



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Diseño e implementación del sistema de dirección y suspensión del prototipo tipo
tumbler**

Ayala Romero, David Alejandro y Tinoco Pardo, Frank Andres

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero
Automotriz

Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio

28 de febrero del 2024

Latacunga

Reporte de verificación de contenido



Plagiarism and AI Content Detection Report

TESIS_AYALA_-_TINOCO PLAGIO.pdf

Scan details

Scan time:
February 28th, 2024 at 18:9 UTC

Total Pages:
74

Total Words:
18421

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	1.7%	305
Minor Changes	2.7%	493
Paraphrased	1.4%	258
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage		Words
AI text	3.6%	661
Human text	96.4%	17760

[Learn more](#)

Firma



Firmado electrónicamente por:
**GUILLERMO MAURICIO
CRUZ ARCOS**

.....
Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio

C.C.: 0503010555



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de unidad de integración curricular. **Diseño e implementación del sistema de dirección y suspensión del prototipo tipo “Tumbler”** fue realizado por los señores **Ayala Romero, David Alejandro y Tinoco Pardo, Frank Andres**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenido; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se sustente públicamente.

Latacunga, 28 de febrero del 2024

Firma



Firmado electrónicamente por:
**GUILLERMO MAURICIO
CRUZ ARCOS**

.....
Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio

C.C.: 0503010555



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Ayala Romero, David** y **David Alejandro, Tinoco Pardo, Frank Andres** con cédulas de ciudadanía N° **175220812-2** y **172504326-7** declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de unidad integración curricular: **“Diseño e implementación del sistema de dirección y suspensión del prototipo tipo Tumbler”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 28 de febrero del 2024

Firma

Ayala Romero, David Alejandro
C.C.: 175220812-2

Tinoco Pardo, Frank Andres
C.C.: 172504326-7



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de Publicación

Nosotros **Ayala Romero, David Alejandro** y **Tinoco Pardo Frank Andres**, con cédulas de ciudadanía N° **175220812-2** y **1725043267-7**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de unidad de integración curricular: **“Diseño e implementación del sistema de dirección y suspensión del prototipo tipo Tumbler”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 28 de febrero del 2024

Firma

Ayala Romero, David Alejandro

C.C.: 175220812-2

Tinoco Pardo, Frank Andres

C.C.: 172504326-7

Dedicatoria

Este proyecto de investigación está dedicado a Dios, quien ha sido mi guía constante y darme la fuerza para terminar mis estudios. Le agradezco por darme salud y vida, por todas las bendiciones derramadas en mi persona, y por ser mi fuerza y motivación para alcanzar mis sueños.

A mis padres Freddy Ayala y Ana Romero, gracias por ser mi fuente de inspiración, por creer en mí y por brindarme el respaldo necesario para alcanzar mis metas. Su guía y ejemplo han sido fundamentales en este camino hacia el éxito, y les dedico este logro con profundo agradecimiento y cariño.

A mi hermana Thaís, por acompañarme en los días más extraordinarios de mi vida y por brindarme apoyo en los momentos más desafiantes, a mi abuelita Piedad, agradezco por su cuidado atento y por estar siempre presente para mí.

Ayala Romero, David Alejandro

Dedicatoria

Primeramente, dedico el presente trabajo a Dios, por darme la sabiduría, entendimiento, vida y salud para alcanzar mis sueños.

A mis Padres Rocío y José quienes han sido un pilar fundamental para mi vida y estudios, brindándome su apoyo incondicional, gracias a su perseverancia y dedicación ha sido mi mayor inspiración, sin ellos este logro no habría sido posible.

A mis hermanos Anthony y Jean por su apoyo, por creer en mí y animarme a seguir adelante cuando la meta parecía distante. Sus palabras de aliento han sido una fortaleza en los momentos más difíciles.

Finalmente, a todos mis familiares quienes estuvieron presentes para apoyarme y concederme los mejores consejos.

Tinoco Pardo, Frank Andres

Agradecimiento

Agradezco a mi padre, Freddy, por haberme brindado lecciones invaluable de humildad y dedicación a lo largo de mi vida. Por todos los consejos que me has dado a lo largo de mi vida.

A mi madre Ana, por su dedicación y sacrificio. Me enseñaste a enfrentar los desafíos con valentía y luchar siempre por mis sueños, sin importar los contratiempos que se presenten en el camino.

A mi hermana, quiero agradecerte por cada risa, lágrima y anécdota. Tu presencia ha sido un regalo que ha llenado de alegría y color mi vida

A mi tutor de tesis, Mauricio Cruz, por su apoyo y disponibilidad continua para ayudar y asesorar durante todo el proceso fue un verdadero valor añadido, estoy profundamente agradecido por su compromiso y por haber compartido su experiencia y conocimientos conmigo

A mis compañeros de carrera, Christian Lozada, José Dueñas, Daniel Tello, Josué Vivanco, Sebastián Ortiz, Carlos Álvarez y Frank Tinoco, Cristhian Teneda, quiero expresar mi más profundo agradecimiento por su colaboración, sin la cual este proyecto no habría sido posible, agradezco sinceramente por todas las enseñanzas que he recibido de ustedes a lo largo de nuestra carrera, su amistad y colaboración han sido pilares importantes de mi desarrollo académico y personal. Estoy profundamente agradecido por el privilegio de haber compartido este camino con personas tan talentosas y generosas como ustedes.

Ayala Romero, David Alejandro

Agradecimiento

Agradezco a todos los Docentes de la Carrera de Ingeniería Automotriz quienes formaron parte de mi viaje universitario. A lo largo de estos años han sido una gran inspiración, agradezco por sus enseñanzas que perdurarán en mí como persona y como profesional.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mis compañeros integrantes del proyecto de titulación, cada uno de ustedes ha desempeñado un papel fundamental aportando su tiempo, dedicación, contribuyendo los mejores resultados.

A mis amigos Gabriel, Kevin, William, Samantha, cada uno de ustedes me han brindado palabras de aliento, su disposición para ayudar no tiene precio, gracias por ser mis cómplices en las diferentes oportunidades de aprendizaje y mis aliados en los diferentes desafíos.

Finalmente, a ti Verónica gracias por acompañarme en los momentos más desafiantes, tu paciencia y comprensión han sido una gran inspiración para mí. Estoy eternamente agradecido por tu presencia.

Tinoco Pardo, Frank Andres

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento	8
Agradecimiento	9
Índice de contenido	10
Índice de figuras	15
Índice de ecuaciones	19
Resumen	20
Abstract	21
Capítulo I: Plantamiento del problema de investigación	22
Antecedentes	22
Planteamiento del problema	23
Fase de implementación de sistemas y uso de software de simulación.	25
Descripción detallada del proyecto	26
Justificación e importancia	26
Objetivos de la investigación	27
<i>Objetivo general</i>	27
<i>Objetivos específicos</i>	27
Hipótesis	28

Variables de investigación.....	28
<i>Variables dependientes</i>	28
<i>Variable independiente</i>	28
Metodología y técnicas para la investigación.....	29
<i>Método documental bibliográfico</i>	29
<i>Método analítico</i>	29
<i>Método deductivo</i>	29
<i>Método sintético</i>	30
Capítulo II: Marco Teórico.....	31
Sistema de dirección.....	31
<i>Elementos de la dirección</i>	32
<i>Dirección de cremallera</i>	33
<i>Caja de dirección tornillo sin fin</i>	34
<i>Dirección asistida hidráulicamente</i>	35
<i>Dirección de asistencia eléctrica</i>	36
<i>Geometría de la dirección</i>	37
<i>Geometría de giro</i>	38
Geometría de ruedas.....	39
<i>Ángulo de caída</i>	39
<i>Ángulo de salida</i>	39
<i>Ángulo de avance</i>	40
<i>Convergencia</i>	41
<i>Ángulo de convergencia</i>	42
<i>Geometría de ackerman</i>	43
<i>Subviraje y sobreviraje</i>	43
<i>Angulo de giro</i>	44

<i>Ángulo de giro del volante</i>	46
Pruebas de giro	46
Sistema de suspensión	47
<i>Principios físicos</i>	48
Tipologías del sistema de suspensión	50
<i>Suspensión dependiente</i>	51
<i>Suspensión independiente</i>	53
Elementos de suspensión	54
<i>Elementos elásticos</i>	55
<i>Barras estabilizadoras</i>	57
<i>Brazos de suspensión</i>	58
<i>Métodos del accionamiento del muelle</i>	58
<i>Push/ pull rod</i>	59
Matriz de decisión	60
Capítulo III: Diseño y selección del sistema de suspensión y dirección	62
Introducción	62
Funcionalidad y eficiencia	62
Selección de componentes	62
Criterio para el sistema de dirección a utilizar	63
Criterio para la columna de dirección	65
Criterio para el tipo de suspensión a utilizar	68
Criterio para la selección de los amortiguadores	69
Selección de los amortiguadores delanteros	70
<i>Amortiguador moxal qm200gy</i>	71
<i>Amortiguador trenssun amo- m36</i>	72
<i>Criterio para el accionamiento del muelle de la suspensión delantera</i>	74

<i>Selección sistema de suspensión trasera</i>	75
<i>Amortiguador kenzu</i>	77
<i>Criterios para el brazo de dirección</i>	79
<i>Acero estructural de perfil tubular – rectangular</i>	80
<i>Selección de juntas universales</i>	82
Diseño del brazo de dirección.....	83
Diseño del push rod	84
Funcionamiento del sistema de dirección del prototipo	85
Ensamble del sistema de suspensión.....	87
Asignación de fuerzas.....	87
Factor de seguridad	89
Desplazamiento.....	90
Capítulo IV: Resultados y discusión	91
Implementación del sistema de dirección	91
Implementación del sistema de suspensión	95
Pruebas	98
<i>Círculo de viraje</i>	98
<i>Ángulo de giro</i>	100
<i>Relación de la transmisión de la dirección</i>	102
<i>Ángulo de convergencia</i>	104
<i>Relación de compresión de los amortiguadores delanteros</i>	104
<i>Relación de compresión del amortiguadores posterior</i>	106
Comportamiento del sistema de suspensión en ciclos de conducción	107
<i>Prueba en 90°</i>	109
<i>Prueba en 180°</i>	110
<i>Prueba en 360°</i>	110

<i>Rompe velocidades</i>	111
Capítulo V: Marco Administrativo	113
Recursos humanos	113
Recursos tecnológicos	113
Recursos materiales	114
Presupuesto	115
Financiamiento	116
Conclusiones	117
Recomendaciones	120
Bibliografía	121
Anexos	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Árbol de problemas.</i>	23
Figura 2 <i>Dibujo sencillo de un sistema de dirección.</i>	31
Figura 3 <i>Volante</i>	32
Figura 4 <i>Conjunto volante columna</i>	33
Figura 5 <i>Caja de Dirección de Cremallera.</i>	34
Figura 6 <i>Sistema de dirección de un tornillo sin fin</i>	35
Figura 7 <i>Dirección asistida hidráulica con bomba mecánica.</i>	36
Figura 8 <i>Esquema de una dirección de cremallera con asistencia eléctrica</i>	37
Figura 9 <i>Distinto radio de giro, mismo centro de rotación.</i>	37
Figura 10 <i>Trazado recto</i>	38
Figura 11 <i>Ángulo de caída</i>	39
Figura 12 <i>Ángulo de salida</i>	40
Figura 13 <i>Ángulo de avance.</i>	40
Figura 14 <i>Convergencia positiva y negativa.</i>	41
Figura 15 <i>Ángulos de giro de las ruedas delanteras</i>	42
Figura 16 <i>Geometría recta y disposición del cuadrilátero de ackerman.</i>	43
Figura 17 <i>Subviraje y sobreviraje.</i>	44
Figura 18 <i>Geometría Ackerman</i>	45
Figura 19 <i>Pruebas de giro</i>	47
Figura 20 <i>Suspensión delantera</i>	47
Figura 21 <i>Ubicación de la suspensión</i>	49
Figura 22 <i>Suspensión McPherson</i>	50
Figura 23 <i>Suspensión dependiente e independiente</i>	51

