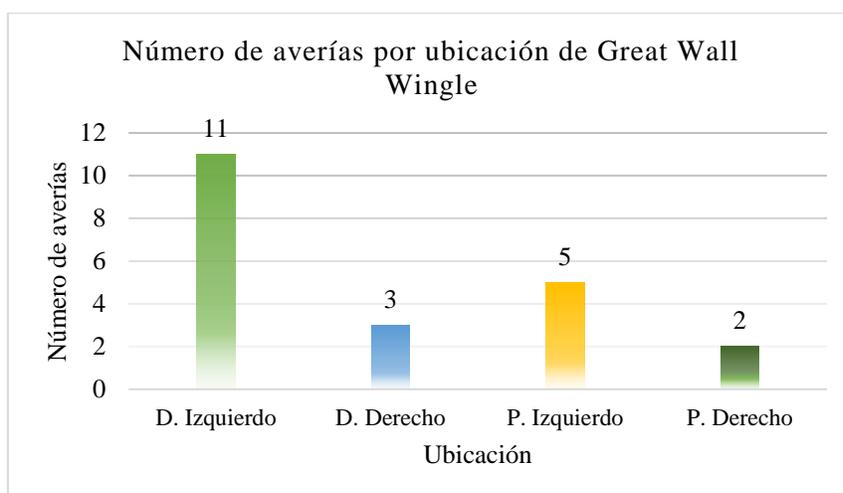
#### Wingle

Se desarrolló la prueba de banco de suspensión a 100 camionetas GreatWall Wingle en cada rueda, con el fin de registrar la eficiencia de su amortiguador y cuestionar si los amortiguadores cumplen con la normativa EuSAMA



**Figura 64** Eficiencia de las 100 camionetas Great Wall Wingle  
(Autoría Propia)

La figura 64, muestra la cantidad total de los amortiguadores en la camioneta GreatWall Wingle, según la tabla 6 de norma EuSAMA el 64% del total de camioneta, por lo que la gran mayoría de estos tiene un excelente contacto dinámico de la llanta con la pista. El 31% este porcentaje esta bueno porque el amortiguador todavía se encuentra con una buena adherencia hacia el suelo. Por otro lado, el 3% se encuentra con el mínimo porcentaje de eficacia, pero todavía es aceptable su contacto dinámico con el suelo, mientras los siguientes porcentajes de 1% se encuentra con una pobre adherencia o este es nulo, su cantidad es baja pero preocupante debido a que podría dañar a los componentes del sistema de suspensión.



**Figura 65** Eficacia de las 100 camionetas Great Wall Wingle por su ubicación  
(Autoría Propia)

La gráfica 65, especifica que Great Wall Wingle tiene mayor número de averías de suspensión en el lado izquierdo, considerando el delantero como su punto máximo con 11 fallas y el posterior con 5. Esta marca y modelo de vehículo presenta un comportamiento similar de su amortiguador con Chevrolet Luv D-Max, por lo cual, los factores que influyen en un desgaste desequilibrado serían los mismos visto anteriormente, es decir, distribución de peso, condiciones de terreno y tipo de conducción.

### 3.2 Resultados de las averías mecánicas realizados en el banco de detector de holguras

En la siguiente tabla 13. se muestran todas las averías mecánicas obtenidas de las 100 camionetas seleccionadas de cada marca y contabilizadas según el defecto que tiene

**Tabla 13** Descripción de averías en los 3 vehículos seleccionados

<b>Descripción de averías encontradas en el sistema de suspensión en vehículos</b>	<b>Número de averías en Chevrolet Luv D-Max</b>	<b>Número de averías en Mazda BT-50</b>	<b>Número de averías en GreatWall Wingle</b>
Ajuste inadecuado de ojo de ballesta	28	13	26
Ajuste inadecuado de rótula de mesas	18	11	22
Bujes de caucho deteriorados o inexistentes de mesa superior	25	29	25
Hoja de ballestas desalineadas, rotas o soldadas	7	17	2
Manoplas grilletes o gemelos en mal estado o cóncavas.	19	7	7
Ajuste inadecuado en perno guía en conjunto ballestas y abrazaderas	2	1	1
Barra estabilizadora con fisuras o deformaciones	1	2	2
Buje de caucho de amortiguadores en mal estado	6	1	0

**Tabla 13** Descripción de averías en los 3 vehículos seleccionados (**Continuación...**)

Mesas o platos de suspensión con fisuras o deformaciones	0	1	0
Fugas de fluidos en amortiguadores	2	0	1
Fijaciones y/o anclajes de barras estabilizadoras deteriorado	0	2	0
Total	109	84	86

**Fuente:** (Autoría propia)

Se puede observar en la tabla que la Chevrolet tiene la mayor cantidad de averías con un total de 109, seguidamente GreatWall con 86 y finalmente Mazda con 84. Aunque Chevrolet es la que contiene mayor número de averías, no se pudo concluir que es la peor, más bien se debería analizar la avería encontrada en función de parámetros para una adecuada selección. Por tanto, para un análisis de las averías del sistema de suspensión en los 3 vehículos de carga liviana (N1) seleccionados, se ha tomado en referencia 3 condiciones de estudio (año, kilometraje y ubicación del defecto), con el fin de comparar cada avería con las condiciones propuestas y evitar cualquier tipo de ventaja sobre condiciones en particular

### 3.2.1 Ajuste inadecuado de rótula de mesas

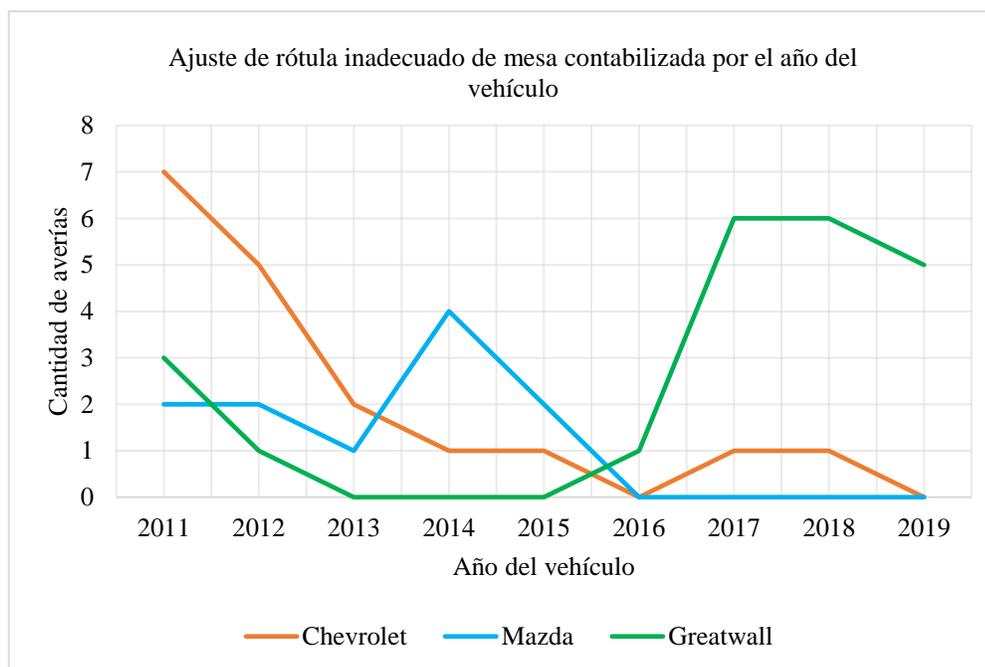
Las rótulas de mesa de suspensión ayudan que las irregularidades del suelo o posibles baches en la carretera no se trasladen de manera brusca al habitáculo interior del vehículo. Para asegurar dicho objetivo, existe dos mesas, una superior e inferior, por lo que existe dos rótulas en cada rueda para garantizar un excelente confort a los usuarios. A continuación, se puede observar en la tabla 15, la cantidad de averías de ajuste inadecuado de rótulas de mesa en las camionetas seleccionadas.

**Tabla 15** Número total de averías en rótulas de mesa

	Número de averías en vehículos Chevrolet Luv D-Max	Número de averías en vehículos Mazda BT-50	Número de averías en vehículos GreatWall Wingle
Ajuste inadecuado de rótula de mesa	18	11	22

**Fuente:** (Autoría propia)

Tras la debida contabilización de este elemento de suspensión, se denota la sobresaliente actuación de la marca Mazda, ya que posee solamente 11 vehículos este inconveniente de los 100 vehículos analizados en su marca, dicho dato se puede interpretar como una mayor exigencia de materiales que utiliza al momento de ensamblarlos, mientras que Chevrolet se encuentra en una etapa intermedia debido a que 18 vehículos poseen esta avería de los 100 analizados, por lo que la compañía muestra un interés medio en las rótulas, es decir para la fabricación de este elemento no es muy exigente en su calidad final. Finalmente, GreatWall posee 22 vehículos con problemas en este componente, dejándolo en una zona peligrosa en el mercado al momento de seleccionarla, dicho problema puede ser interpretado que la calidad de la fabricación es mala y poco durable, así como también su diseño sea posiblemente muy sencillo en su estructura.



**Figura 69** Avería de rótulas de mesas por año del vehículo

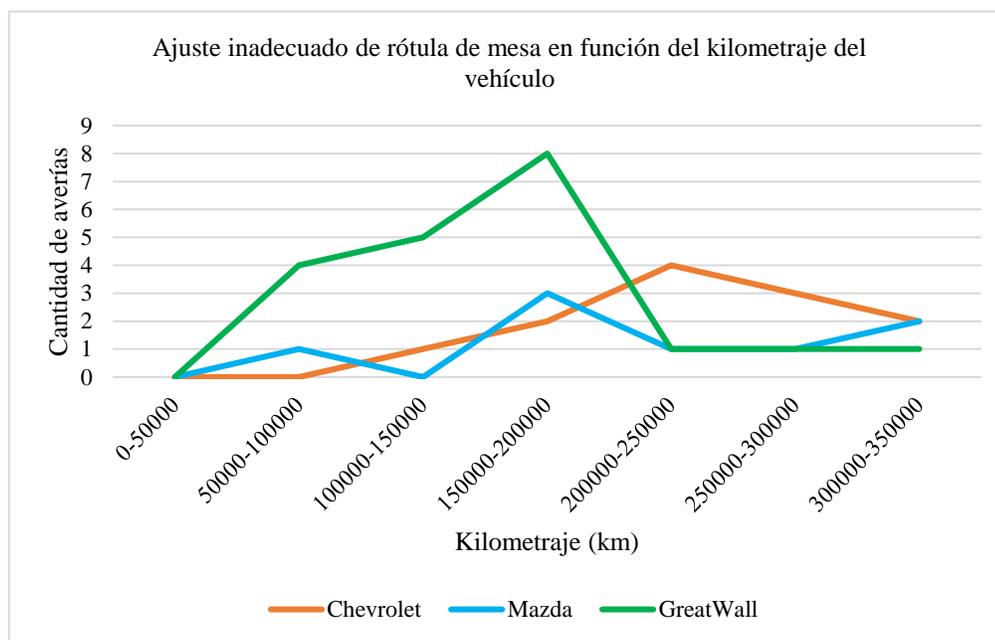
(Autoría Propia)

Para el estudio de esta investigación se ha analizado la rótula de mesa desde el año 2011 hasta 2019 en las camionetas seleccionadas, para lo cual en la gráfica 69, se muestra que, Chevrolet Luv D-Max, ha obtenido un decrecimiento significativo desde 2011 hasta 2016, ya que menora de 7 a 0 averías, lo cual es una tendencia positiva y modelo a seguir por las diferentes marcas.