Figura 24	<i>Suspensión dependiente</i>	51
Figura 25	<i>Suspensión de paralelogramo deformable convencional</i>	52
Figura 26	<i>Suspensión Multibrazo</i>	53
Figura 27	<i>Suspensión independiente con un brazo</i>	54
Figura 28	<i>Componentes de la suspensión</i>	55
Figura 29	<i>Funcionamiento del muelle</i>	56
Figura 30	<i>Oscilaciones del vehículo</i>	56
Figura 31	<i>Barra transversal Panhard</i>	57
Figura 32	<i>Brazos de suspensión</i>	58
Figura 33	<i>Accionamiento de la suspensión</i>	59
Figura 34	<i>Sistema Pull / Push</i>	59
Figura 35	<i>Matriz de decisión</i>	61
Figura 36	<i>Cremallera de dirección Suzuki Forsa 1</i>	65
Figura 37	<i>Columna de dirección</i>	67
Figura 38	<i>Especificaciones del amortiguador Moxal</i>	72
Figura 39	<i>Especificaciones del amortiguador Trenssun</i>	73
Figura 40	<i>Amortiguadores delanteros</i>	73
Figura 41	<i>Push Rod</i>	75
Figura 42	<i>Amortiguador posterior</i>	78
Figura 43	<i>Perfil rectangular</i>	80
Figura 44	<i>Brazo de dirección</i>	82
Figura 45	<i>Junta universal</i>	83
Figura 46	<i>Croquis del brazo de dirección y del Push Rod</i>	84
Figura 47	<i>Dimensiones del Push Rod</i>	85

Figura 48 <i>Acople del disco de freno</i>	85
Figura 49 <i>Axiales de la dirección</i>	86
Figura 50 <i>Barra de empuje</i>	86
Figura 51 <i>Ensamble del sistema de suspensión y brazo de dirección</i>	87
Figura 52 <i>Asignación de Fuerzas</i>	89
Figura 53 <i>Factor de seguridad del brazo de dirección</i>	89
Figura 54 <i>Desplazamiento del brazo de dirección</i>	90
Figura 55 <i>Funcionamiento del sistema de dirección</i>	94
Figura 56 <i>Ubicación del sistema de suspensión</i>	95
Figura 57 <i>Distancia entre ejes</i>	99
Figura 58 <i>Círculo de viraje</i>	99
Figura 59 <i>Ancho de vía</i>	100
Figura 60 <i>Giro interno</i>	101
Figura 61 <i>Giro externo</i>	102
Figura 62 <i>Giro de las ruedas</i>	103
Figura 63 <i>Amortiguadores libres</i>	105
Figura 64 <i>Amortiguadores bajo carga</i>	105
Figura 65 <i>Amortiguador posterior bajo carga</i>	107
Figura 66 <i>Pruebas de manejo</i>	109
Figura 67 <i>Maniobrabilidad en 90°</i>	109
Figura 68 <i>Maniobrabilidad en 180°</i>	110
Figura 69 <i>Maniobrabilidad en 360°</i>	111
Figura 70 <i>Amortiguación del prototipo</i>	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Conceptos para el sistema de dirección</i>	63
Tabla 2	<i>Matriz de decisión para el sistema de dirección</i>	64
Tabla 3	<i>Conceptos para la columna de dirección</i>	66
Tabla 4	<i>Matriz de decisión para la columna de dirección</i>	67
Tabla 5	<i>Aspectos técnicos del sistema de suspensión</i>	68
Tabla 6	<i>Masa suspendida del prototipo</i>	69
Tabla 7	<i>Parámetros amortiguador delanteros</i>	74
Tabla 8	<i>Beneficio del sistema Push-Rod</i>	75
Tabla 9	<i>Parámetros amortiguador KENZU</i>	79
Tabla 10	<i>Parámetros del acero estructural ASTM 500</i>	81
Tabla 11	<i>Junta simple con acoplamiento abiertos</i>	82
Tabla 12	<i>Pesos del sistema de frenos</i>	88
Tabla 13	<i>Implementación del sistema de dirección</i>	91
Tabla 14	<i>Implementación sistema de suspensión</i>	96
Tabla 15	<i>Datos para el cálculo de la relación de transmisión de la dirección</i>	103
Tabla 16	<i>Datos para el cálculo del ángulo de convergencia</i>	104
Tabla 17	<i>Capacidad del prototipo para realizar giros</i>	108
Tabla 19	<i>Recursos Humanos</i>	113
Tabla 20	<i>Recursos Tecnológicos</i>	114
Tabla 21	<i>Recursos Materiales</i>	114
Tabla 22	<i>Presupuesto</i>	115

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Convergencia</i>	41
Ecuación 2 <i>Ángulo de convergencia</i>	42
Ecuación 3 <i>Círculo de viraje</i>	44
Ecuación 4 <i>Ángulo de giro interno</i>	45
Ecuación 5 <i>Ángulo de giro externo</i>	45
Ecuación 6 <i>Relación de transmisión de la dirección</i>	46
Ecuación 7 <i>Ángulo de giro del volante</i>	46
Ecuación 8 <i>Relación de Compresión del Amortiguador</i>	60

Resumen

El proyecto se centraliza en el diseño e implementación del sistema de dirección y suspensión adecuado para un prototipo tipo "Tumbler". El objetivo principal de esta investigación es abordar los desafíos únicos que plantea la configuración del prototipo mientras se busca optimizar su estabilidad, operabilidad y seguridad. La investigación y el desarrollo se llevarán a cabo en varias fases. En primer lugar, se analizarán exhaustivamente las especificaciones técnicas y los requisitos operativos del prototipo de Tumbler correspondiente, incluida una evaluación de las dimensiones, la geometría, los requisitos de carga y el rendimiento esperado. A partir de esta evaluación, se implementa un sistema de suspensión que permita mantener las ruedas en contacto con el suelo, absorbiendo impactos y vibraciones. Simultáneamente, se abordará el desarrollo del sistema de dirección para contemplar una maniobrabilidad precisa y segura del prototipo en una variedad de situaciones, desde giros cerrados hasta maniobras evasivas. Se priorizará la capacidad de respuesta del sistema de dirección a las operaciones del conductor y su capacidad de adaptación a condiciones cambiantes. La fase de implementación se centrará en la fabricación e instalación de los componentes diseñados para el sistema de dirección y suspensión. Se llevarán a cabo pruebas exhaustivas en condiciones controladas y reales para validar el rendimiento y la seguridad del prototipo, además de las pruebas y la implementación, Se considera primordial realizar primero la simulación por software antes de proceder con la manufactura y la implementación. Esto implica la selección adecuada de materiales para cada componente del sistema, con el fin de comprobar su durabilidad y funcionalidad.

Palabras Clave: Seguridad, estabilidad, suspensión, dirección mecánica, prototipo tumbler

Abstract

The project focuses on the design and implementation of the appropriate steering and suspension system for a "Tumbler" type prototype. The main objective of this research is to address the unique challenges posed by the prototype configuration while seeking to optimize its stability, operability and safety. The research and development will be conducted in several phases. First, the technical specifications and operational requirements of the relevant Tumbler prototype will be thoroughly analyzed, including an assessment of dimensions, geometry, load requirements and expected performance. Based on this evaluation, a suspension system will be implemented to keep the wheels in contact with the ground, absorbing shocks and vibrations. Simultaneously, the development of the steering system will be addressed to contemplate a precise and safe maneuverability of the prototype in a variety of situations, from tight turns to evasive maneuvers. Priority will be given to the responsiveness of the steering system to driver operations and its ability to adapt to changing conditions. The implementation phase will focus on the fabrication and installation of the components designed for the steering and suspension system. Extensive testing under controlled, real-world conditions will be conducted to validate the performance and safety of the prototype, in addition to testing and implementation, It is considered paramount to first perform software simulation before proceeding with manufacturing and implementation. This involves the proper selection of materials for each component of the system to test its durability and functionality.

Key words: Security, stability, suspension, steering, implementation, prototype tumbler

Capítulo I

Planteamiento del problema de investigación

Antecedentes

El diseño e implementación del sistema de suspensión y dirección en la fabricación de vehículos representa un factor muy importante, debido a su impacto directo en la maniobrabilidad, estabilidad y control del vehículo. El objeto central de esta investigación es desarrollar e implementar estos sistemas en un prototipo tipo Tumbler, con la finalidad de obtener una conducción segura y fluida.

Se entiende por dirección o sistema de dirección a todos los elementos que contribuyen a colocar ruedas directrices según la acción del conductor. Más allá de los diferentes tipos de mecanismos de dirección existen características que deben estar presentes en todos los sistemas para garantizar una buena maniobrabilidad y seguridad (Landa, 2015).

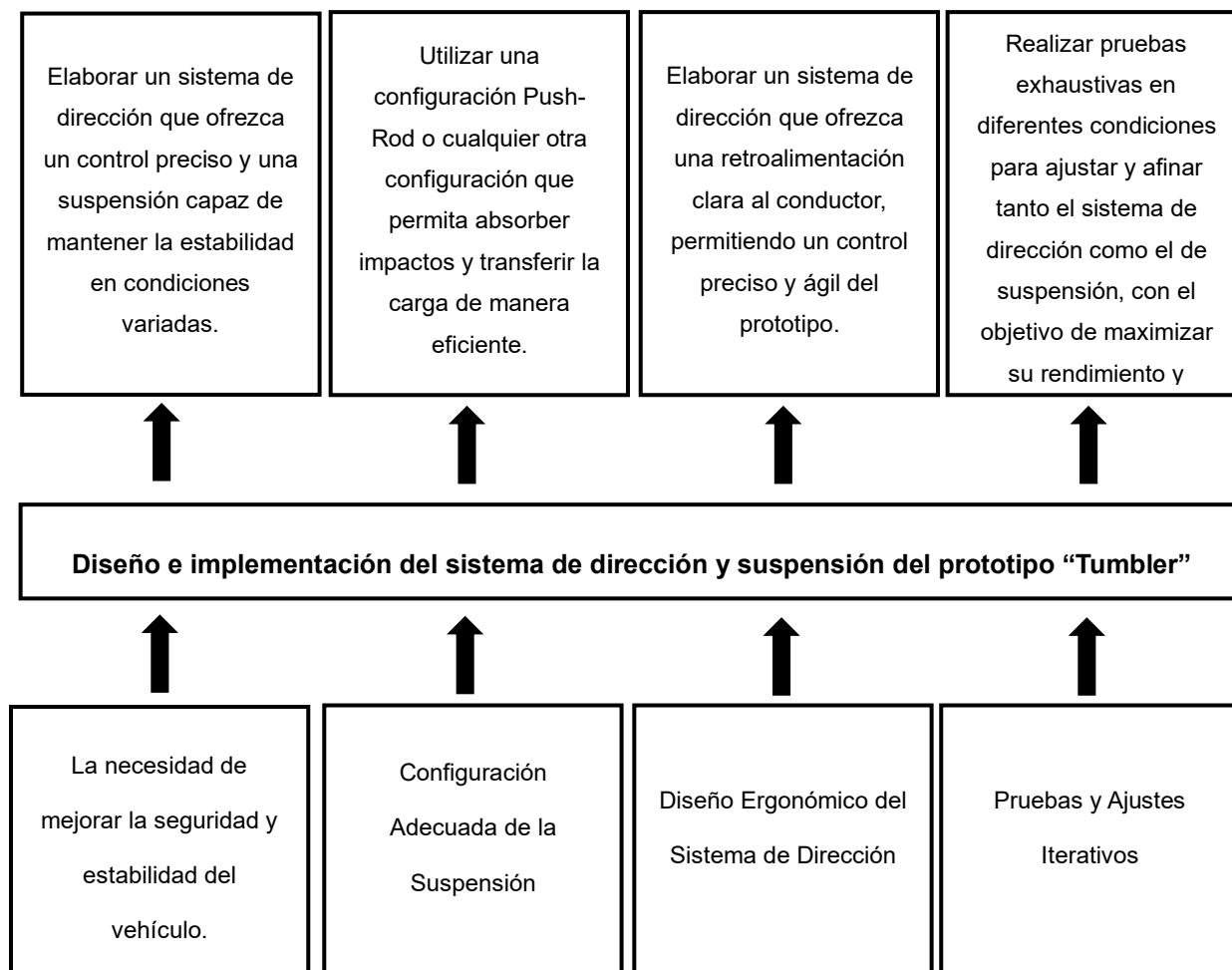
Como se menciona “la finalidad del sistema de suspensión es amortiguar las irregularidades del camino, en su conjunto agregan estabilidad y confort al vehículo al disminuir las vibraciones propias del camino y estabilizar de forma más eficaz el auto en las curvas” (Landa, 2015).

El sistema de suspensión que lleva este prototipo tipo “Tumbler”, es de tipo Push-Rod, que contiene elementos de empuje para transferir la carga de las ruedas al sistema de suspensión del prototipo. La finalidad de este proyecto es optimizar la interacción entre los sistemas de suspensión y dirección, para lograr un desempeño óptimo en aspectos de comodidad maniobrabilidad y estabilidad del prototipo para maximizar la seguridad y eficacia del prototipo en diversas condiciones.

Planteamiento del problema

Figura 1

Árbol de problemas.



Nota. En la actual figura se puntualiza la problemática y solución referente al progreso del proyecto de investigación.

El proyecto de investigación que se llevará a cabo se centra en la creación de vehículos altamente especializados, como el prototipo tipo “Tumbler”, el cual ha llamado la atención dentro de la industria automotriz, debido a su diseño futurista, Esta investigación aborda dos problemáticas principales, estas problemáticas simbolizan el núcleo del proyecto de investigación, abordando los retos clave en el diseño y progreso del prototipo. La resolución exitosa de estas problemáticas contribuirá al avance de la industria automotriz en la creación de vehículos innovadores y versátiles.

Problemática 1: La necesidad de implementar sistemas de suspensión y dirección en un prototipo tipo “Tumbler”

La implementación de sistemas de suspensión y dirección en un prototipo tipo “Tumbler” es decisivo, ya que, debe garantizar la estabilidad y control en las diversas situaciones que se presenten en la hora del manejo, ya sea, en maniobras bruscas, giros cerrados y aceleraciones intensas. El sistema de suspensión se convierte en un componente vital para lograr este objetivo, ya que debe tener la capacidad de absorber impactos y oscilaciones evitando volcamientos y mantener la seguridad del conductor. La capacidad de personificar estos sistemas, se torna esencial para satisfacer las necesidades específicas y el cuidado estético, ya que juega un papel relevante en la autenticidad y el atractivo del prototipo, por otro lado, la implementación considera una gran oportunidad para la experimentación y el desarrollo de nuevas tecnologías. La capacidad de innovar y probar conceptos durante esta implementación puede conducir a avances significativos y descubrimientos que podrían influir en futuros sistemas y diseños de vehículos.

Problemática 2: La necesidad de utilizar herramientas que permitan mejorar diseños y confiabilidad en un prototipo tipo “Tumbler”:

La falta de un enfoque estandarizado se traduce en desafíos significativos al utilizar herramientas que permitan mejorar el diseño y confiabilidad de estos vehículos especializados. El programa no solamente mejora la caracterización de las áreas, al contrario, proporciona una ayuda fundamental para garantizar el diseño cumpliendo los estándares de seguridad y rendimiento. En la fase de la implementación de los sistemas de dirección y suspensión se corregirá de manera eficiente para su rendimiento, control y estabilidad del prototipo tipo “Tumbler”, tomando en cuenta las diferentes situaciones, ya que debe ser ágil y capaz de realizar maniobras. Por otra parte, debe garantizar que el prototipo ofrezca seguridad y confort al conductor, sincronizando los componentes de manera precisa como amortiguadores, resortes, brazos de suspensión y los diferentes componentes del sistema de dirección, logrando una respuesta óptima, además, una conducción más cómoda y dócil para que reduzca las vibraciones, garantizando un control y concentración óptimos.

Fase de implementación de sistemas y uso de software de simulación.

El uso de herramientas avanzadas, se procede a modelar en 3D los diferentes componentes de la dirección y suspensión del prototipo, proporcionando una mejor representación visual y detallada de los sistemas. Mediante el diseño y las diferentes iteraciones establecidas dentro de los resultados, optimizando la geometría, de tal manera, facilite la mejora, garantizando que los sistemas sean capaces de cumplir con la estabilidad y control de manera segura y eficiente. La implementación de estas herramientas contribuye a la creación de los sistemas para el prototipo tipo “Tumbler” cumpliendo con los objetivos de diseño altamente confiables.

Descripción detallada del proyecto

En el presente proyecto se centra en el diseño y la implementación de un sistema de dirección y suspensión altamente especializado para un prototipo tipo “Tumbler”. El objetivo fundamental de este proyecto es abordar los desafíos únicos que plantea la configuración y el propósito de los “Tumblers”, al tiempo que se busca mejorar su estabilidad, maniobrabilidad y seguridad.

La investigación y desarrollo se llevarán a cabo en varias etapas. En primer lugar, se realizará un análisis exhaustivo de las características técnicas y las necesidades operativas del prototipo tipo “Tumbler” en cuestión. Esto incluirá la evaluación de dimensiones, geometría, requisitos de carga y rendimiento esperado. A partir de esta evaluación, se diseñará un sistema de suspensión que permita mantener las ruedas en contacto con el suelo y que absorba impactos y vibraciones de manera eficiente.

Paralelamente, se abordará el sistema de dirección para garantizar la maniobrabilidad precisa y segura del vehículo en una variedad de situaciones, desde giros cerrados hasta maniobras evasivas. Se prestará especial atención a la respuesta del sistema de dirección a las acciones del conductor y su capacidad de adaptación a condiciones cambiantes.

La fase de implementación se centrará en la fabricación e instalación de los componentes del sistema de dirección y suspensión diseñados previamente. Se llevarán a cabo pruebas exhaustivas en condiciones controladas y reales para validar el rendimiento y la seguridad del prototipo.

Justificación e Importancia

El fundamento de este estudio radica en función de la necesidad de mejorar la seguridad, la eficiencia y la versatilidad de los vehículos prototipo tipo “Tumbler” mediante el diseño y la

implementación de un sistema de dirección y suspensión específico. Estos sistemas son esenciales para el funcionamiento seguro y eficiente de cualquier vehículo, ya que tienen un impacto directo en la estabilidad, la maniobrabilidad y la comodidad del conductor.

La necesidad de esta investigación surge debido a su impacto directo en la seguridad y el rendimiento del prototipo. Un sistema de dirección y suspensión diseñado específicamente para el prototipo, permitirá mejorar la estabilidad, garantizar una respuesta precisa en situaciones críticas, al optimizar la eficiencia energética y la adaptabilidad.

El motivo que impulsa esta investigación son las diferentes necesidades específicas del prototipo, el diseño personalizado de los sistemas de dirección y suspensión, su implementación en el prototipo, pruebas exhaustivas en condiciones controladas y reales, y la evaluación del impacto en el rendimiento y la seguridad del prototipo.

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Diseñar e implementar el sistema de dirección y suspensión del prototipo “Tumbler” incluyendo la selección cuidadosa de componentes adecuados para facilitar su manejo, estabilidad y buen funcionamiento.

Objetivos Específicos

- Diseñar los componentes del sistema de suspensión y dirección utilizando software de modelado y diseño asistido por computadora CAD, para garantizar la visualización y funcionalidad antes de su implementación.
- Establecer los requisitos de rendimiento del sistema de suspensión y dirección, incluyendo la optimización de ángulos de dirección y geometría de la suspensión, para

asegurar un manejo preciso, estabilidad y confort del prototipo en diversas condiciones de conducción.

- Seleccionar e implementar los componentes del sistema suspensión y dirección mediante el análisis de componentes existentes en el mercado para definir aquellos que se van a emplear.
- Realizar pruebas y ajustes para el sistema de suspensión y dirección con test de manejo para verificar su correcto funcionamiento

Hipótesis

El diseño del sistema de dirección y suspensión e implementado en el prototipo tipo Tumbler permitirá una mejora positiva en la estabilidad, capacidad de carga y maniobrabilidad del prototipo.

Variables de Investigación

Variables dependientes

El diseño y la implementación del sistema de dirección y suspensión en el prototipo tipo “Tumbler”.

Variable independiente

La estabilidad, capacidad de carga y maniobrabilidad del prototipo tipo “Tumbler”.

Metodología y técnicas para la investigación

Método Documental Bibliográfico

Esta técnica de investigación se fundamentará en la revisión detallista y selectiva de fuentes bibliográficas especializadas, se buscará recopilar información precisa y detallada acerca de componentes y principios congénitos a los sistemas de suspensión y dirección. Al emplear esta metodología se identificará y evaluará la relevancia, confiabilidad de las fuentes consultadas, accediendo a una construcción de una base sólida de información para respaldar el estudio.

Método Analítico

Se empleará de manera integral para lograr una correcta implementación de los componentes de sistema de dirección y suspensión, se emplearán herramientas de inspección y evaluación para obtener una comprensión detallada de la situación inicial, garantizando una instalación precisa de los elementos de cada sistema, siguiendo rigurosamente las especificaciones técnicas y las pautas de montaje. Este método analítico se aplicará con precisión en cada etapa de la implementación, garantizando el correcto desempeño en diversas situaciones de manejo.

Método Deductivo

El método deductivo será llevado a cabo utilizando un enfoque clave para establecer premisas fundamentales en relación con la importancia de los sistemas de suspensión y dirección, se partirá de estas inferencias generales y se derivarán en conclusiones específicas, con este método se establecerán estas premisas sobre la mejora de estabilidad y rendimiento del prototipo.

Método Sintético

Con este método será aplicado para la implementación de los componentes claves que incorporaran cada sistema, con esta metodología se enfocará en la composición de elementos específicos como barras estabilizadoras, amortiguadores, resortes, entre otros. Este enfoque sintético se centrará en la composición coordinada de los componentes, permitiendo que cada uno de estos cumpla con su función específica, maximizando así su estabilidad, maniobrabilidad y capacidad de carga.

Capítulo II

Marco Teórico

Sistema de Dirección

El sistema de dirección del automóvil se encuentra ubicado en el eje delantero, en algunas ocasiones se encuentra en los dos ejes. Su principal función es dirigir las ruedas de manera progresiva a voluntad del conductor, sin que existan cambios violentos en la dirección. Por otra parte, debe ser preciso y no debe necesitar de un gran esfuerzo por parte del conductor para que este sea impulsado (Águeda et al., 2014).

Se entiende por dirección o sistema de dirección a todos los elementos que contribuyen a colocar las ruedas directrices según la acción del conductor. Más allá de los diferentes tipos y mecanismos de dirección existen características que deben estar presente en todos los sistemas para garantizar una buena maniobrabilidad y seguridad al conducir (Landa, 2015).

Figura 2

Dibujo sencillo de un sistema de dirección.



Nota. La figura muestra los diferentes componentes de un sistema de dirección. Tomado de (Crouse, 1999).

El sistema de Dirección permite que los neumáticos delanteros giren hacia la derecha o hacia la izquierda, para dirigir al vehículo. El volante de dirección está montado sobre un eje o

una columna de dirección cuyo extremo inferior tiene un tornillo sin fin que forma parte del engranaje de la dirección (Crouse, 1999).

Ya sean las irregularidades del terreno no deben interferir, es decir, las ruedas nunca deben orientarse por sí solas, al contrario, el conductor debe manipularlas a su propia voluntad. A esto se le conoce como irreversibilidad. Principalmente existen dos sistemas de dirección, cremallera el cual es el más extendido y el de tornillo sin fin, este contiene diferentes variantes, sin embargo, ambos son servoasistidos significa que el usuario tenga un menor esfuerzo para activarlo (Águeda et al., 2014).

Elementos de la Dirección

Volante. Este elemento es el que actúa para accionar el sistema de dirección, de tal manera que el conductor pueda variar la trayectoria del automóvil. Su forma es redonda, dentro de este se encuentra un anillo o aro metálico, que sirve como soporte. Su contorno está cubierto de goma o plástico, este recubrimiento protege al conductor en caso de una colisión.

Figura 3

Volante



Nota. La figura muestra el tablero de un vehículo y a su vez el volante. Tomado de (Águeda et al., 2014).

Columna. Este elemento es el que se encarga de transmitir el movimiento desde el volante, hacia el mecanismo de dirección, por otra parte, aloja la llave de contacto y de igual manera el bloqueo antirrobo. Se encuentra formada por tramos de tubo, unidos entre sí mediante juntas articuladas (Pérez Belló, 2011).

Figura 4

Conjunto volante columna



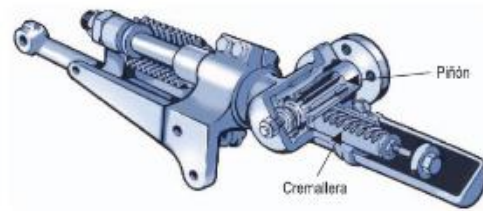
Nota. La siguiente figura muestra el conjunto volante columna. Tomado de (Pérez Belló, 2011).

Dirección de cremallera

Este sistema de dirección tiene ciertas ventajas como, por ejemplo: es sencilla, preciso, ocupa poco espacio, y además requiere poco esfuerzo para su activación. Esta caja de dirección está fija en el chasis y se encuentra entre la columna de dirección y las bieletas de mando. Tiene como función desmultiplicar entre el piñón y la cremallera para reducir el esfuerzo de su activación, la desmultiplicación se encuentra en función del peso del vehículo, la sección del neumático entre otros factores. Es compuesto por un piñón con dentado helicoidal unido a la columna de dirección y una barra tallada en cremallera que engrana con el piñón de tal manera que, el conductor cuando gira el volante, provoque un desplazamiento longitudinal a través del piñón que se encuentra engranado con la cremallera. El piñón se encuentra apoyado sobre un casquillo o rodamiento y la unión de la columna a través de una junta cardán (Águeda et al., 2014).

Figura 5

Caja de Dirección de Cremallera.