Esta afirmación se interpreta que la empresa ha logrado mejorar este elemento hasta su perfección.

Por otro lado, Mazda BT-50, para su análisis, se prioriza el año 2014, debido a que llega a su punto máximo con 4 averías. Después de su punto máximo, se muestra un interés en dicho elemento afectado, por lo que a partir del año 2014 hasta 2019 se muestra una enorme y satisfactoria mejora en el componente, tanto así que las averías son nulas en sus vehículos, generando un equilibrio entre sus componentes.

Finalmente, GreatWall Wingle, sobresale a partir del año 2016, ya que existe un incremento descomunal de averías en un año, llegando a un punto máximo de 6 averías y manteniéndose para el siguiente año, no obstante, para el 2019 tratan de reducir el número de averías a 5. Sin embargo, el total de averías que se encuentran en el periodo estudiado son 22, de las cuales lo más crítico se muestra en los 3 últimos años (2017,2018 y 2019) con 19 averías, es decir los vehículos no son tan antiguos, por lo que, la calidad de sus materiales ha sido muy simple, generando un pésimo rendimiento como también desconfianza de los clientes hacia la marca.



**Figura 70** Avería de rótulas de mesas por kilometraje del vehículo

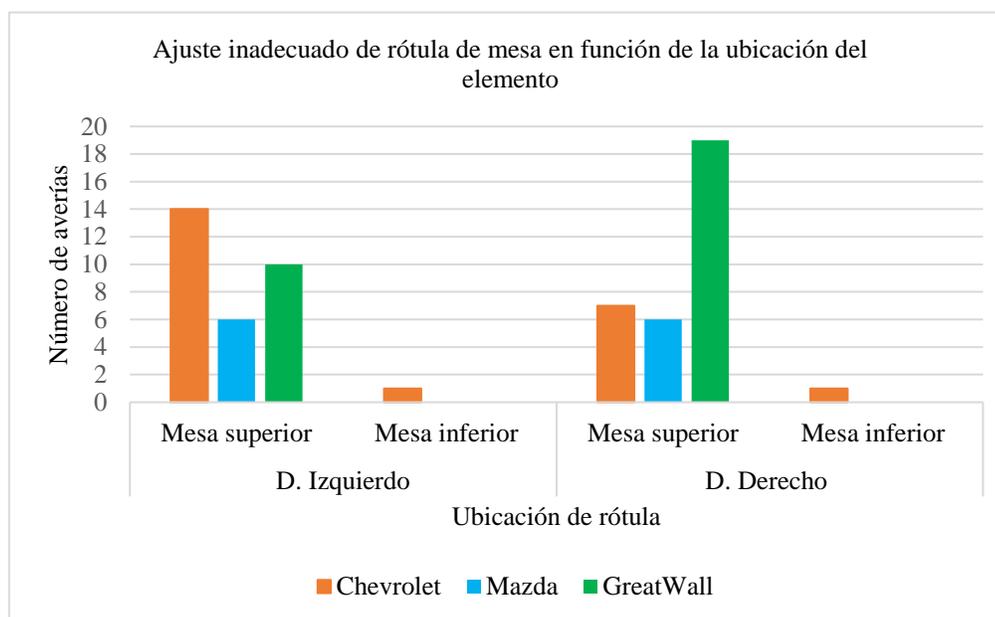
(Autoría Propia)

Iniciando con el vehículo Chevrolet Luv D-Max, para su análisis, en la gráfica 70 se puede deducir que a partir de los 100.000km empieza a aparecer averías en este componente. Su punto

máximo de averías se denota entre los rangos 200.000 a 250.000 km con 4 averías, es decir la rótula de mesa trabaja hasta los rangos mencionados, después de ello, se visualiza una reducción.

Con respecto a Mazda, en la gráfica 70 se muestra que el punto máximo de averías se da en el rango 150.000 a 200.000 km con 3 daños en la rótula, y después se reduce hasta quedar en 2 averías, esto se interpreta que la durabilidad del elemento llega a su límite en el rango 150.000 a 200.000 km.

Finalmente, Great Wall, en la gráfica 70 se observa que, el número máximo de averías es 8 con un rango de 150.000 a 200.000 km, por lo que sus averías son significativas con respecto a las otras marcas, este fenómeno puede ser debido a la calidad de materiales que se ocupa para realizar el componente, sin embargo, después del punto máximo existe una reducción abrupta de las averías a causa del cambio del componente.



**Figura 71** Avería de rótulas de mesas por ubicación

(Autoría Propia)

En la gráfica 71, se puede deducir que, en las 3 camionetas analizadas, presentan averías en la mesa superior con un total de 62, muy diferente a la mesa inferior que solo presenta 2. Esto se puede explicar porque las rótulas de mesa superior están expuestas a fuerzas laterales y torsionales al momento de manejar un vehículo. Así como también, factores que influyen en el desgaste son su tamaño y diseño. Siguiendo con el análisis, con respecto a la Chevrolet Luv D-

Max y GreatWall Wingle, se observa que posee más averías en un lado específico, en ambos casos llegando al doble, las causas de este fenómeno son debido al estado de las vías como baches o huecos, en donde se produce más impactos y vibraciones en la rótula, especialmente si existe curvas cerradas y frenados bruscos. Ahora bien, Mazda BT-50, posee una equidad en ambos lados con 6 averías, esto es debido a que Mazda tiene una distribución equilibrada de peso y diseño de suspensión para ambos lados, esto generalmente ayuda que las cargas durante la conducción, frenado y curvas sea más uniforme, al igual que la buena geometría optimizada en el sistema, es decir, el buen diseño que posee reduciendo cargas laterales como verticales que actúan en las rótulas.

### 3.2.2 Buje de caucho deteriorado o inexistente de mesa

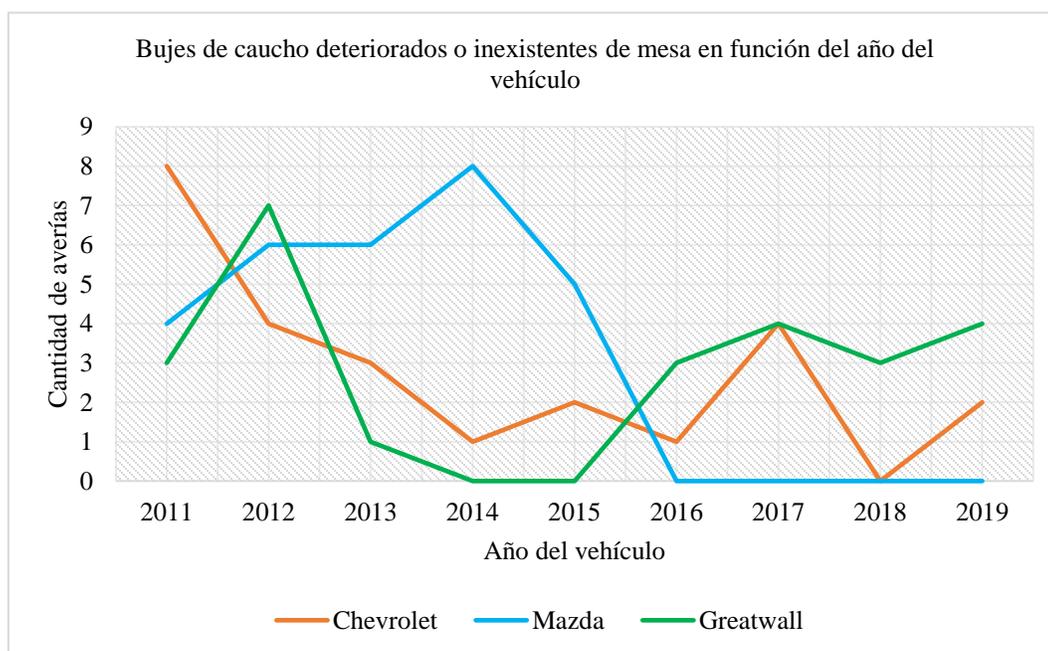
Los bujes de caucho de mesa de suspensión ayudan a conectar partes del sistema de suspensión con el chasis de la camioneta, permitiendo absorber las vibraciones e impactos provenientes de las ruedas al momento de pasar por caminos irregulares. El buje al estar hecho de un material flexible como es el caucho, su comportamiento es como un amortiguador, por lo cual reduce las oscilaciones producidas hacia el interior del vehículo. Para asegurar dicho objetivo, de igual manera que la rótula, existe bujes de caucho de mesa superior e inferior, dando un total de 4 bujes en el eje delantero, 2 de mesa superior y 2 de mesa inferior. A continuación, en la tabla 16, se ha tomado en cuenta la contabilización de la avería de buje de caucho deteriorado o inexistente de mesa en las camionetas seleccionadas.

**Tabla 16** Número total de averías en buje de caucho

	<b>Número de averías en vehículos Chevrolet Luv D-Max</b>	<b>Número de averías en vehículos Mazda BT-50</b>	<b>Número de averías en vehículos GreatWall Wingle</b>
Bujes de caucho deteriorados o inexistentes de mesa	25	29	25

**Fuente:** (Autoría propia)

Tras la contabilización adecuada sobre las averías producidas en los bujes de caucho de mesa, se ha visto que los 3 tiene el mismo rango de fallas, es más existe un empate entre la Chevrolet Luv D-Max y la GreatWall Wingle, de los 100 vehículos seleccionados por cada marca, 25 de ellos producen averías en los bujes de mesa, mientras que de los 100 camionetas seleccionadas en la Mazda BT-50, 29 poseen fallas dándola como a primera vista la que produce más fallas, sin embargo, para entrar en un detalle más profundo y poder asegurar las datos obtenidos, se debe tomar en cuenta los parámetros propuestos. Por lo tanto, en la tabla 16 a simple vista se asegura que Chevrolet y GreatWall tiene una mayor importancia en los bujes, quizás por la calidad de materiales que ocupen, aunque no los coloca como los mejores, por ese motivo se debe tomar en cuenta y analizar dichos factores.