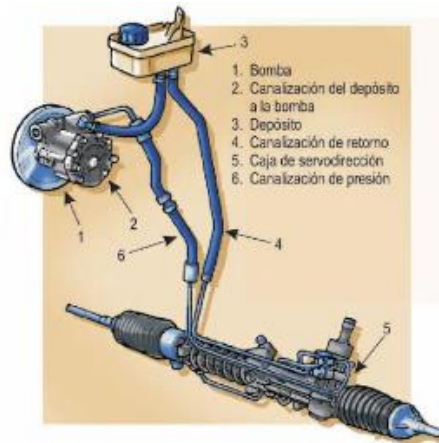
Nota. La siguiente figura muestra una caja de dirección compuesta por su piñón y la respectiva cremallera. Tomado de (Águeda et al., 2014).

Caja de Dirección Tornillo sin Fin

Los sistemas de tornillo sin fin son más empleados en vehículos pesados, por su mayor robustez, En cambio, estos presentan una mayor sofisticación, no en el mecanismo en sí, que es más compacto que el de cremallera, sino en cuanto al gran número de elementos de reenvío que precisa. Básicamente, están formados por un tornillo sin fin, accionado por el volante a través de la columna de dirección, el cual le transmite el movimiento, también conocido como caja de dirección. Se diferencia del sistema de cremallera por, el movimiento a la salida de la caja, no es rectilíneo, sino circular, saliendo de la misma mediante la llamada palanca de mando, transmitiendo el movimiento a la llamada barra de mando (Pérez Belló, 2011).

Figura 7

Dirección asistida hidráulica con bomba mecánica.



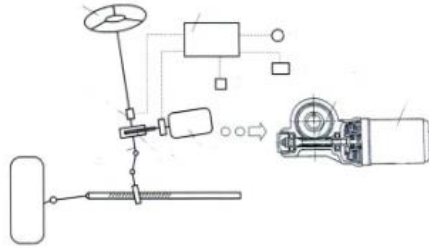
Nota. Esta representación gráfica muestra los diferentes componentes del sistema de dirección asistida hidráulica con bomba mecánica. Tomado de (Águeda et al., 2014).

Dirección de asistencia eléctrica

El sistema de dirección con asistencia eléctrica ha aumentado en los últimos años. El funcionamiento se basa en el accionamiento del volante de tal manera que, la unidad de control electrónico pone en funcionamiento un motor eléctrico que acciona un engranaje de tornillo sin fin sobre la columna de la dirección. El accionamiento es por tanto directo, y las únicas pérdidas que se producen son las del propio engranaje de transmisión. El control de la unidad electrónica se realiza mediante dos variables fundamentales que son suministradas por un sensor de par y sensor de velocidad. Estas variables son el par ejercido por el conductor sobre el volante y la propia velocidad del vehículo (Jesús Calvo, 2021).

Figura 8

Esquema de una dirección de cremallera con asistencia eléctrica



Nota. Diferentes componentes del sistema de dirección cremallera con asistencia eléctrica.

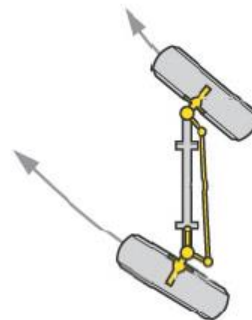
Tomado de (Jesús Calvo, 2021).

Geometría de la Dirección

Es conocida también como geometría de suspensión o alineación de los neumáticos, se refiere al diseño y ajuste de los diferentes componentes, los cuales permiten el control y la dirección del vehículo. Esta geometría influye en como los neumáticos se posicionan y se muevan en conjunto con el chasis, garantizando un manejo seguro, cómodo y eficiente (Luque et al., 2004).

Figura 9

Distinto radio de giro, mismo centro de rotación.



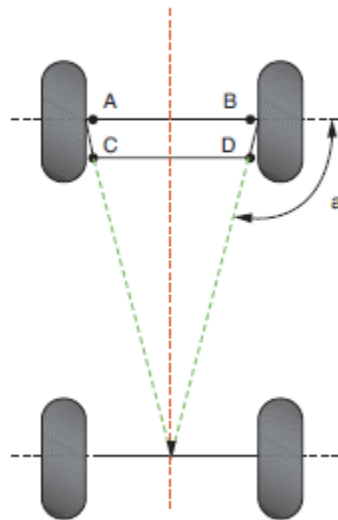
Nota. Distinto radio de giro para que el vehículo siga una misma trayectoria. Tomado de (Cebrián, 2016).

Geometría de Giro

Cuando el vehículo toma una curva, la trayectoria recorrida por cada una de las ruedas es diferente, porque tienen distinto radio de curvatura. Por tanto, la orientación que hay que dar a cada una de ellas es distinta. La geometría de giro se consigue dando a los brazos de acoplamiento una inclinación determinada de forma que, cuando el vehículo circula en línea recta, la prolongación de los ejes de los brazos de mando debe coincidir con el centro del eje trasero. Para conseguir que cada una de las ruedas delanteras tome la posición adecuada para que sus ejes de giro se corten en el punto (O) es necesario disponer de un trapecio articulado llamado trapecio de dirección o de Ackerman, el cual está formado por el propio eje delantero (AB), dos brazos de acoplamiento (AC y BD), y una barra de acoplamiento (CD). Los brazos de acoplamiento están unidos a las manguetas de las ruedas sobre las que giran estas y también están articulados sobre la barra de acoplamiento (González, 2014).

Figura 10

Trazado recto



Nota. trapecio de dirección formado por el eje delantero (AB), dos brazos de acoplamiento (AC y BD) y una barra de acoplamiento (CD). Tomado de (González, 2014).

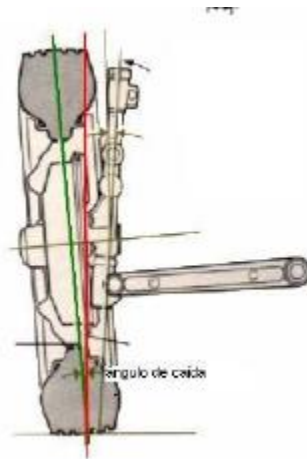
Geometría de ruedas

Ángulo de caída

Es un ángulo que queda definido entre el plano de la rueda y la vertical al suelo por el centro de la rueda. También existe la caída negativa que suele darse en coches de gran potencia o de competición. El ángulo de caída hace que se reduzca el esfuerzo de giro en el volante, evita el desgaste de neumáticos y de los rodamientos. Una diferencia de más de 1° entre los dos lados origina un desvío de la trayectoria que es necesario corregir con el volante, ocasionando siempre un desgaste anormal en los neumáticos.

Figura 11

Ángulo de caída



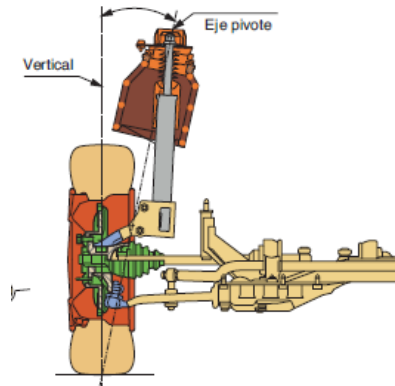
Nota. Representación del ángulo de caída positiva. Tomado de (Cebrián, 2016).

Ángulo de salida

“también llamado ángulo de pivote, está formado por la prolongación del eje del pivote, sobre el cual gira la rueda para orientarse, con la prolongación del eje vertical que pasa por el centro de apoyo de la rueda” (González, 2014).

Figura 12

Ángulo de salida



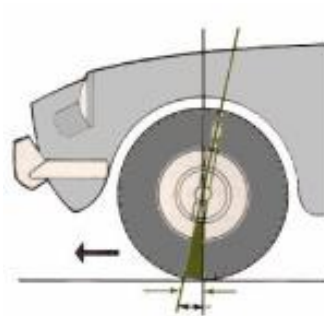
Nota. Representación del ángulo de pivote. Tomado de (González, 2014).

Ángulo de avance

Es el que provoca la auto alineación de las ruedas, esto es, que el vehículo vuelva a su posición de línea recta cuando hemos tomado una curva o incluso que se mantenga en línea recta si no provocamos un giro actuando sobre el volante, por tanto, es el encargado de dotar al vehículo de un elevado grado de estabilidad.

Figura 13

Ángulo de avance.



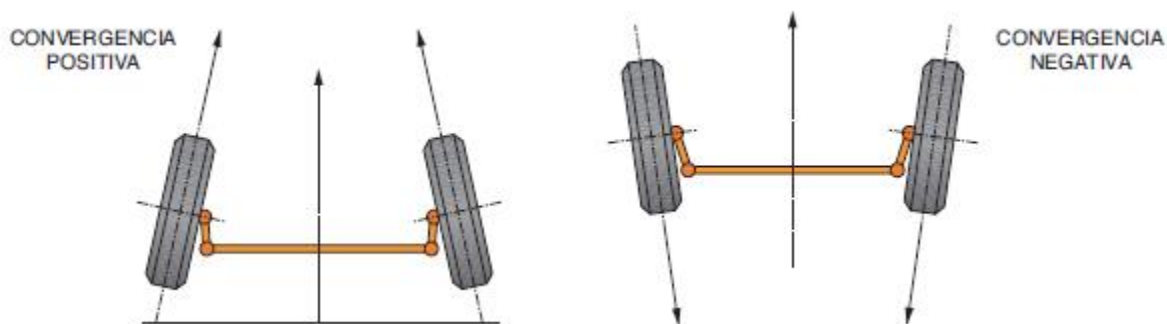
Nota. Representación del ángulo de avance. Tomado de (Cebrián, 2016).

Convergencia

Su función consiste en permitir girar las ruedas de cada eje, paralelas entre sí, con el vehículo en marcha y evitar que las ruedas derrapen con el consiguiente desgaste de neumáticos. La convergencia se expresa en milímetros por la diferencia entre las distancias obtenidas entre la parte delantera y trasera de las ruedas, tomadas en puntos diametralmente opuestos. El ángulo de convergencia es la desviación angular respecto a la dirección de marcha (González, 2014).

Figura 14

Convergencia positiva y negativa.



Nota. En la siguiente figura muestra la convergencia (positiva) y divergencia (negativa). Tomado de (González, 2014).

Recalcando “la convergencia en la dirección de un automóvil se refiere a la alineación de las ruedas delanteras de manera que los neumáticos apunten ligeramente hacia adentro cuando se miran desde arriba” (Cebrián, 2016).

Ecuación 1

Convergencia

$$C = a2 - a1$$

Donde:

$C = \text{Convergencia [mm]}$.

a_2 = Longitud entre los neumáticos en la parte trasera a la mitad de la altura de las ruedas [mm].

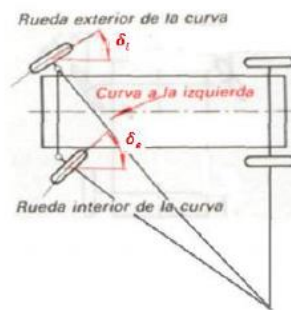
a_1 = Longitud entre los neumáticos en la parte trasera a la mitad de la altura de las ruedas [mm].

Ángulo de convergencia

“Es la diferencia entre los ángulos de giro externo e interno, debido a que la rueda interior gira un poco más que la rueda exterior en una curva” (Omar, 2018).

Figura 15

Ángulos de giro de las ruedas delanteras.



Nota. Representación de giro de la rueda interior y la rueda exterior con respecto al punto de origen. Tomado de (Omar, 2018).

Ecuación 2

Ángulo de convergencia

$$\gamma = \delta_e - \delta_i$$

Donde:

γ = Ángulo de convergencia [°].

δ_e = Ángulo de giro externo de la rueda interior [°].

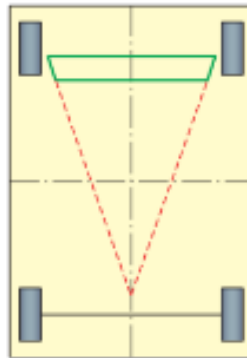
δ_i = Ángulo de giro interno de la rueda interior [°].

Geometría de Ackerman

Se denomina así a la disposición geométrica de los brazos de acoplamiento, dado el cuadrilátero que forman junto con el eje delantero y el eje que une ambas rótulas de dirección exteriores. Durante el giro, su trayectoria se puede descomponer en dos movimientos, dicho cuerpo experimenta un desplazamiento vertical y, por otro lado, también sufre un desplazamiento horizontal. Ambos se dan en diferente medida y proporción inversa, de tal manera que cuando uno aumenta, el otro disminuye (Pérez Belló, 2011).

Figura 16

Geometría recta y disposición del cuadrilátero de ackerman.



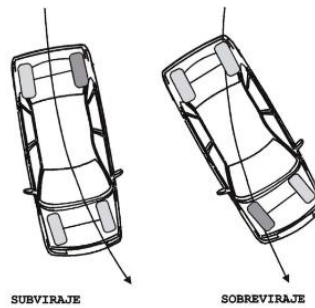
Nota. Representación cuadrilátera de Ackermann. Tomado de (Pérez Belló, 2011).