**Figura 72** Avería de bujes de caucho de mesas por año del vehículo

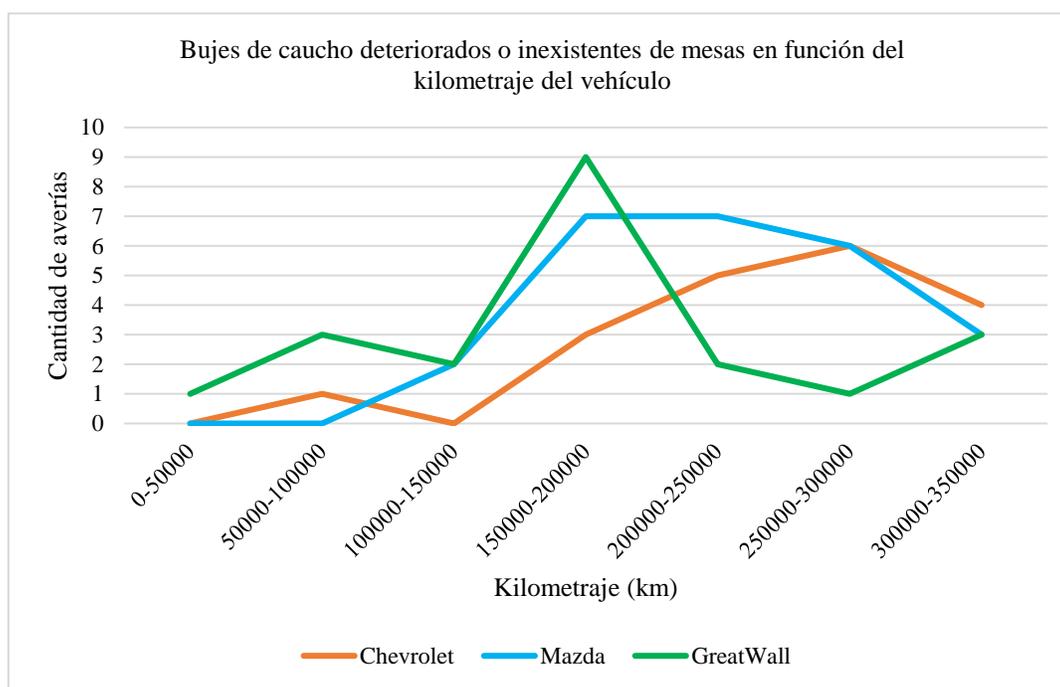
(Autoría Propia)

Una de las variables a analizar es el año del vehículo, un aspecto muy importante tomado desde el año 2011 hasta 2019 en las 3 camionetas seleccionadas. Iniciando con el vehículo Chevrolet Luv D-Max, para su análisis, se muestra en la gráfica 72 un punto crítico para el año 2017, en donde hay un pico de 4 averías, en años anteriores es entendible que suceda este problema debido a que los bujes son muy antiguos, sin embargo el 2017, no es un año tan lejano, no

obstante, la explicación de este problema se basa a dos factores como son la calidad del caucho y material de fabricación del buje.

Con respecto a la Mazda, para su análisis, se muestra que a partir del año 2011 a 2014, hay un incremento en el número de averías, sin embargo es normal y lógico, ya que los bujes cumplen un ciclo de vida y deben ser reemplazados con el pasar del tiempo. Después del año 2014, existe una reducción de avería crucial hasta llegar a cero, lo que genera una confianza para los usuarios al seleccionar esta marca y garantía de uso del vehículo a diferentes condiciones.

Finalmente, GreatWall, en la gráfica 72 se observa que para el año 2017, surge un pico considerable de 4 averías, las mismas que se repiten dos años después, esta afirmación puede ser debido a la calidad del caucho en bujes, ya que, si se coloca bujes de mala calidad, el usuario al caer a desperfectos del terreno tiende a desgastarse prematuramente. Este hecho trae incógnitas en el funcionamiento de este elemento del sistema de suspensión para años posteriores.



**Figura 73** Averías de bujes de caucho de mesas por kilometraje del vehículo

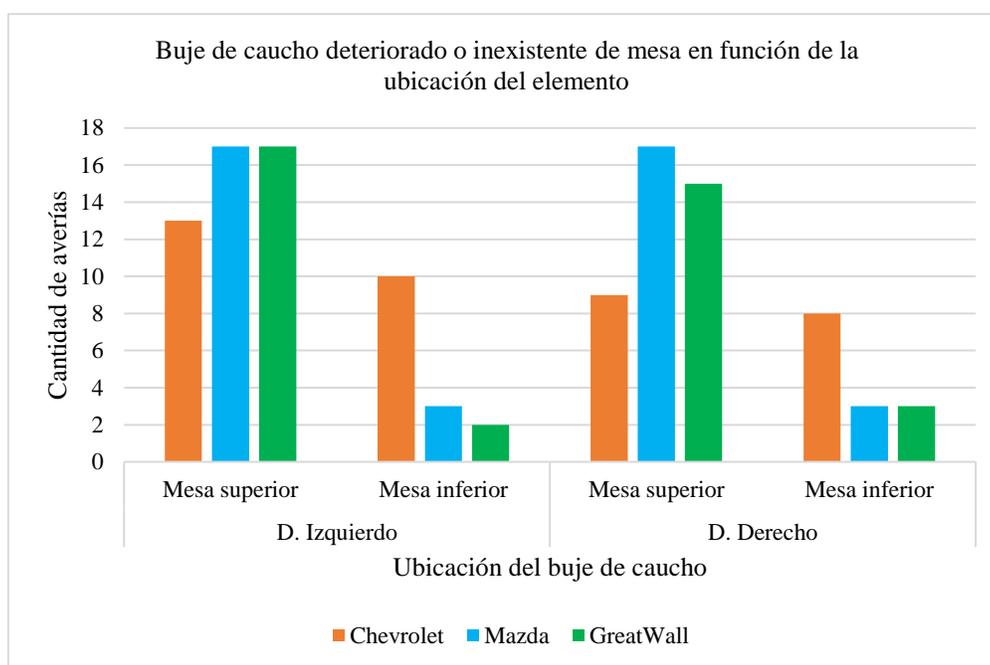
(Autoría Propia)

Iniciando con la camioneta Chevrolet Luv D-Max, en la gráfica 73 se observa que a partir de los 250.000 a 300.000 km recorridos en el vehículo, existe un punto máximo de 6 averías y

posteriormente tienda a reducir, en consecuencia, se puede afirmar que los bujes de mesa cumplen su ciclo de vida hasta el rango mencionado, después se reducen, ya sea porque el usuario ha sido advertido y procede a cambiar o la camioneta no ha sido forzada por terrenos irregulares y su durabilidad aumenta.

Con respecto a Mazda, en la gráfica 73 se muestra que al llegar al rango de los 150.000 a 200.000 km el punto más alto de averías con 7, por lo cual con dicha afirmación se puede asegurar que los bujes de mesa de Mazda duran entre los rangos de 150.000 a 200.000km, ya que es donde más vehículos tienden a fallar, después de este rango, tienden a reducir debido a que el usuario es avisado del suceso.

Finalmente, la Great Wall, como se muestra en la gráfica 73, su punto máximo es de 9 fallas en los rangos de 150.000 a 200.000 km, por ende, se asegura que hasta dicho rango su durabilidad es acertada, a partir de ello se toma la misma temática analizada anteriormente.



**Figura 74** Avería de bujes de caucho de mesas por ubicación

(Autoría Propia)

Analizar los defectos de bujes mediante su ubicación es muy importante, ya que genera un patrón de desgaste, ya sea en el lado izquierdo o derecho, y con dicho patrón se puede deducir

una adecuada interpretación de datos, como se muestra en la figura 74, tanto en el lado izquierdo como derecho, hay una interpretación lógica, la mesa superior es aquella que más defectos tiene en las 3 marcas de vehículos estudiadas, mientras que la mesa inferior no muestra ese ritmo. Para entender este fenómeno se debe tomar en cuenta dos factores importantes que son: la dinámica de la suspensión y las cargas que soportan. Las camionetas Chevrolet Luv D-Max y GreatWall Wingle tienen la similitud de poseer más averías en la mesa superior que la inferior, así como también tratar que el desgaste del elemento sea equilibrado en ambos lados, cosa que no cumplen por lo mínimo. No obstante, el motivo de desgaste puede tener varias condiciones, la principal son los baches, parches e imperfecciones de la carretera que posee la ciudad de Ibarra, así como también la topografía y desniveles en las carreteras de la ciudad, en pendientes ascendentes o descendentes, y curvas cerradas, la mesa superior es aquella que soporta mayor esfuerzo y tensión generando un desgaste exhaustivo en los bujes.

Por otro lado, Mazda BT-50, tiene un perfecto equilibrio tanto en la mesa superior del lado izquierdo como el derecho con 17 averías en sus bujes, mientras que en la mesa inferior de ambos lados poseen 3 averías, el dato más relevante se da en la mesa superior, por lo que su explicación se basa en que Mazda posee una suspensión equilibrada, ya que su diseño es hecho para soportar cargas pesadas y mantener un buen manejo en condiciones irregulares de la carretera.

### 3.2.3 Ajuste inadecuado de ojo de ballesta

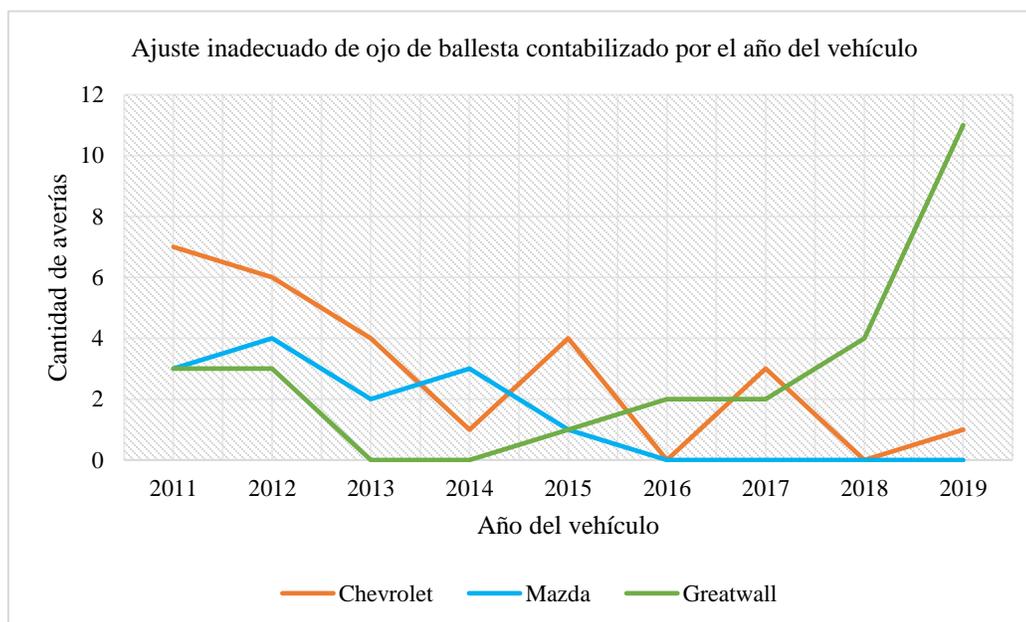
El buje de ojo de ballesta es un elemento que permite absorber los golpes de las irregularidades del camino y no tener contacto entre la carrocería para que no exista fricción entre metal a metal, para que no cause roturas o deformaciones.

**Tabla 14** Número total de averías en ojo de ballesta

	Número de averías en vehículos Chevrolet Luv D-Max	Número de averías en vehículos Mazda BT- 50	Número de averías en vehículos GreatWall Wingle
Ajuste inadecuado de ojo de ballesta	28	13	26

**Fuente:** (Autoría propia)

En la tabla 14 se indica la cantidad de fallas de averías en ojo de ballesta tomado en cuenta 100 vehículos por cada marca, Chevrolet tiene mayor cantidad de las averías en este aspecto, esto puede estar implicado la calidad y el diseño de componente, seguidamente la GreatWall tiene un número alto de averías de este tipo al igual que Chevrolet, finalmente la Mazda con bajas averías podría ser la más confiable en este tipo de averías por su calidad de materiales utilizados en sus componentes

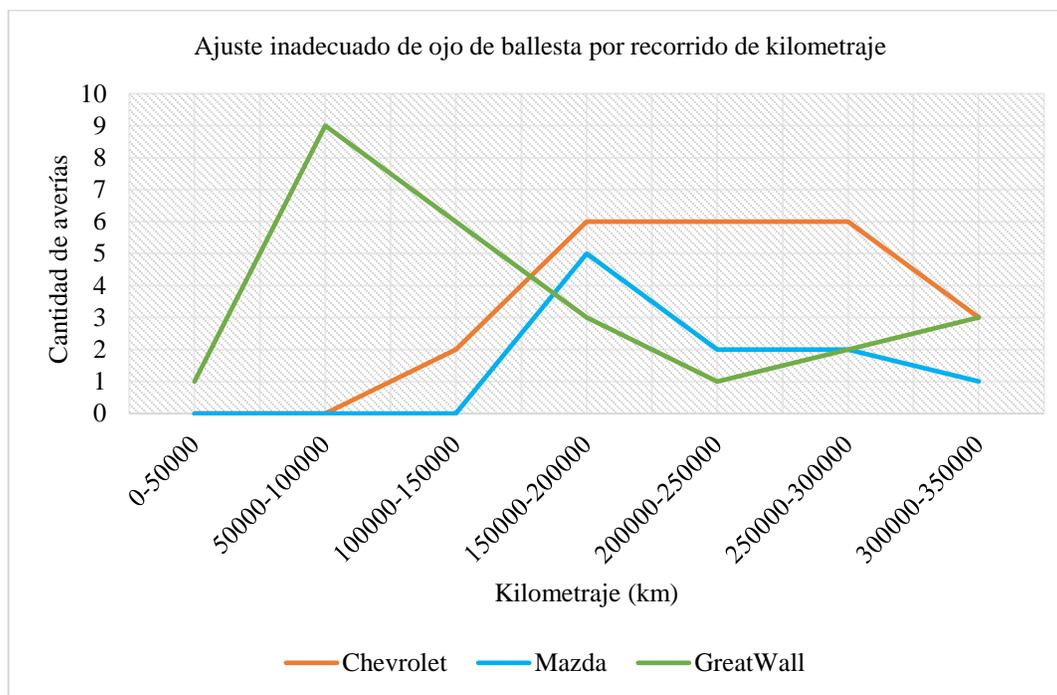


**Figura 66** Avería de ojo de ballestas por año del vehículo

(Autoría Propia)

Como se aprecia en la figura 66, sobre el inadecuado ajuste de ojo de ballesta de acuerdo con el año de fabricación, se puede observar puntos no muy críticos en la camioneta Chevrolet, ya que en el 2011 se muestra una cantidad alta de 7 averías, esto es comprensible debido a que son camionetas antiguas, pero estas disminuyen ya en los siguientes años como podemos observar en el año 2016 en adelante cuentan con 2 averías. Mazda, por su parte, desde el periodo 2011-2015 tiene las mayores cantidades de averías con un máx. de 4 averías en las camionetas más antiguas, pero no han presentado fallas a partir del 2016 manteniendo esta con 0 averías, esto podrían deberse a una gran calidad en materiales como en componentes. GreatWall, tiene puntos muy críticos debido a que tiene mayor cantidad de averías en las camionetas más actuales que

son desde el año 2018-2019 con un total de 11 averías, esto podría ser por la calidad de los componentes teniendo en cuenta que son de procedencia china o tenga un mal mantenimiento.

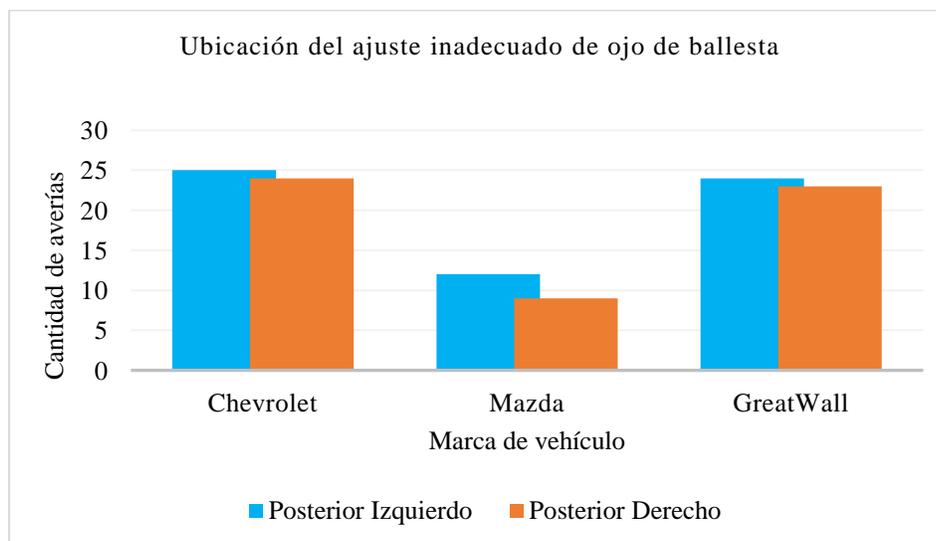


**Figura 67** Avería de ojo de ballestas por kilometraje del vehículo

(Autoría Propia)

En la figura 67, se observa la cantidad de vehículos que tienen fallas en el ojo de ballesta a lo largo del kilometraje recorrido, se puede observar en la camioneta Chevrolet que las fallas comienza en el punto de 150000 km con un mínimo de 1 avería hasta llegar al punto crítico que son en los 200000 km con una cantidad de 6 averías manteniéndose estable, esto se debe a que tiene un mejor mantenimiento en este punto de avería, causando que las fallas se mantengan estables. Mazda podemos notar que su punto más crítico es en los 200000 km con cantidad de 5 averías, no obstante, disminuye ya sea por un buen mantenimiento preventivo o los materiales de los componentes son muy duraderos. GreatWall tiene mayores averías en un temprano kilometraje que son en los 100000 km con 9 averías en esta, pero luego tiene una disminución bastante considerable, esto sugiera que las camionetas fueron reparadas o tal vez el componente fue cambiado. Podemos considera que las camionetas Chevrolet y Mazda son las que tiene ocurren fallas ya aun largo kilometraje, pero GreatWall tiene fallas más temprano kilometraje,

pero considerando que es una camioneta china está muy bien el fallo del componente en el ojo de ballesta a los 100000 km.



**Figura 68** Avería de ojo de ballestas por ubicación

(Autoría Propia)

En la figura 68, muestra la cantidad de vehículos que presenta fallas en el ojo de ballesta dependiendo su ubicación, se observa que la camioneta Chevrolet tiende fallar casi por igual en los dos lados, llegando un máximo de 25 en la parte izquierda y 23 en parte derecha, la diferencia no es está notable, esto se debe a que la distribución de peso no es igual, causando daños en la parte izquierda. Mazda tiende fallar también en la parte izquierda con máximo de 12 y en la derecha 9, al igual que la camioneta Chevrolet es causa de la distribución de peso o exceso de carga en ella. Por otro lado, GreatWall muestra un problema más generalizado en ambos lados con un total de 25 en el lado izquierdo y en la parte derecha con 24, esto podría deberse a un problema de diseño o un mal ensamble de estas.

#### 3.2.4 Hojas de ballestas desalineadas, rotas o soldadas

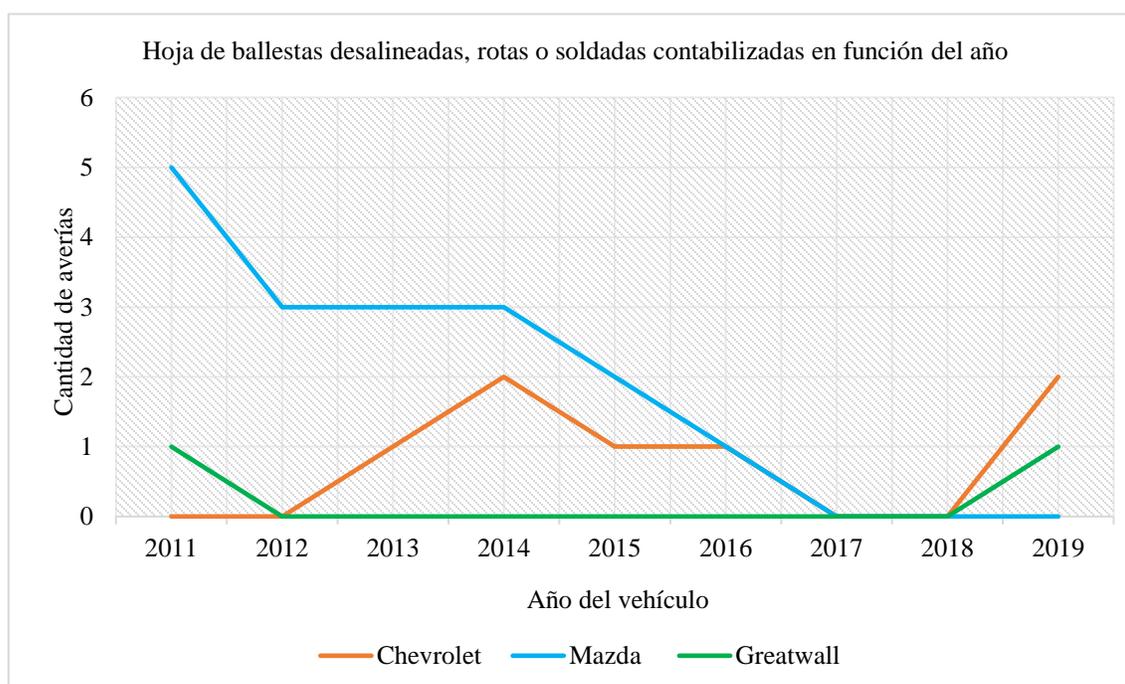
Las hojas de ballesta es un elemento acero curvadas en capas que permite soportar el peso del vehículo y amortiguar las irregularidades del camino, esto permite el manejo más estable en terrenos difíciles.