Subviraje y Sobreviraje

El subviraje se trata de un efecto de giro del vehículo. La parte delantera sufre un desplazamiento mayor hacia el exterior de la curva que la parte trasera. Los vehículos con tracción delantera tienden al subviraje disponiendo el centro de gravedad delante de la parte central del vehículo, mientras que, el sobreviraje se trata de un exceso de giro del vehículo provocado por un deslizamiento extremo del puente trasero denominado trompo, los vehículos con tracción trasera tienden al sobreviraje (Águeda et al., 2014).

Figura 17

Subviraje y sobreviraje.



Nota. En la siguiente figura muestra el sobreviraje y subviraje del vehículo. Tomado de (Jesús Calvo, 2021).

“El círculo de viraje no es más que el radio de giro multiplicado por 2 y generalmente el radio de giro en los vehículos es aproximadamente el doble de su distancia entre ejes o batalla” (Omar, 2018).

Ecuación 3

Círculo de viraje

$$R = 2 * B$$

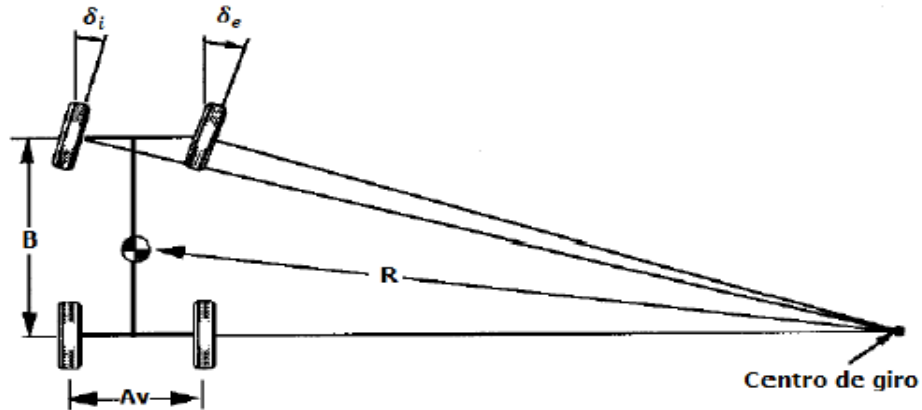
Donde:

$R =$ Radio de giro [m].

$B =$ Distancia entre ejes [m].

Angulo de giro

Para el ángulo de giro se determina mediante la utilización de la teoría de Ackermann y se obtienen los ángulos de giro tanto interior como exterior, de acuerdo a los valores de ancho de vía A_v , batalla B y radio de giro del vehículo R (Thomas, 1992).

Figura 18*Geometría Ackerman*

Nota. Representación geometría Ackerman de un vehículo. Tomado de (Thomas, 1992).

Los ángulos de giro vienen dados por las siguientes ecuaciones:

Ecuación 4

Ángulo de giro interno

$$\delta_i = \tan^{-1} \frac{B}{\left(R + \frac{A_v}{2}\right)}$$

Ecuación 5

Ángulo de giro externo:

$$\delta_e = \tan^{-1} \frac{B}{\left(R - \frac{A_v}{2}\right)}$$

Donde:

$B =$ batalla (m).

$R =$ Radio de giro (m).

$A_v =$ Ancho de vía (m).

Ecuación 6*Relación de transmisión de la dirección*

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

Donde:

 $i_D =$ *Relación de transmisión de la dirección.* $\beta =$ *Ángulo de giro del volante [°].* $\alpha =$ *Ángulo de viraje de las ruedas delanteras [°].***Ángulo de giro del volante**

“Se define como el ángulo de giro del volante de dirección dividido por el ángulo de viraje de las ruedas delanteras” (Kindler, 1986).

Ecuación 7*Ángulo de giro del volante*

$$\beta = Nv * 360^\circ$$

Donde:

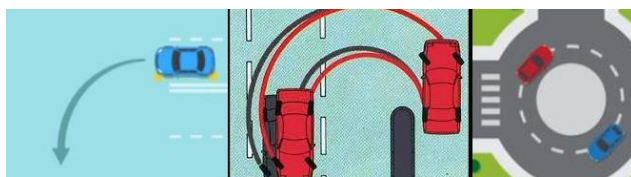
 $\beta =$ *Ángulo de giro del volante [°].* $Nv =$ *Número de vueltas del volante***Pruebas de giro**

Se llevarán a cabo pruebas específicas para analizar su capacidad de giro, en el cual se evaluarán mediante tres condiciones distintas. Estas pruebas consistirán en maniobrar el prototipo en un espacio seguro y controlado, en estas pruebas controladas, se girará el volante en diferentes ángulos y se evaluará el comportamiento del prototipo. La prueba de giro de 90° prueba la capacidad del prototipo para maniobrar en espacios reducidos, esto es esencial para

un estacionamiento preciso. La prueba de giro de 180° evalúa la capacidad del vehículo para maniobrar en espacios de estacionamiento limitados. Finalmente, la prueba de rotación de 360° comprueba la capacidad del prototipo para realizar un giro completo. Esto es importante para maniobrar en áreas congestionadas o redondeles.

Figura 19

Pruebas de giro



Nota. Pruebas de giro donde se observará el comportamiento del sistema de dirección del prototipo. Tomado de (Pérez Belló, 2011).

Sistema de suspensión

La misión de la suspensión, es la de impedir que las irregularidades del pavimento se transmitan a la carrocería, aumentar el confort y sobre todo es un conjunto fundamental en la seguridad activa manteniendo bien apoyadas las ruedas sobre el pavimento (D'Addario, 2017).

Figura 20

Suspensión delantera.



Nota. Suspensión delantera McPherson. Tomado de (Águeda et al., 2014).

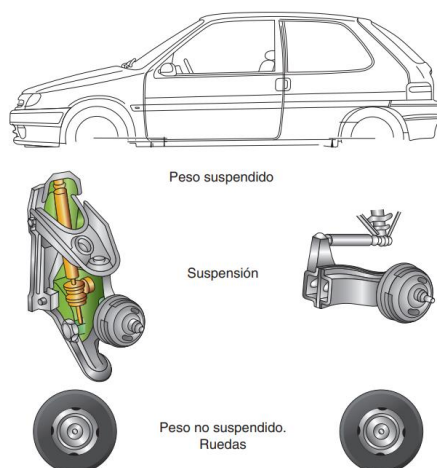
El diseño del sistema de suspensión es de gran importancia, ya que de él depende la adecuación de la respuesta del vehículo ante las diferentes sollicitaciones tanto estáticas como dinámicas. Por ejemplo, la fuerza lateral disponible en el contacto entre la carretera y un neumático depende de muchos factores, siendo los principales el ángulo de deriva, el ángulo de caída, la deformación vertical del neumático y el deslizamiento longitudinal (o relación entre la fuerza vertical y la fuerza longitudinal). Las posiciones espaciales y la fuerza vertical dependen directamente del sistema de suspensión, que posiciona la rueda con respecto a la carrocería del vehículo y al suelo, por lo que su diseño juega un papel crucial en el comportamiento dinámico del vehículo, requiriendo por ello una especial atención (Luque et al., 2004).

Principios físicos

Los elementos de suspensión han de soportar todo el peso del vehículo, por lo que deben ser suficientemente fuertes para que las cargas que actúan sobre ellos no produzcan deformaciones permanentes. Parte de los mecanismos del automóvil están soportados por la carrocería y se denominan pesos suspendidos. Estos configuran el conjunto chasis: carrocería, grupo motor-propulsor, pasajeros y carga. Otros mecanismos están apoyados directamente en el firme, como son: el eje y las ruedas, y se denominan pesos no suspendidos. La suspensión consiste en interponer entre el chasis-carrocería y las ruedas ciertos elementos deformables capaces de absorber las irregularidades del pavimento (González, 2014).

Figura 21

Ubicación de la suspensión

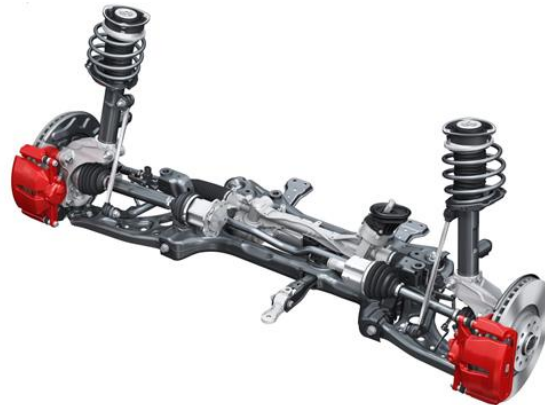


Nota. Componentes flexibles capaces de amortiguar las imperfecciones del suelo. Tomado de (González, 2014).

En un sistema de suspensión, cada rueda está unida a la carrocería a través de diversos elementos que le permiten un movimiento con respecto a la carrocería, controlado por un elemento elástico (muelle) y otro disipativo (amortiguador). Por su parte, el sistema de dirección controla el movimiento de rotación de la rueda en un eje aproximadamente vertical. De forma adicional, en vehículos de carretera, los brazos o tirantes de la suspensión incluyen casquillos o elementos elásticos que reducen la transmisión de ruido y vibraciones al habitáculo de pasajeros (Luque et al., 2004).

Figura 22

Suspensión McPherson



Nota. Sistema de suspensión McPherson Audi SQ2. Tomado de (Gómez, 2023)

“Su misión es la de evitar al máximo que las incidencias de la carretera se trasmitan a los órganos del vehículo y que se mantenga siempre el contacto del neumático con el pavimento” (González, 2014).

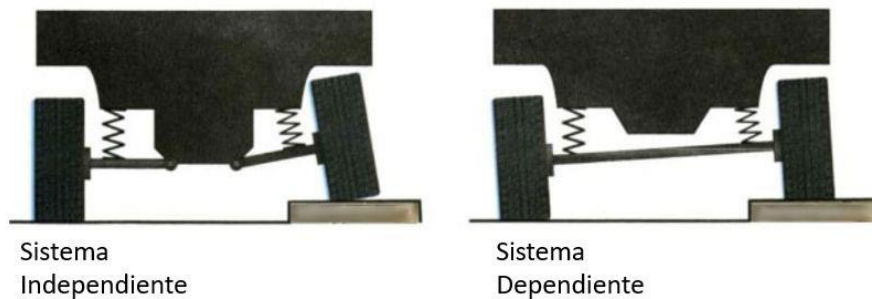
- Proteger a los pasajeros y al auto de las irregularidades presentes de la carretera.
- Permite una buena estabilidad contribuyendo al funcionamiento de la dirección.
- Apoyar a la seguridad activa del vehículo.

Tipologías del sistema de suspensión

La clasificación de los diferentes sistemas de suspensión puede realizarse atendiendo a diversos criterios, pero, dado que en la práctica se encuentran casi tantos tipos distintos como modelos de vehículos hay en el mercado, no puede establecerse como absoluta ninguna de estas clasificaciones. Generalmente, las suspensiones se clasifican en dos grandes grupos: suspensiones de eje rígido o dependiente y suspensiones independientes, apareciendo otra tipología que se denominará semindependiente, por ser funcionalmente intermedia entre las dos anteriores. Dentro de esta clasificación, y de forma adicional, también es habitual clasificarlas en delanteras y traseras (Luque et al., 2004).

Figura 23

Suspensión dependiente e independiente



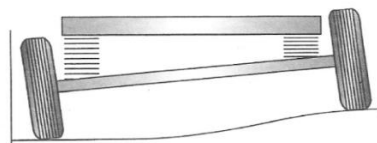
Nota. Sistemas en el cual las ruedas de un eje están conectadas. Tomado de (Crouse, 1999).

Suspensión dependiente

Los sistemas de suspensión dependiente o de eje rígido o sólido, cuentan con las ruedas del vehículo montadas en eje rígido y cuentan con resortes tipo helicoidal o con muelles en cada extremo y amortiguadores. La ventaja de este tipo de suspensión es que es robusta y de larga vida de servicio por la poca cantidad de partes móviles. Por las características anteriores, son usadas en vehículos de trabajo como camionetas y camiones. Así mismo, son suspensiones económicas, por lo que son usadas en el eje trasero de varios vehículos de pasajeros (Salvador, 2011).

Figura 24

Suspensión dependiente



Nota. Bamboleo y resbalamiento lateral de las ruedas con eje rígido. Tomado de (Salvador, 2011).

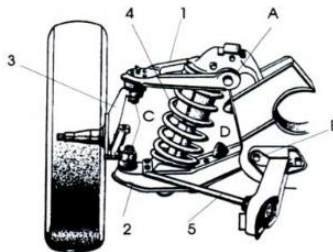
Eje Rígido. Es el tipo de suspensión más primaria y se pueden montar en el eje delantero o en el trasero (siendo propulsor o no). Si nos vamos a lo sencillo, podemos decir que es un tubo de acero que une dos ruedas. Por lo general, destacan por su resistencia, sencillez y por ser una solución económica, ya que las dos ruedas van montadas sobre un mismo eje (Puig, 2018).