**Tabla 17** Número total de averías en hojas de ballesta

	<b>Número de averías en vehículos Chevrolet Luv D-Max</b>	<b>Número de averías en vehículos Mazda BT-50</b>	<b>Número de averías en vehículos GreatWall Wingle</b>
Hoja de ballestas desalineadas, rotas o soldadas	7	17	2

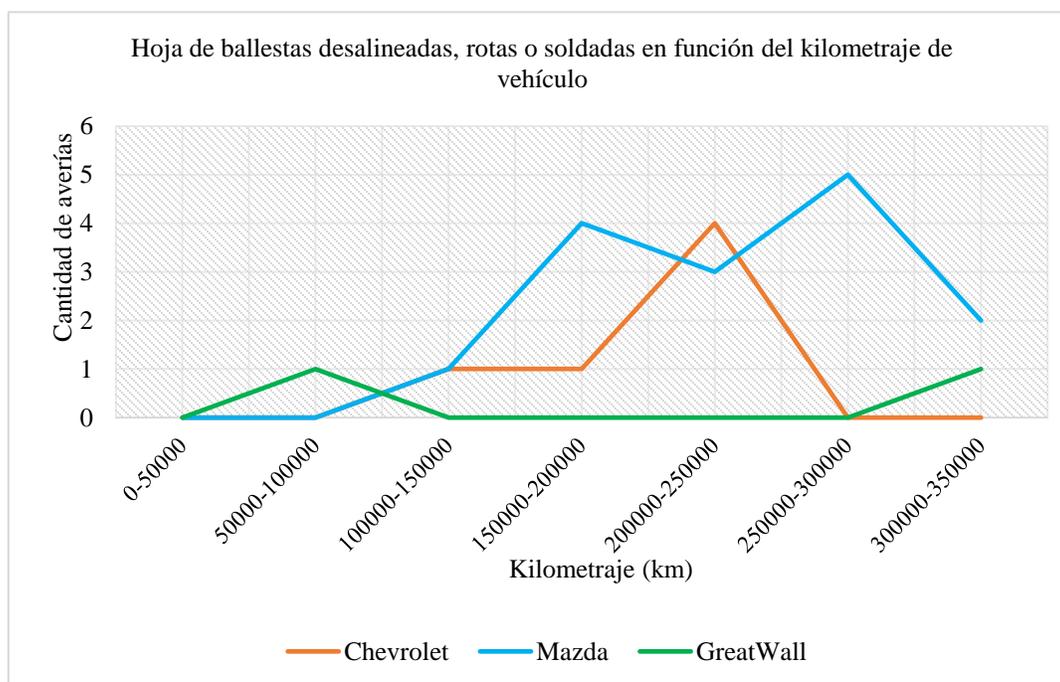
**Fuente:** (Autoría propia)

En la tabla 17, se puede apreciar la cantidad total de hoja de ballestas desalineadas, rotas o soldadas por cada 100 vehículos tomados. Mazda BT-50 es la que mayor cantidad de averías tiene en este aspecto, la cual presenta una deficiencia notable en la durabilidad o calidad de estas mismas, a comparación de las otras marcas. Mientras que la Chevrolet Luv D-Max y GreatWall Wingle tiene bajas averías lo que permite una fiabilidad en este aspecto, no obstante, es posible que se deba a que las camionetas fueron reparadas sus hojas o estas mismas fueron cambiadas lo cual analizarse dependiendo sus años y también su kilometraje.

**Figura 75** Avería de hojas de ballesta por año del vehículo

(Autoría Propia)

En la figura 75, se puede apreciar la cantidad de vehículos que tiene fallas en las hojas de ballesta por el año de su fabricación. En la camioneta Chevrolet podemos ver que fallan en las camionetas 2011 esto es debido a que estas deben estar reparadas o el componente cambiado, llegando así a sus 2 punto crítico que son 2 averías en el 2014 y la otra que son 2 en 2019, esta última puede ser que la camioneta tiene un uso muy constante por caminos irregulares teniendo así daños en esta camioneta más actual. Mazda podemos ver que la mayoría de las averías son entre 2011-2016 con una cantidad máxima de 5 fallas, es considerable ya que es estas camionetas tiene un largo recorrido, mientras que no existe fallas a partir del 2017 tomando en cuenta que se debe a que sus componentes mejoraron en los últimos años. GreatWall la falla más notable es la falla que ocurre en la del 2019 con una cantidad de 1, lo que es muy bajo esto puede ser debido que no tenga muchas fallas debido a que tiene un buen plan de mantenimiento o la pieza fue remplazada por una nueva.

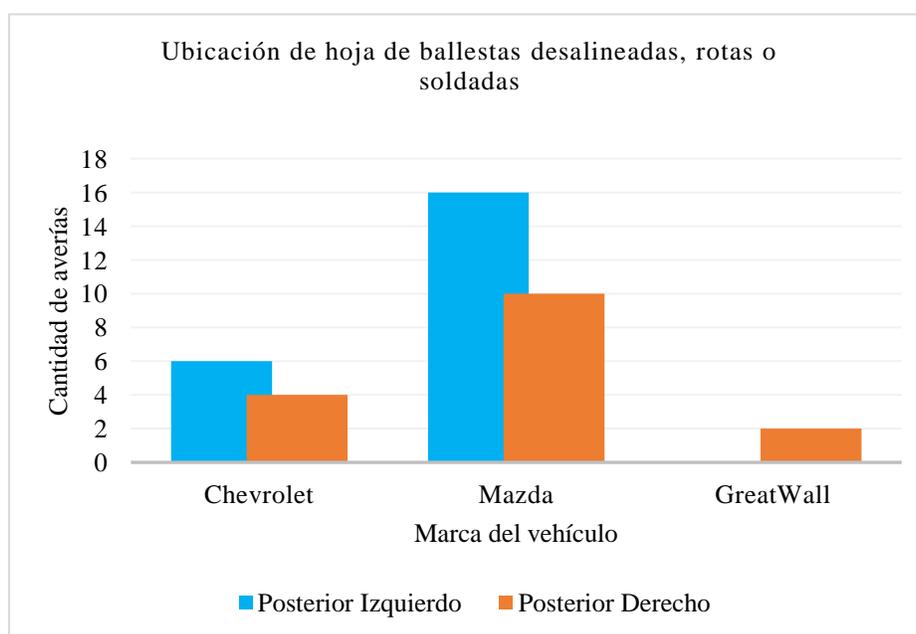


**Figura 76** Avería de hojas de ballesta por kilometraje del vehículo

(Autoría Propia)

En la figura 76, se observa la cantidad de vehículos que tienen fallas en las ballestas a lo largo del kilometraje recorrido, las camionetas Chevrolet el punto crítico tiende desde los 200000-250000 km con una cantidad 4 averías, esto es debido que tiene un largo kilometraje en las

ballestas y es muy normal que presente fallas en estas, porque podemos decir que este componente esta hecha de un buen material. Mazda podemos observar que tiene un rango donde las ballestas fallan desde los 200000-300000 km con una cantidad máxima de 5 averías, esto quiere decir las ballestas tiene más uso de vida útil que la otra marca o estas misma tienen un mantenimiento preventivo muy bueno. GreatWall podemos notar que no tiene muchas averías, el punto más crítico es la a los 100000 km con una cantidad de 1 avería, no podemos decir que son las que menos fallas, teniendo en cuenta que es de origen chino, podemos notar que después de dicho punto de kilometraje estas se encuentran ya reparadas o cambiadas alguna hoja de ballestas.



**Figura 77** Avería de hojas de ballesta por ubicación

(Autoría Propia)

En la figura 77, muestra la cantidad de vehículos que presenta fallas en las ballestas dependiendo su ubicación, se observa que Chevrolet presenta menos casos, con 6 en el lado izquierdo y 3 en el derecho, sugiriendo un desgaste asimétrico posiblemente vinculado a la distribución de la carga. Mazda presenta la mayor cantidad de averías, con 17 casos en el lado posterior izquierdo y 10 en el lado derecho, lo que podría indicar un mayor desgaste relacionado con el diseño o el tipo de uso de las unidades. GreatWall, por su parte, tiene la menor cantidad de daños, con solo

2 casos en el lado derecho, lo que podría indicar una mayor robustez en la construcción de su suspensión.

### 3.2.5 Manoplas, grilletes o gemelos en mal estado o cóncavas

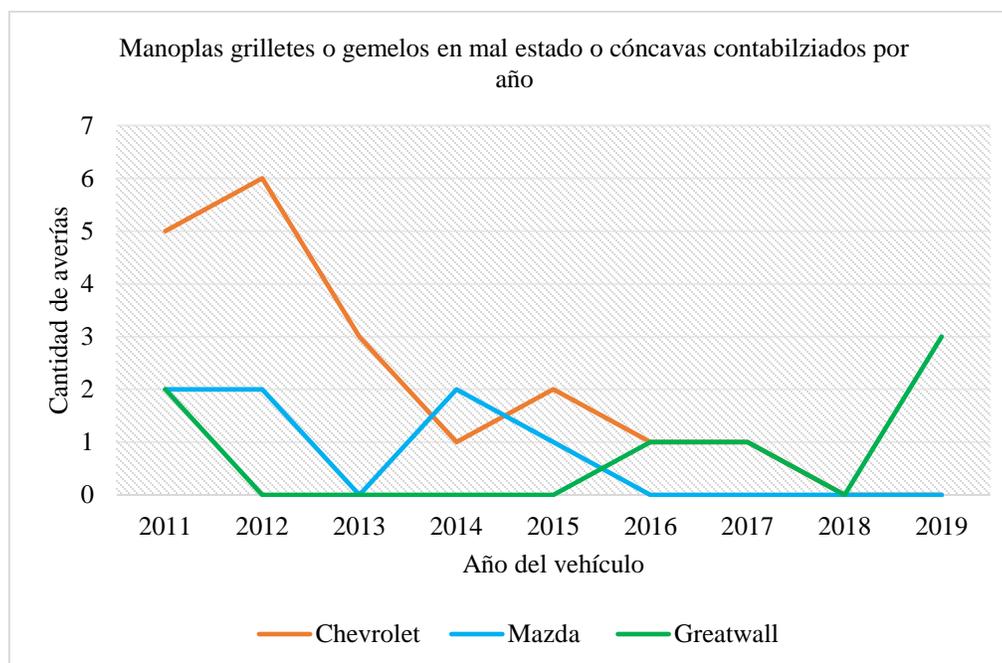
La manoplas o gemelos tienen la funcionalidad de permitir el movimiento flexible de la suspensión al conectar las ballestas con el chasis, lo cual esta función ayuda a absorber impactos, compensar los cambios de longitudes de las ballestas y que se mantenga ajustados a la suspensión para tener estabilidad en el vehículo bajo carga altas o terrenos irregulares.