Eje semirrígido. Las suspensiones semirrígidas cuentan con amortiguadores atornillados al puente central y disponen de un brazo adicional destinado a reducir las inclinaciones y vibraciones que se producen en la carretera. Este sistema está basado en la incorporación de muelles en soportes articulados atornillados a la barra del puente y al diferencial (Mapfre, 2022).

Suspensión paralelogramo deformable. La suspensión de paralelogramo deformable es la más utilizada en un gran número de automóviles tanto para el tren delantero como para el trasero. El paralelogramo está formado por un brazo superior y otro inferior que están unidos al chasis por los ejes respectivamente cerrando el paralelogramo a un lado el propio chasis y al otro la propia mangueta de la rueda. La mangueta está articulada con los brazos mediante rótulas esféricas que permiten la orientación de la rueda (Martín, 1997).

Figura 25

Suspensión de paralelogramo deformable convencional.

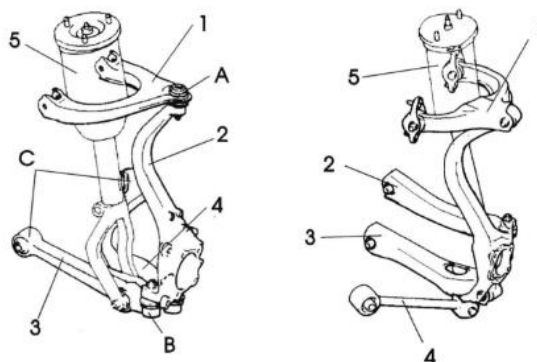


Nota. Elementos de una suspensión convencional de paralelogramo deformable. Tomado de (Martín, 1997).

Suspensión Multilink. Es una evolución de la suspensión de paralelogramo deformable. Como acabamos de ver, el paralelogramo está formado por los dos brazos transversales, la mangueta y el bastidor. La diferencia fundamental de este sistema es que los elementos de guía (brazos) de la suspensión multibrazo tienen varios brazos oscilantes anclados mediante cojinetes elásticos. Esto permite modificar los parámetros de la rueda, como caída o convergencia, de la forma más apropiada para conseguir un mayor contacto de las ruedas con el pavimento. En caso de su utilización, en el tren trasero permite ruedas auto direccionables para mejorar la estabilidad en las distintas situaciones de uso del automóvil (González, 2014).

Figura 26

Suspensión Multibrazo



Nota. Elementos de una suspensión Multilink delantera y trasera. Tomado de (Martín, 1997).

Suspensión independiente

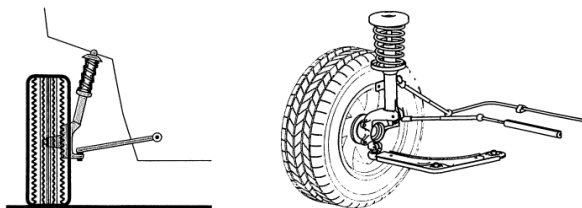
Los sistemas de suspensión independiente le permiten a cada rueda moverse independientemente de las otras ruedas. La suspensión independiente proporciona el soporte individual a cada rueda, lo cual impide que los golpes que recibe una rueda pasen a la otra. Tienen la ventaja de ser más ligeras que los sistemas dependientes y la mayor parte de su peso lo soportan los resortes, lo cual mejora la calidad del recorrido. La acción independiente de cada rueda mejora el manejo y el rendimiento en las curvas. Las suspensiones

independientes se utilizan tanto en la parte delantera como en la parte trasera del vehículo (Salvador, 2011).

Suspensión McPherson. Es uno de los sistemas más empleados en el eje delantero, este sistema solamente lleva un brazo oscilante, unido por un extremo al bastidor mediante cojinetes elásticos, y por el otro extremo a la mangueta a través de una rótula. La mangueta por su parte superior está unida al amortiguador vertical. Este está dotado de una plataforma en la cual se apoya el muelle que lo rodea y, por el extremo superior, se apoyan la carrocería en el conjunto muelle y amortiguador. Esta disposición, además de cumplir su función como suspensión y amortiguación, también sirve como eje vertical de giro de las ruedas. Por tanto, el conjunto describe un ángulo proporcional al efectuado en el volante (González, 2014).

Figura 27

Suspensión independiente con un brazo



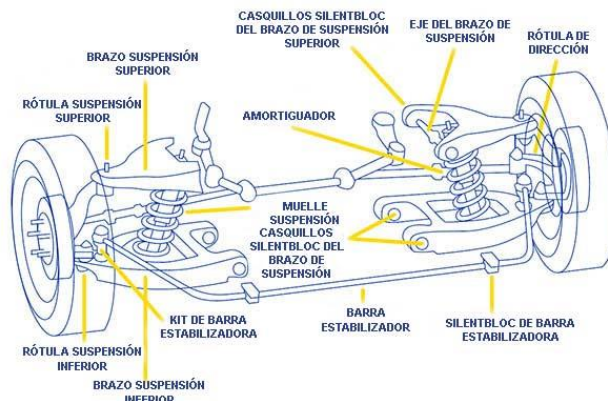
Nota. Brazo oscilante para la conexión entre la rueda y la carrocería. Tomado de (Luque et al., 2004).

Elementos de suspensión

La suspensión es un sistema del automóvil con un comportamiento elástico y disipativo al mismo tiempo, cuyo resultado dinámico se puede definir como vibratorio amortiguado. Se compone, por tanto, de elementos elásticos, que almacenan energía e idealmente la devuelven de forma íntegra, y disipativos, que amortiguan los movimientos. Los elementos elásticos definen las diferentes tipologías de suspensión, y pueden ser tanto mecánicos como neumáticos o hidráulicos (Luque et al., 2004).

Figura 28

Componentes de la suspensión

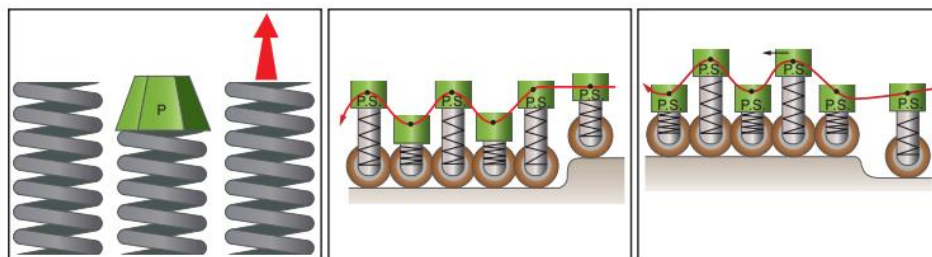


Nota. Elementos que forman parte del sistema de suspensión de un vehículo. Tomado de (Mapfre, 2022).

Elementos elásticos

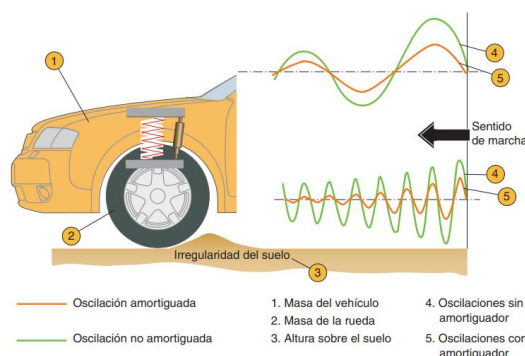
“Son unos elementos construidos de acero especial para resortes (acero al manganeso, al silicio, al silicio manganeso o al vanadio), a los que se le aplican diferentes tratamientos térmicos para mejorar sus propiedades, tales como elasticidad, resistencia mecánica” (González, 2014).

Muelles. Son los elementos que recogen directamente la irregularidad, absorbiéndola en forma de deformación. Tienen excelentes propiedades elásticas, pero no absorben bien la energía mecánica por lo que tienden a deformarse indefinidamente. Cuando, debido a una carga o a alguna irregularidad del terreno, el muelle se deforma, comprimiéndose o extendiéndose, y cesa la acción que produce la deformación, el muelle tenderá a deformarse en un sentido y otro indefinidamente, mientras que no haya algún sistema que lo impida. Esto se traducirá en un continuo balanceo del vehículo. A los movimientos descritos anteriormente se les denomina oscilaciones, vibraciones o movimientos vibratorios y vienen definidos por su amplitud y su frecuencia (Cebrián, 2016).

Figura 29*Funcionamiento del muelle*

Nota. Movimiento de compresión y expansión de los muelles. Tomado de (González, 2014).

Amortiguadores. El amortiguador disipa en forma de calor la energía cinética de la suspensión, originada por la dinámica de la masa suspendida o por las perturbaciones de la carretera, para permitir que el conjunto vuelva a su posición neutra de forma controlada, evitando el rebote del neumático y la pérdida del control del vehículo. Los amortiguadores utilizados en la actualidad son de tipo viscoso, con un amortiguamiento variable de tipo hidráulico. La característica de amortiguamiento requerida tiene que ser un compromiso entre la necesidad de prevenir las oscilaciones del sistema y la falta de confort que supone un amortiguamiento elevado ante las irregularidades de la carretera (Luque et al., 2004).

Figura 30*Oscilaciones del vehículo*

Nota. Reacciones del resorte al momento de un obstáculodxA1Q Tomado de (González, 2014).

Su funcionamiento se basa en un pistón que se desliza en un cilindro. El cilindro está lleno de aceite. Es necesario permitir el paso del aceite entre un lado y otro del pistón para que este pueda moverse. En funcionamiento, el pistón sigue los movimientos alternativos de subida y bajada de la rueda, si bien resulta más o menos frenado dependiendo de lo difícil que sea el paso de aceite entre ambas cámaras colocadas en cada lado del pistón. Además del paso de aceite que pueda existir entre la periferia, del pistón y cilindro, el pistón tiene varios orificios llamados orificios calibrados o válvulas de paso. Gracias a estas el pistón resulta mejor guiado, debido a que encuentra menos dificultad (González, 2014).

Barras estabilizadoras

Son unas barras de acero situadas transversalmente entre el eje trasero y la carrocería. Sirven para limitar las fuerzas laterales y, por tanto, contribuyen para mejorar la adherencia del vehículo. Normalmente, se conocen con el nombre de barras Panhard, están instaladas en puentes traseros con eje rígido (Casado, 2012).

Figura 31

Barra transversal Panhard



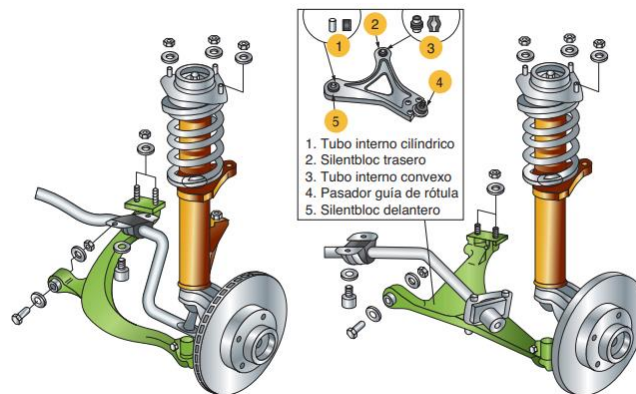
Nota. Uniones de la barra de Panhard conectadas a puntos específicos del chasis. Tomado de (Casado, 2012).

Brazos de suspensión

Cuando el vehículo está equipado con eje rígido, los elementos de suspensión van colocados entre el mismo eje y la carrocería. Sin embargo, los vehículos con ruedas independientes utilizan los brazos de suspensión, realizar la unión entre el bastidor y las ruedas. Por un extremo están unidos al bastidor y por el otro, a las ruedas independientes. Sirven de elemento soporte para el resorte y el amortiguador, los brazos de suspensión realizan el arrastre del vehículo, para ello deben estar elaborados de material altamente resistente (González, 2014).

Figura 32

Brazos de suspensión



Nota. Elementos del tren delantero de la suspensión. Tomado de (González, 2014).

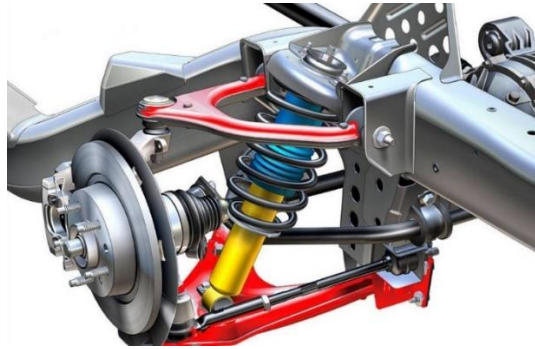
Métodos del accionamiento del muelle

El accionamiento del muelle de suspensión en un vehículo se lleva a cabo mediante distintos métodos, cada uno con sus propias características y finalidades específicas. Uno de los métodos más comunes es el accionamiento por medio de resortes helicoidales. Estos resortes, fabricados con acero de alta resistencia, se colocan estratégicamente entre el chasis del vehículo y el eje de las ruedas. Cuando el vehículo se encuentra en movimiento y pasa

sobre irregularidades en la carretera, el resorte absorbe y amortigua el impacto, proporcionando una mayor comodidad y estabilidad al vehículo (Staniforth, 2006).

Figura 33

Accionamiento de la suspensión.



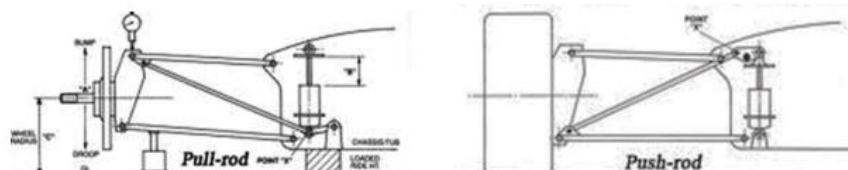
Nota. Conjunto de elementos que permiten el control y ajuste de la suspensión. Tomado de (Pérez, 2023).

Push/ Pull Rod

Ambas suspensiones son muy similares: la rueda se conecta al conjunto muelle - amortiguador y demás componentes de la suspensión como la barra estabilizadora, mediante un único brazo, pero mientras en un caso el brazo está sometido a esfuerzos de tracción, la abreviatura Pull (tirar, como un tirante), en el otro caso está sometido a esfuerzos de compresión, Push: empujar (Pacejka H. , 2006).

Figura 34

Sistema Pull / Push



Nota. Mecanismos de suspensión que utiliza barras de tracción para comprimir o estirar los resortes. Tomado de (Pacejka H. , 2006).

La relación de compresión del amortiguador es una medida que indica cómo varía la fuerza de amortiguación del amortiguador en relación con el desplazamiento del pistón. Se calcula dividiendo la fuerza de amortiguación máxima del amortiguador en compresión por la fuerza de amortiguación mínima. Esta relación es importante porque determina cómo el amortiguador responde a diferentes velocidades de compresión (Jesús Calvo, 2021).

Ecuación 8

Relación de Compresión del Amortiguador

$$C = \frac{\text{Longitud libre del amortiguador}}{\text{Longitud del amortiguador bajo carga}}$$

Una relación de compresión alta significa que el amortiguador proporciona una mayor resistencia a la compresión, lo que puede ser beneficioso para vehículos que necesitan un manejo más preciso y controlado, como los vehículos deportivos. Por otro lado, una relación de compresión baja permite un amortiguamiento más suave y cómodo, adecuado para vehículos de pasajeros (Jesús Calvo, 2021).

Matriz de decisión

La importancia de la matriz de decisiones de Norton reside en su capacidad de proporcionar un marco estructurado y sistemático para evaluar y comparar diferentes opciones basadas en múltiples criterios “una matriz de decisión le permite medir objetivamente los criterios relevantes y asignar un valor a cada opción en función de esos criterios” (Norton, 2004)

Figura 35*Matriz de decisión*

	<i>Costo</i>	<i>Seguridad</i>	<i>Desempeño</i>	<i>Confiabilidad</i>	<i>RANGO</i>
<i>Factor de ponderación</i>	.35	.30	.15	.20	1.0
Diseño 1	3 1.05	6 1.80	4 .60	9 1.80	5.3
Diseño 2	4 1.40	2 .60	7 1.05	2 .40	3.5
Diseño 3	1 .35	9 2.70	4 .60	5 1.00	4.7
Diseño 4	9 3.15	1 .30	6 .90	7 1.40	5.8
Diseño 5	7 2.45	4 1.20	2 .30	6 1.20	5.2

Nota. Modelo de matriz de decisión propuesta por Norton. Tomado de (Norton, 2004).

En el proceso de diseño de un sistema de suspensión y dirección para el prototipo tipo “Tumbler”, una matriz de decisión resultar muy importante para seleccionar la opción más adecuada entre los diversos sistemas disponibles. Al considerar criterios como costo, desempeño e innovación, esta herramienta puede brindar una guía clara sobre qué opciones serán más efectivas para cumplir los objetivos del proyecto y los requisitos del usuario final.

Capítulo III

Diseño y selección del sistema de suspensión y dirección

Introducción

Este capítulo presenta la selección de varios elementos del sistema de suspensión y dirección de un prototipo tipo “Tumbler”, los criterios de la matriz de decisión se establecen para ayudar a seleccionar los componentes del sistema en estudio, formalizar los principios técnicos y científicos, determinar el sistema con suficientes partes para permitir la implementación del proceso o sistema y determinar estos parámetros. Desarrollo del sistema.

El proceso de diseño requiere la determinación de varios parámetros importantes para el desarrollo de sistemas de suspensión y dirección, geometría de la suspensión, tipo de suspensión, relación de compresión del amortiguador, etc. Definir con precisión estos parámetros es importante para garantizar que el diseño cumpla con los requisitos funcionales y de rendimiento del prototipo.

Una vez completado el diseño conceptual, comienza la implementación y desarrollo del sistema de suspensión y dirección. Esto incluye elegir los materiales y componentes adecuados. Es importante realizar pruebas exhaustivas en condiciones reales para garantizar que el sistema cumpla con los estándares de calidad y rendimiento esperados.

Funcionalidad y Eficiencia

El diseño de un producto o sistema debe lograr efectivamente su propósito. Esto tiene en cuenta las necesidades del usuario, las limitaciones ambientales y las propiedades de los materiales. Un buen diseño debe ser intuitivo, seguro y fiable.

Selección de componentes

Para implementar una matriz de decisión para los sistemas de suspensión y dirección del prototipo tipo “Tumbler”, primero necesitamos identificar los criterios clave que afectarán la elección de los componentes y tecnologías para estos sistemas. Luego, asignaremos pesos a

estos criterios según su importancia relativa y evaluaremos las diferentes opciones disponibles en función de cada criterio.

Criterio para el sistema de dirección a utilizar

El sistema de dirección para un vehículo es una decisión fundamental que afecta tanto al rendimiento como la seguridad del mismo. Se debe considerar una serie de criterios clave, que van desde la precisión y la sensibilidad hasta la complejidad de diseño y los costos asociados.

Se tiene tres sistemas de dirección propuesto:

- Mecánica
- Hidráulica
- Asistida

Tabla 1

Conceptos para el sistema de dirección

Aspecto Técnico	Dirección Mecánica	Dirección Hidráulica	Dirección Asistida
Tipo de asistencia	Ninguna	Hidráulica	Eléctrica o Hidráulica
Comodidad	Menor	Mayor	Mayor
Peso	Ligero	Pesado	Pesado
Complejidad	Baja	Alta	Alta
Mantenimiento	Bajo	Medio	Medio
Costo	Bajo	Medio - Alto	Alto

Nota. Aspectos técnicos de los diferentes sistemas de dirección.

A cada uno de estos aspectos se le da un peso determinado para reflejar su importancia en la toma de decisiones. Evaluamos el impacto del peso del sistema de dirección, que representa el 30%, en la eficiencia global del prototipo y priorizamos los componentes que contribuyen a mantener un peso suficiente. El precio del 20% equilibra el coste total del

vehículo y se considera muy importante para encontrar la mejor relación calidad-precio. El mantenimiento (20%) se centra en la rentabilidad y la mantenibilidad para reducir los costos operativos con el tiempo. Finalmente, la simplicidad del diseño se calificó con un 30% debido a su impacto en la facilidad de fabricación, instalación y mantenimiento del sistema de dirección, una consideración importante que afecta tanto la eficiencia del prototipo como los costos a largo plazo.

Tabla 2

Matriz de decisión para el sistema de dirección

	Peso	Precio	Mantenimiento	Simplicidad de diseño	RANGO
Factor de ponderación	0.3	0.2	0.2	0.3	1
Mecánica	2.4	1.8	1.6	2.1	7.9
Hidráulica	1.5	1.4	1.4	2.4	6.7
Asistida	1.8	1.4	1.4	2	6.6

Nota. Factores de ponderación para la selección del sistema de dirección del prototipo.

Después de un análisis exhaustivo, se llegó a la conclusión de que la dirección mecánica es la opción más idónea para el sistema de dirección del prototipo tipo "Tumbler". El peso es un factor determinante en el rendimiento general del vehículo. La dirección mecánica resulta más ligera al no necesitar componentes adicionales. En cuanto al costo, la dirección mecánica destaca por su asequibilidad tanto en adquisición como en implementación.

Figura 36

Cremallera de dirección Suzuki Forsa 1



Nota. En la siguiente figura representa el sistema de dirección mecánica que se va a utilizar para el prototipo tipo “Tumbler”.

La dirección mecánica, sin componentes hidráulicos ni eléctricos, presenta una menor probabilidad de fallos y requiere un mantenimiento menos frecuente y más económico en comparación con otras alternativas. La simplicidad del diseño mecánico de la dirección proporciona beneficios adicionales. Menos componentes y subsistemas móviles facilitan la fabricación, la instalación y el mantenimiento.

Criterio para la columna de dirección

La columna de dirección de un automóvil es una parte importante que conecta el volante y el sistema de dirección, lo que permite al conductor conducir el vehículo de manera segura y eficiente. Este componente juega un papel importante en la experiencia de conducción, ya que es la interfaz principal entre el conductor y el vehículo.

Para eso se tienen tres conceptos sobre la columna de dirección:

- Suzuki Forsa 1
- Suzuki Forsa 2
- Corsa Wind

Tabla 3*Conceptos para la columna de dirección*

Especificaciones Generales	Suzuki Forsa 1	Suzuki Forsa 2	Corsa Wind
Costo	59\$	75\$	100\$
Longitud sistema	1,20 m	1,30 m	1,25 m
Peso total	4 Kg	4,2 Kg	4,5 Kg
Lubricante recomendado	Grasa grado 2 Multipropósitos	Grasa grado 2 Multipropósitos	Grasa grado 2 Multipropósitos

Nota. Conceptos de solución para la implementación de la columna de dirección del prototipo.

A la hora de evaluar y seleccionar una columna de dirección para un vehículo se utiliza una matriz de decisión que mide cuatro aspectos clave: accesibilidad, compatibilidad con otros componentes del vehículo, ergonomía y durabilidad. La compatibilidad con otros componentes del vehículo, como el sistema de dirección, es un 30% importante para garantizar la accesibilidad y el funcionamiento eficiente, que son fundamentales para garantizar el funcionamiento del vehículo. La ergonomía, que incide en la comodidad del operador, tiene un peso del 20%, mientras que la durabilidad, importante para un funcionamiento fiable en el tiempo, tiene un peso del 20% en la toma de decisiones.

Tabla 4

Matriz de decisión para la columna de dirección

	Disponibilidad	Compatibilidad	Ergonomía	Durabilidad	RANGO
Factor de ponderación	0.3	0.3	0.2	0.2	1
Suzuki Forsa 1	2.7	2.4	1.6	1.6	8.3
Suzuki Forsa 2	2.4	2.1	1.4	1.4	7.3
Corsa Wind	2.1	2.4	1.4	1.2	7.1

Nota. Factores de ponderación para la selección de la columna de dirección del prototipo.

Tras un análisis exhaustivo, se ha llegado a la conclusión de que la columna de dirección más adecuada para el prototipo tipo "Tumbler" es la columna de dirección del modelo Suzuki Forsa 1. Esta selección se fundamenta en varios criterios importantes: disponibilidad, compatibilidad con otros componentes del vehículo, ergonomía y durabilidad.

Figura 37

Columna de dirección



Nota. Representación de la columna de dirección y sus diferentes componentes.

Comenzando por la disponibilidad de la columna de dirección del Suzuki Forsa 1 es un factor crucial. Se ha determinado que esta columna de dirección está ampliamente disponible en el mercado, y a su vez su costo es más económico a comparación de las otras columnas de

dirección. La columna de dirección del Suzuki Forsa 1 señala ser compatible con una variedad de sistemas de dirección, controles de seguridad y electrónica

Criterio para el tipo de suspensión a utilizar

El sistema de suspensión consta de elementos que conectan el chasis y las ruedas, permitiendo que las ruedas absorban directamente las irregularidades del terreno de conducción, siendo también responsables del manejo, la estabilidad y el confort del prototipo.

Tabla 5

Aspectos técnicos del sistema de suspensión

Aspecto Técnico	Suspensión Independiente	Suspensión de Eje Rígido	Suspensión de Doble Horquilla
Maniobrabilidad	Alta	Baja	Media
Confort de Conducción	Alto	Bajo	Medio
Estabilidad	Alta	Alta	Alta
Adaptabilidad	Moderada	Baja	Alta
Mantenimiento	Moderado	Bajo	Moderado
Complejidad	Moderada	Baja	Moderada
Peso del Sistema	Ligero	Pesado	Moderado
Control de la Dirección	Mayor	Menor	Mayor
Costo	Moderado	Bajo	Moderado

Nota. Resumen de los aspectos técnicos de cada tipo de sistema de suspensión del prototipo.