**Tabla 18** Número total de averías en manoplas

	<b>Número de averías en vehículos Chevrolet Luv D-Max</b>	<b>Número de averías en vehículos Mazda BT-50</b>	<b>Número de averías en vehículos GreatWall Wingle</b>
Manoplas grilletes o gemelos en mal estado o cóncavas	19	7	7

**Fuente:** (Autoría propia)

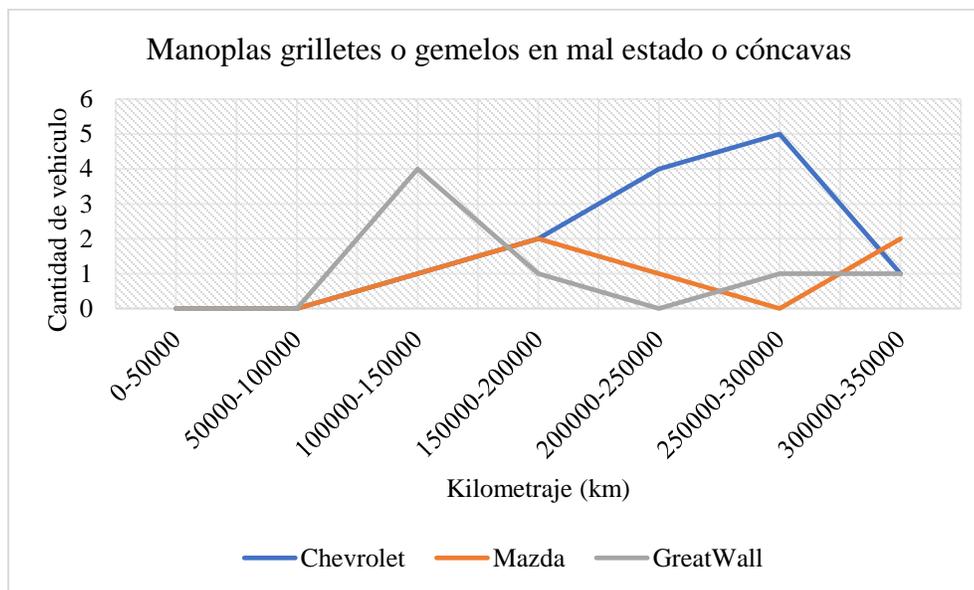
En la tabla 18, se muestra la cantidad total de las averías de manoplas grilletes o gemelos en mal estado o cóncavas, de los 100 vehículos tomados por marca, la camioneta Chevrolet Luv Dmax lidera con 19 fallas en manoplas, lo cual podría estar relacionado con el mal mantenimiento, durabilidad del componente o el diseño de la misma, mientras que las camionetas Mazda BT-50 presentan solo 7 fallas, esto podría explicar una mejor calidad en los componentes o un buen manteniendo de estas, por último, la camioneta GreatWall Wingle tiene la misma cantidad que la Mazda, es importante destacar que la marca GreatWall es de origen chino, lo cual podría tener implicaciones en tanto a calidad como a fiabilidad.



**Figura 78** Avería de manoplas por año del vehículo

(Autoría Propia)

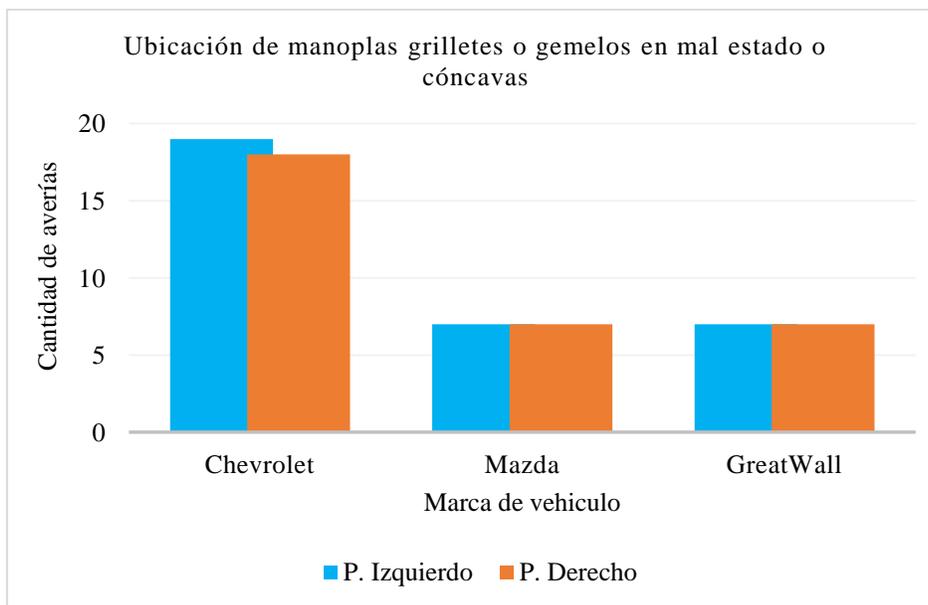
En la figura 78, a cerca del mal estado en las manoplas, grilletes o gemelos contabilizado por año, por lo que se muestra que la Chevrolet cuenta con una gran cantidad de averías en el periodo 2011-2012 con un máx. de 6 fallas, cabe recalcar que las averías en este año se dan por que tiene un largo kilometraje por ende tienden a fallar, teniendo así una disminución en el transcurso de los años llegando a no tener fallas en las camionetas actuales. Mazda se puede notar que en el periodo 2011-2015 con un máx. de 2 fallas, se debe a que no tienen un buen mantenimiento, la tendencia baja en el próximo año siendo con 0 de averías esto se debe a que la calidad mejoro y no se encuentra fallas. GreatWall tienen más fallas en los años actuales llegado a tener 3 averías en el año 2019, esto es muy preocupante, ya que esto podría tener una consecuencia en los demás componentes a futuro causado daños como en las ballestas entre otros.



**Figura 79** Avería de manoplas por kilometraje del vehículo

(Autoría Propia)

En la figura 79, tenemos el daño de averías dependiendo el kilometraje en las manoplas grilletes o gemelos en mal estado, podemos observar un punto máx. en los 300000 km en Chevrolet con un máx. de 5 averías, esto se debe a que el componente tiene un buen mantenimiento y una excelente calidad en el componente, siendo así que la manopla logre llegar a este largo kilometraje. Mazda tiene muy bajas averías en este aspecto llegando tener a los 200000 km con un total de 2 averías, podría deberse a una falla de fabricación, esto podemos confirmar que las siguientes fallas tienden a dañarse a los 350000 km teniendo igual con un máx. de 2 averías por lo que es normal que tengan fallas en este punto. GreatWall Wingle su punto máx. es a los 150000 km llegando a las 4 averías, se debe a que el componente es de mala calidad o tiene un mal diseño, pero teniendo en cuenta al precio de estas camionetas a comparación de las otras marcas, está bien que falle a tal kilometraje.



**Figura 80** Avería de manoplas por ubicación

(Autoría Propia)

En la figura 80, muestra la cantidad de vehículos que presenta fallas en la manoplas, grilletes o gemelos dependiendo su ubicación, se observa que Chevrolet presenta una mayor cantidad de casos, con 18 en el lado izquierdo y 17 en el derecho, sugiriendo independientemente del lado, que esta tiene mayor desgaste o problemas de fabricación en estos componentes. Mazda presenta de forma más equilibrada entre ambos lados, con alrededor de 6 averías en cada lado, esta menor incidencia está relacionada con una excelente calidad de componente. GreatWall presenta alrededor de 6 averías en cada lado, al igual que Mazda, esto podría deberse a factores similares entre ambas marcas, aunque la calidad podría no ser tan robusta como otros aspectos.

### 3.2.6 Averías minoritarias en el sistema de suspensión

Cuando se mostró la tabla principal de averías encontradas en el sistema de suspensión, se denotó las principales fallas y se las representó mediante gráficas para un análisis completo con respecto a las 3 variables que se tomó en cuenta para esta investigación. Sin embargo, de los 100 vehículos analizados, un gran porcentaje de ellos muestran un gran número de averías en elementos que se dañan recurrentemente, por otro lado, existen fallas que no son tan elevadas en su número, por lo que a continuación en la tabla 19, se muestra la contabilización de las pocas averías en cada marca y el análisis de cada avería.

**Tabla 19** Averías con poca frecuencia en el sistema de suspensión

Descripción de averías encontradas en el sistema de suspensión en vehículos	Número de averías en Chevrolet Luv D-Max	Número de averías en Mazda BT-50	Número de averías en GreatWall Wingle
Ajuste inadecuado en perno guía en conjunto ballestas y abrazaderas	2	1	1
Barra estabilizadora con fisuras o deformaciones	1	2	2
Buje de caucho de amortiguadores en mal estado	6	1	0
Mesas o platos de suspensión con fisuras o deformaciones	0	1	0
Fugas de fluidos en amortiguadores	2	0	1
Fijaciones y/o anclajes de barras estabilizadoras deteriorado	0	2	0

**Fuente:** (Autoría propia)

Como se muestra en la tabla 19, el número más elevado de averías en el sistema de suspensión no sobrepasa de 6, por lo que son fallas que no ocurren con tanta frecuencia en una camioneta de carga liviana N1. Por tanto, la avería a tomar en cuenta son los bujes de caucho de amortiguadores, los cuales principalmente ayudan a mantener los amortiguadores en su lugar y permiten un movimiento adecuado de la suspensión, en la tabla x, destaca con 6 fallas en la camioneta Chevrolet Luv D-Max, mientras que Mazda posee 1 y GreatWall no posee fallas en este elemento, sin embargo, se muestra un alto número en Chevrolet y una cierta preocupación, no obstante, esta afirmación puede ser que estos 6 vehículos fueron expuestos drásticamente en condiciones forzosas tanto en carga como en suelos irregulares, lo cual estresan al buje de los amortiguadores. Mientras los otros, quizás no fueron tan expuestos a sobrecarga

## CAPITULO 4

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- La eficiencia de los amortiguadores de los 300 vehículos analizados determino que más del 60% de estos tienen en un excelente estado el amortiguador en los 3 modelos de camionetas, mientras que solo el 3% tiene una condición bastante preocupante debido a que este no cumple con su función adecuada. Esto sugiere que la mayoría de los propietarios de las camionetas se preocupan de este mismo, lo que refleja una atención al mantenimiento preventivo en el amortiguador.
- En los componentes del sistema de suspensión posterior, de los 300 vehículos analizados, se determinó que el 42% presenta averías en el sistema de ballestas en la suspensión posterior, la falla más recurrente corresponde al ajuste de ojo de ballesta, que afecta al 22% de las unidades. Le siguen las fallas en las manoplas, presente en el 11% de las unidades y las hojas de ballestas, en el 9 %. Estas fallas se atribuyen principalmente a las irregularidades que tiene los caminos donde transitan los vehículos.
- En cuanto a la marca de la camioneta, podemos decir que Chevrolet Luv D-Max y Mazda BT-50 sus fallas son en modelos anteriores a partir de las del 2013. En cambio, GreatWall Wingle tiene más fallas en las camionetas más recientes a partir del 2019 y con un menor kilometraje, generalmente antes de alcanzar los 100 000 km.
- Se concluye que un 44% de averías en el sistema de suspensión, se genera en la parte anterior del vehículo, específicamente en rótulas de mesa y bujes de caucho. Con respecto a estas dos averías, se dedujo que Mazda BT-50 es la camioneta y modelo que presenta una mejor condición generando una mayor estabilidad y equilibrio en sus componentes con un 52.5% al momento de su desgaste. En cuanto a Chevrolet Luv D-Max, sobresale con un 27,5% en kilometraje, pero con desequilibrio en la ubicación de los elementos. Finalmente, Great Wall obtiene un 20% de preferencia, presentando dificultades en factores como año y kilometraje.
- Tras analizar las averías producidas en la parte anterior y posterior de las camionetas, se detectó que un 14% de fallas son poco frecuentes en vehículos de carga liviana,

sobresaliendo los bujes de caucho de amortiguadores, con una frecuencia mayor en Chevrolet Luv D-Max, poco probable en Mazda BT-50 y nulo en GreatWall Wingle

- En resumen, el análisis de la averías mecánicas y eficacia se llegó a determinar que el sistema de suspensión más duradero. La camioneta Mazda BT-50, se encuentra en primer lugar debió a que sus componentes tienden dañarse después de los 250.000 km, lo que atribuye a una alta calidad en las materias. La Chevrolet Luv D-Max ocupa el segundo lugar en durabilidad con un promedio de 200.000 km antes de presentar fallas significativas en sus componentes. Finalmente, la camioneta GreatWall Wingle muestra un desempeño inferior, debido a que sus componentes tienden a fallar antes de alcanzar a los 100.000 km, esto puede estar relacionada a precio-calidad, dado que es una opción más económica en el mercado.

## 4.2 Recomendaciones

- Dar a conocer a los propietarios de cómo mejorar la calidad de eficacia en los amortiguadores, en el caso de que un solo uno de estos mismos estos daños, se recomienda cambiar los dos amortiguadores del mismo eje, ya que esto asegura un rendimiento equilibrado y evitar que el nuevo amortiguador se desgaste prematuramente.
- Para reducir los porcentajes de averías mecánicas en el sistema de suspensión, es necesario utilizar un plan de mantenimiento preventivo que advierta al usuario los próximos cambios de los elementos que contiene el sistema.
- Utilizar un banco de prueba de amortiguador que ayude a verificar el estado óptimo más preciso de este componente, ya que con ello al momento de realizar la programación se notará un porcentaje de mejora al utilizar los datos brindados por dicha máquina.
- Se recomienda realizar un estudio que abarque los diferentes sistemas automotrices que pasan la revisión técnica vehicular, y no solo del sistema de suspensión. Esto permitirá tener un enfoque del estado que se encuentra en su totalidad el automóvil, dando más detalle de los daños o fallas que tiene los vehículos que circulan por la ciudad de Ibarra.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Águeda, E., García, J. L., Gómez, T., Gonzalo, J., & Navarro, J. (2006). Elementos Amovibles (C. De la Fuente, C. García, & O. Vicente, Eds.; 3era ed.).
2. Alamo, V. (2016). Modelación y control de un sistema de suspensión semiactiva con amortiguador magnetorreológico. Universidad de Piura.
3. Ambacar. (2020). Great Wall Motors-Historia. <https://www.ambacar.ec/ambacar-historia/>
4. Arbeláez, J., & Marín, P. (2007). Modelado multicuerpo de un cuarto de vehículo liviano, utilizando el software visualnastran para ser evaluado, bajo los criterios de la norma EuSAMA en cuanto a la adhesión.
5. Arias Paz, M. (2006). Manual de Automóviles (56a ed.).
6. Arteaga, E. G., & Álvarez, D. E. (2016). Guía para la sustitución de suspensión de ballestas por neumática en vehículos de carga liviana. Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología.
7. Castellanos, J. (2016). Práctica empresarial en centro de diagnóstico automotor puerta del sol revisión técnico-mecánica.
8. Cebolla, B. (2017). Modelado y caracterización de sistemas de suspensión en vehículos automóviles.
9. Chimbolema, E., & Molina, A. (2015). Adaptación de Suspensiones Independientes en las Cuatro Ruedas en un Toyota Land Cruiser. Universidad Técnica del Norte.
10. Coronel, D. (2010). Montaje y estudio de un amortiguador magneto-reológico en la suspensión de un vehículo automóvil.
11. Correa, K., & Flores, S. (2021). Estudio comparativo de las oscilaciones de trabajo de la suspensión en sistema uniball. Universidad Internacional del Ecuador.
12. Domínguez, E., & Ferrer, J. (2012). Circuitos de Fluidos. Suspensión y Dirección (Segunda Edición).
13. Duran, F. (2019). Diseño de un vehículo eléctrico para transporte de personas en condiciones de movilidad restringida temporal o permanente.

14. Ezeta, J. H., Mandow, A., & Cerezo, A. G. (2013). Los sistemas de suspensión activa y semiactiva: Una revisión. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 10(2), 121–132. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2013.03.002>
15. Gavilánez, C. (2016). Análisis e Importancia de Sistema de Suspensión de Vehículos Livianos Mediante Modelo Digital.
16. Gil Martínez, H. (2003). *Manual del Automóvil* (S. A. CULTURAL, Ed.).
17. Gorosabel, R. (2024, marzo 26). Siempre Auto. <https://siempreauto.com/que-son-los-bujes-de-suspension-y-como-cambiarlos/>
18. Great Wall Motors (GWM). (2023). Especificaciones técnicas de Wingle 5 y 7.
19. INEN. (2003). Revisión Técnica Vehicular. Procedimiento.
20. Jacome, W., & Villota, A. (2014). Simulación y Modificación del Sistema de Suspensión de un vehículo corsa WIND 1.4 para competencias de rally mediante software.
21. Legislación Consolidada BOE. (2017). Real Decreto 920/2017, de 23 de octubre, por el que se regula la inspección técnica de vehículos.
22. Losada, Á. (2018). Diseño de la Suspensión Trasera del Vehículo fórmula student eléctrico 2018. Universidad Politécnica de Madrid.
23. Lugo, H., & Cárdenas, L. (2008). Propuesta de Mejoramiento del Área de Ensamblaje basado en las herramientas de calidad. caso: “gm-omnibus bb Cia Ltda.”
24. Luna, B. A., & Vallejo, J. A. (2017). Diseño, Construcción e Implementación de un banco de pruebas para el análisis de amortiguadores y muelles del sistema de suspensión de un vehículo. Universidad Técnica del Norte.
25. Luque, P., Álvarez, D., & Vera, C. (2004). *Ingeniería del Automóvil: Sistemas y Comportamientos Dinámicos* (C. García & C. M, Eds.; Primera Edición).
26. Mantilla, D. (2014). Diseño Óptimo de Resortes Tipo Ballesta Para la Suspensión de un Vehículo Comercial Considerando las Condiciones Dinámicas.
27. Marcial, A., & Rosero, F. (2012). Análisis mediante elementos finitos del sistema de suspensión de un automóvil liviano. Escuela Politécnica Nacional.
28. Mazda Ecuador. (2020, enero). BT 50: Mística japonesa, prestaciones y experiencia. <https://blog.mazda.com.ec/bt-50-mistica-japonesa-prestaciones-y-experiencia>.

29. Monteros, W. O. (2018). Seguridad Activa del Sistema de Suspensión de las camionetas Chevrolet Luv D-Max de la Cooperativa San Pablo, en la parroquia San Pablo del Lago, del Cantón Otavalo. Universidad Central del Ecuador.
30. MOTORGIGA. (2024, mayo 13). Ficha Técnica Mazda BT-50 Sportive 2.5 TD DC (2010-2012). <https://motorgiga.com/mazda/bt-50/bt-50-sportive-25td-dc3/2007/precio-ficha-tecnica>.
31. Muñoz, F. (2012). Modelo directo no paramétrico de amortiguador magneto-reológico basado en redes neuronales.
32. Navarro Arcas, A., Velasco Sánchez, E., Sánchez Mateo, S., Paricio Caño, M. M., Sánchez Lozano, M., & Paricio Caño, M. (2012). Metodología experimental para determinar el coeficiente de amortiguamiento del sistema de suspensión de un vehículo. *Asociación Española de Ingeniería Mecánica*, 1–8.
33. Ordoñez, C. A. (2022). Pruebas Mecatrónicas en Frenómetro según Parámetros de Revisión Técnica Vehicular. Caso de Estudio Chevrolet Aveo Family.
34. Paucar, B., & Tacuri, L. (2014). Estudio de las condiciones que generan un desgaste anormal de los neumáticos radiales para vehículos pesados que impiden su reutilización como base para reencauche. Universidad Politécnica Salesiana.
35. Pérez Bello, M. Á. (2008). Circuitos de Fluidos, Suspensión y Dirección. ParaInfo.
36. Rondón, N., Torres, O., Niño, E., & Romero, J. (2012). Miller Manual de Reparación de Automóviles.
37. Ryme Worldwide SA. (2021). Catálogo Productos: Maquinaria de inspección técnica de vehículos.
38. Sangoquiza, E., & Lemache, W. (2021). Análisis del comportamiento del aire y del nitrógeno en neumáticos, y su incidencia en el desgaste por el cambio térmico al que están expuestos. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
39. Torres R., M. R. (1996). Mantenimiento Automotriz Urbanidad y Tránsito.
40. Tsymberov, A. (1996). An Improved Non-Intrusive Automotive Suspension Testing Apparatus with Means to Determine the Condition of the Dampers. En *Journal of Passenger Cars* (Vol. 105). <https://about.jstor.org/terms>
41. Velásquez, C., & Puyol, P. (2019). Análisis de las vibraciones generadas en la suspensión de vehículos comercializados en el Ecuador, mediante la utilización de

modelos matemáticos, para evitar el estrés músculo esquelético en el conductor. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

42. Vivas, J. (2019). Sistema de Suspensión de un vehículo solar tipo biplaza. Universidad Autónoma de Occidente.

## ANEXOS

### Anexo 1. Aceptación de oficio a cargo de la empresa MOVIDELNORT y REVIPLUS



Oficio No. EPM-ADRTV-2024-010-O  
Ibarra, 27 de mayo de 2024

Ing. David Bernal  
**GERENTE GENERAL**  
**REVIPLUS ECUADOR S.A.**



Recibido

Jorge Karlin  
27/05/2024

\$

De mi consideración:

En atención a nota inserta del Ab. Marcelo Morillo Gerente Técnico Vehicular: "trámite según su competencia" en memorando Nro. EPM-GTHU-2024-1479-M de fecha 23 de mayo de 2024, mismo que menciona:

"En atención al Documento No. OFICIO-NO-UTN-FICA-AU-2024-0012-O, suscrito por el Ing. Ignacio Benavides COORDINADOR CARRERA AU, en el que en su parte pertinente solicita "(...) la respectiva autorización para que los señores estudiantes: MORALES BASTIDAS LEONEL DAVID Y GARCÉS ANDRADE MICHAEL ALEXANDER, portadores de la cédula de ciudadanía N° 1003801055 y 1005094238 respectivamente, puedan obtener los datos de los ensayos: banco de suspensión (gráficas) y detector de holguras de los vehículos Chevrolet Luv Dmax y Mazda BT-50 de los últimos 3 meses realizados en la empresa REVIPLUS ECUADOR S.A. y poder continuar con el desarrollo del trabajo de titulación denominado "ANÁLISIS DE AVERÍAS MECÁNICAS EN EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DEL EJE POSTERIOR EN VEHÍCULOS DE CARGA LIVIANA (N1) (...)

Con este antecedentes, solicitamos se analice la factibilidad de brindar dicha información, y se remita la respuesta a esta dependencia para gestionar las acciones pertinentes."

En este sentido, me permito poner en su conocimiento lo requerido por parte del Ing. Ignacio Benavides COORDINADOR CARRERA AU y solicitar se analice la factibilidad de atender lo requerido con fines educativos de los estudiantes dentro del desarrollo de su trabajo de titulación.

Atentamente,



Mgtr. Wilson Novoa C.  
**ADMINISTRADOR DE CONTRATO EPM-REVIPLUS**



**Anexo 2. Autorización de Afirmación a cargo de la empresa MOVIDELNORT****Memorando Nro. EPM-GTHU-2024-1479-M****Ibarra, 23 de mayo de 2024**

**PARA:** Sr. Abg. Washington Marcelo Morillo Vinuesa  
**Gerente Técnico Vehicular**

**ASUNTO:** AUTORIZACIÓN DE INFORMACIÓN

De mi consideración:

En atención al Documento No. OFICIO-NO-UTN-FICA-AU-2024-0012-O, suscrito por el Ing. Ignacio Benavides COORDINADOR CARRERA AU, en el que en su parte pertinente solicita "(...) la respectiva autorización para que los señores estudiantes: *MORALES BASTIDAS LEONEL DAVID Y GARCÉS ANDRADE MICHAEL ALEXANDER*, portadores de la cédula de ciudadanía N° 1003801055 y 1005094238 respectivamente, puedan obtener los datos de los ensayos: banco de suspensión (gráficas) y detector de holguras de los vehículos Chevrolet Luv Dmax y Mazda BT-50 de los últimos 3 meses realizados en la empresa REVIPLUS ECUADOR S.A. y poder continuar con el desarrollo del trabajo de titulación denominado "ANÁLISIS DE AVERÍAS MECÁNICAS EN EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DEL EJE POSTERIOR EN VEHÍCULOS DE CARGA LIVIANA (N1) (...)"

Con este antecedentes solicitamos se analice la factibilidad de brindar dicha información, y se remita la respuesta a esta dependencia para gestionar las acciones pertinentes.

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,

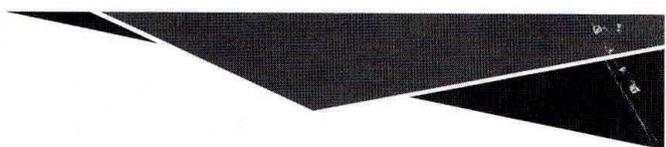
*Documento firmado electrónicamente*

Lcda. Silvana Joseth Fraga Narváz  
**GERENTE DE TALENTO HUMANO, ENCARGADA**

Referencias:  
- EPM-DSEGE-2024-1474-E

Anexos:  
- OFICIO-NO-UTN-FICA-AU-2024-0012-O





**Memorando Nro. EPM-GTHU-2024-1479-M**

**Ibarra, 23 de mayo de 2024**

Copia:

Srta. Psic. Kelly Mildreth Nejer Ormaza  
Analista de Desarrollo de Talento Humano

kn



SILVANA JOSETH  
FRAGA NARVAEZ



[www.movidelnor.gob.ec](http://www.movidelnor.gob.ec)



### Anexo 3. Código de programación

```

#Código para resolución de las ecuaciones diferenciales
% Parámetros del sistema de suspensión para camioneta
ms = 1000; % Masa suspendida (kg)
mu = 100; % Masa no suspendida (kg)
ks = 40000; % Rigidez del muelle de suspensión (N/m)
kt = 400000; % Rigidez del neumático (N/m)
cs = 3000; % Coeficiente de amortiguación (Ns/m)

% Tiempo de simulación
t = linspace(0, 4, 1000);

% Condiciones iniciales [zs, zu, dzs_dt, dzu_dt]
initial_state = [0; 0; 0; 0];

% Resolver el sistema de ecuaciones diferenciales
[t, solution] = ode45(@(t,y) suspension_system(t, y, ms, mu, ks, kt, cs), t, initial_state);

% Extraer los resultados
zs = solution(:, 1);
zu = solution(:, 2);

% Calcular zr para el gráfico
zr = zeros(size(t));
for i = 1:length(t)
    zr(i) = road_profile(t(i));
end

% Graficar los resultados
figure;
%plot(t, zs, 'DisplayName', 'Masa suspendida');
hold on;
plot(t, zu, 'DisplayName', 'Masa no suspendida');
%plot(t, zr, 'DisplayName', 'Perfil de la carretera');
xlabel('Tiempo (s)');
ylabel('Desplazamiento (m)');
title('Respuesta del sistema de suspensión de camioneta');
legend('show');
grid on;

% Función del sistema de suspensión
function dydt = suspension_system(t, y, ms, mu, ks, kt, cs)
    zs = y(1);
    zu = y(2);
    dzs_dt = y(3);

```

```
dzu_dt = y(4);

zr = road_profile(t);

d2zs_dt2 = (-ks*(zs-zu) - cs*(dzs_dt-dzu_dt)) / ms;
d2zu_dt2 = (ks*(zs-zu) + cs*(dzs_dt-dzu_dt) - kt*(zu-zr)) / mu;

dydt = [dzs_dt; dzu_dt; d2zs_dt2; d2zu_dt2];
end

% Función para el perfil de la carretera
function zr = road_profile(t)
    freq = max(25 * (1 - t/4), 0); % Frecuencia decrece linealmente hasta 0 en t=4
    zr = 0.05 * sin(2 * pi * 25 * (t - t^2 / 8));
end
```

### Anexo 4. Base de datos de la empresa REVIPLUS

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	LISTADO DE INSPECCIONES AUTOMAS													
2	DEL 1-Mar-2023 AL 23-Jul-2024													
3	FECHA	NIT	ESTACION	CENTRO RTV	NUMERO DE II	FECHA VENCI	FECHA CADU	VEHÍCULO	CLASE DE VEH	CLASE DE SER	MARCA	LINEA	MODELO VEH	COLOR
4	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5771			HD051U	Motocicleta	Uso Particular	BAJAJ		PULSAR 220 S	Azul
5	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5772			GRW4931	Vehículo Utilit	Uso Particular	HONDA		CRV RE3839L	Negro
6	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5773			PCU3502	Automóvil	Uso Particular	NISSAN		VERSA AC 1.6	Azul
7	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5774			PDC7292	Vehículo Utilit	Uso Particular	HYUNDAI		TUCSON TL A	Vino
8	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5775			PBD3711	Automóvil	Uso Particular	RENAULT		CLIO 1.6 MT	Blanco
9	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5776			IMA1261	Camioneta		CHEVROLET		D-MAX CRDI A	Blanco
10	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5777			IBE2192	Vehículo Utilit	Uso Particular	SUZUKI		GRAND VITAR	Platea
11	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5778			PCM6110	Automóvil	Uso Particular	HYUNDAI		SONATA FE A	Negro
12	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5779			PBN2361	Camioneta	Uso Particular	TOYOTA		CCT HILUX 4X	Negro
13	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5780			AE710B	Motocicleta	Uso Particular	DAYTONA		DY250 TEKKE	Negro
14	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5781			PCD3262	Automóvil	Uso Particular	CHERY		QQ3 1.1 TM 1	Rojo
15	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5782			IBE9982	Vehículo Utilit	Uso Particular	CHERY		TIGGO 7 1.5 T	Blanco
16	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5783			IG421W	Motocicleta	Uso Particular	VESPA		GTS 300 ABS	Plomo
17	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5784			ICR0962	Automóvil	Uso Particular	CHEVROLET		AVEO ACTIVO	Blanco
18	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5785			HK791L	Motocicleta	Uso Particular	SUZUKI		EN125	Negro
19	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5786			IG171U	Motocicleta	Uso Particular	Z1		SUPER 150	Verde
20	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5787			IBA4681	Vehículo Utilit	Uso Particular	FORD		EXPLORER US	Blanco
21	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5788			PPB3961	Camioneta	Uso Particular	TOYOTA		HILUX 4X4 CD	Blanco
22	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5789			HN031G	Motocicleta	Uso Particular	SUZUKI		GN125	Rojo
23	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5790			JB141R	Motocicleta	Uso Particular	YAMAHA		YB125	Negro
24	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5791			IBC4062	Automóvil	Uso Particular	KIA		RIO REX 1.4 5	Platea
25	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5792			PCH2150	Vehículo Utilit	Uso Particular	CHEVROLET		GRAND VITAR	Negro
26	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5793			IBB8912	Automóvil	Uso Particular	KIA		CERATO AC 1.	Platea
27	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5794			PBT7049	Automóvil	Uso Particular	CHEVROLET		AVEO FAMILY	Plomo
28	1/3/2023		1 REVIPLUS IBA	2001	5795			IAI2602	Autobús	Uso Público	HINO		AK8JRSA 7.7 1	Blanco

### Anexo 5. Inspección de elementos del sistema de suspensión en el eje posterior en el banco de detector de holguras



**Anexo 6. Inspección de elementos del sistema de suspensión en el eje anterior en el banco de detector de holguras**



**Anexo 7. Ensayo en el banco de suspensión de un vehículo de carga liviana**