Se ha seleccionado implementar un sistema de suspensión independiente para el prototipo tipo "Tumbler" debido a sus ventajas significativas en términos de rendimiento y manejo. Este tipo de suspensión permite que cada rueda se mueva de manera independiente lo que proporciona una mayor estabilidad durante la conducción.

Criterio para la selección de los amortiguadores

Para seleccionar adecuadamente los amortiguadores del prototipo, es crucial tener en cuenta el peso tanto del chasis como del motor. El peso total del vehículo influye directamente en la capacidad de carga que los amortiguadores deben soportar, así como en su capacidad para absorber y amortiguar los impactos. Un chasis más pesado requerirá amortiguadores con una capacidad de carga mayor para garantizar un rendimiento óptimo y una conducción suave.

Además, es esencial no considerar la masa no suspendida del vehículo. Esta masa se refiere al peso de los componentes que no son soportados por el sistema de suspensión, lo cual incluye las ruedas, neumáticos, frenos, ejes y otros elementos conectados directamente a las ruedas y que se mueven con ellas. Incluyendo estos elementos, se obtiene una imagen más precisa de la carga total que los amortiguadores deben manejar.

Tabla 6

Masa suspendida del prototipo

Componente	Peso (kg)
Chasis	82.22 kg
Motor	80 kg
Transmisión	70 kg
Sistema de alumbrado	6.71 kg
Sistema de dirección	32,28 kg
Sistema de suspensión	17,76 kg
Asientos	18,144 kg
Pedalera	10 kg
Depósito de combustible (lleno)	20,52 kg
TOTAL	337,634 kg

Nota. Pesos suspendidos del prototipo tipo "Tumbler" para la selección de los amortiguadores.

Selección de los amortiguadores delanteros

Para optimizar el diseño de nuestro prototipo tipo “Tumbler”, es fundamental considerar la disposición y configuración de los amortiguadores delanteros. Dado que el espacio dentro del vehículo es un factor crucial, proponemos instalar cuatro amortiguadores delanteros dispuestos de forma horizontal. Esta disposición permitirá economizar espacio de manera efectiva al distribuir la carga y la función de absorción de impactos entre múltiples amortiguadores instalados de manera horizontal a lo largo del chasis del prototipo. Al posicionar los amortiguadores de esta manera, podemos aprovechar al máximo el espacio disponible sin comprometer la funcionalidad ni el rendimiento del sistema de suspensión. Además, esta disposición horizontal de los amortiguadores delanteros ofrecerá una mayor estabilidad y control al prototipo.

Tabla 5

Aspecto	Amortiguador de Moto	Amortiguador de Vehículo
Precio	Menor	Mayor
Peso	Menor	Mayor
Agilidad	Mayor	Menor
Maniobrabilidad	Mayor	Menor
Ajustabilidad	Mayor	Menor
Espacio de Montaje	Menor	Mayor
Mantenimiento	Menor	Mayor

Nota. Conceptos de solución para la selección del amortiguador del prototipo.

Hemos optado por utilizar la suspensión de moto en nuestro diseño debido a las ventajas que ofrecen los amortiguadores de este tipo. Una de las razones principales es la capacidad de los amortiguadores de moto, especialmente cuando se trata de un diseño que incluye cuatro de ellos. La disposición de cuatro amortiguadores de moto proporciona una

capacidad de amortiguación adecuada para el tipo de carga y las condiciones de conducción esperadas en nuestro prototipo.

En comparación con los amortiguadores de vehículo, los de moto suelen ser más ligeros y están diseñados para manejar cargas más ligeras y un rango más amplio de condiciones de conducción. Además, la disposición de cuatro amortiguadores de moto permite una distribución más uniforme de la carga y una mayor agilidad en la conducción. Si optáramos por utilizar los amortiguadores de un vehículo, podríamos encontrarnos con el desafío de que estos amortiguadores están diseñados para soportar cargas más pesadas y podrían ser excesivos para el prototipo. Esto podría resultar en una suspensión demasiado rígida o pesada, lo que afectaría negativamente la agilidad y la maniobrabilidad del prototipo, debido a la disponibilidad del mercado hemos optado por dos marcas para la suspensión delantera

Amortiguador MOXAL QM200GY

Al elegir la marca de amortiguador Moxal para la suspensión delantera, que tiene una capacidad de carga de 300 lb, y considerando que se instalarán cuatro amortiguadores en la parte delantera, se ha realizado una elección que busca equilibrar la capacidad de carga con las necesidades específicas del prototipo. La capacidad de carga de 300 lb por amortiguador proporciona una base sólida para manejar las cargas esperadas en la suspensión delantera.

Figura 38

Especificaciones del amortiguador Moxal



Nota. Se muestran todos los datos técnicos del amortiguador Moxal.

Amortiguador Trenssun AMO- M36

La elección del amortiguador Trenssun AMO-M36 Negro sobre otras opciones, incluido el amortiguador de la marca Moxal, se basó en la coincidencia de su longitud con la del modelo Moxal. Esta equiparación de longitudes sugiere una compatibilidad adecuada con el del prototipo tipo “Tumbler”. Además, factores logísticos como la disponibilidad inmediata del modelo Trenssun influyeron en la decisión de compra. Además, con su capacidad de carga de 340 libras. También se ha demostrado que esta configuración funciona en conjunto con los brazos de dirección para mejorar la estabilidad y el manejo del prototipo al contribuir a la rigidez del chasis.

Figura 39

Especificaciones del amortiguador Tressun



Amortiguador Tressun AMO- M36

[Visita la tienda de Akozon](#)

[Buscar en esta página](#)

No disponible por el momento.

No sabemos si este producto volverá a estar disponible, ni cuándo.

- Características: absorbe los golpes rápidamente en la carretera más gruesa para mejorar la seguridad y hacerte sentir más cómodo. Reduce los golpes en la conducción de motocicletas y proporciona una conducción cómoda y segura.
- Longitud 34 cm
- Longitud del amortiguador libre 195 mm
- Capacidad de carga 340 lb
- Peso 1.8 kg

[Ver los detalles del producto](#)

[Informar de un problema con este producto o vendedor](#)

Nota: Los productos con enchufes eléctricos están diseñados para usarse en EE. UU. Las tomas de corriente y la tensión difieren a nivel internacional. Es posible que este producto requiera un adaptador o convertidor para poder usarse en su destino. Comprueba la compatibilidad antes de comprar.

Nota. Se muestran todos los datos técnicos del amortiguador Tressun.

Al elegir una marca y modelo específicos como los Amortiguador Moxal y Tressun, se ha considerado la reputación y la calidad del fabricante, así como las especificaciones técnicas del producto. La capacidad de carga del amortiguador, en conjunto con otros factores como el diseño, la durabilidad, ha sido un criterio importante en la selección, garantizando que los amortiguadores puedan cumplir con los requisitos de rendimiento y seguridad del prototipo en una variedad de condiciones de conducción.

Figura 40

Amortiguadores delanteros



Nota. Amortiguadores delanteros a utilizar en el prototipo.

Tabla 7*Parámetros amortiguador delanteros*

Marca	Moxal	Trensun
Parámetro	Valor	Valor
Longitud	34 cm	34 cm
DI	1.2 cm	1.2 cm
Longitud del amortiguador libre	16 cm	19.5 cm
Peso	1.7 kg	1.8 kg
Diámetro vástago	3.1	3.2
Capacidad de carga	300 lb	340 lb

Nota. Parámetros generales de los amortiguadores de la parte delantera del prototipo.

Criterio para el accionamiento del muelle de la suspensión delantera

Hemos optado por el accionamiento push rod para la suspensión de nuestro prototipo debido a la disposición horizontal del mismo. Esta elección se basa en la necesidad de adaptar la suspensión a las características específicas de nuestro diseño, el cual requiere una configuración horizontal para optimizar el espacio disponible y mejorar la aerodinámica del vehículo. El accionamiento push rod se presenta como la solución más adecuada en este contexto, ya que permite colocar los componentes de la suspensión de manera plana y paralela al suelo, reduciendo la altura del chasis y contribuyendo a un centro de gravedad más bajo.

Tabla 8*Beneficio del sistema Push-Rod*

Beneficio	Nivel
Bajo centro de gravedad	Alto
Control preciso	Alto
Mejor aerodinámica	Alto
Reducción del balanceo	Alto
Flexibilidad de diseño	Medio
Menos peso no suspendido	Medio
Apariencia estética	Bajo

Nota. Parámetros generales del sistema de accionamiento push-rod del sistema de suspensión.

Figura 41*Push Rod*

Nota. Sistema de accionamiento Push Rod de la suspensión delantera Tomado de (Pérez Belló, 2011).

Selección sistema de suspensión trasera

La selección del sistema de suspensión trasera para el prototipo tipo "Tumbler" debe realizarse con un enfoque meticuloso, considerando las demandas únicas de este vehículo.

Debido a que la distribución de peso del prototipo se encuentra mayormente en la parte trasera debido a la ubicación del motor, será necesario elegir una suspensión capaz de manejar

eficazmente esta carga mientras se optimiza el rendimiento y la estabilidad del prototipo. Es fundamental elegir un sistema que ofrezca un equilibrio entre resistencia estructural, capacidad de absorción de impactos

Dentro de este sistema contamos con tres conceptos propuestos:

- Paralelogramo deformable
- Multilink
- McPherson

Cada uno de estos parámetros recibe un factor de ponderación específico para reflejar su importancia relativa en el proceso de selección. El espacio disponible, con un peso del 30%, destaca la necesidad de que la suspensión trasera se adapte al espacio disponible en el vehículo sin comprometer su funcionalidad. La masa no suspendida, con un 10%, señala la importancia de minimizar el peso de los componentes no soportados por la suspensión para mejorar la agilidad y la respuesta del prototipo. La eficacia estructural, con un 40%, resalta la necesidad de que la suspensión trasera sea capaz de soportar las cargas y fuerzas aplicadas durante la conducción sin comprometer la integridad estructural del vehículo. Por último, el rendimiento, con un factor de ponderación del 20%, destaca la importancia de optimizar el comportamiento dinámico del vehículo, incluyendo su manejo, estabilidad y capacidad de adaptación a diferentes condiciones de conducción.

Tabla 10

Matriz de decisión para el sistema de suspensión trasera

	Espacio Disponible	Masa no suspendida	Eficacia estructural	Rendimiento	RANGO
Factor de ponderación	0.3	0.1	0.4	0,2	1
Paralelogramo deformable	1.8	0.7	2.8	1.6	6.9
Multilink	2.7	0.8	2.4	1.4	7.3
McPherson	2.4	0.8	3.6	1.8	8.6

Nota. Factores de ponderación para la selección del sistema de suspensión trasera del

La selección del sistema de suspensión McPherson para la parte posterior del prototipo se fundamenta en un análisis detallado de las opciones disponibles y sus respectivos desempeños. Tras revisar los datos proporcionados, se destaca que el sistema McPherson exhibe consistentemente resultados superiores en comparación con otras alternativas como el Paralelogramo Deformable y el Multilink, especialmente en términos de estabilidad, capacidad de respuesta y confort de conducción. La evaluación revela que el sistema McPherson obtiene puntajes más altos en aspectos clave como la estabilidad lateral y la absorción de impactos, lo que garantiza un manejo seguro y suave del prototipo.

Amortiguador KENZU

La elección de los amortiguadores de la marca KENZU para el modelo Suzuki Forsa 1 se fundamenta en la distribución del peso del prototipo, que se concentra mayormente en la parte trasera debido a la ubicación del motor en esa área. Esta distribución del peso plantea la necesidad de amortiguadores capaces de soportar cargas adicionales y proporcionar un

rendimiento óptimo en términos de estabilidad y control. Los amortiguadores KENZU han sido seleccionados específicamente por su capacidad para manejar cargas de hasta 400 libras, lo que los hace adecuados para abordar las demandas de un vehículo con un peso significativo en la parte trasera. Además de su capacidad de carga, los amortiguadores KENZU también ofrecen cualidades de durabilidad, fiabilidad y rendimiento, lo que los convierte en una elección idónea para garantizar un comportamiento dinámico seguro y confortable del vehículo en una variedad de condiciones de conducción.

Figura 42

Amortiguador posterior



📌 AMORTIGUADOR DELANTERO. LH/OIL 632049 KENZU

[Buscar en esta página](#)

No disponible por el momento.

No sabemos si este producto volverá a estar disponible, ni cuándo.

Marca	KENZU
Estilo	Modern
Tipo de servicio	Car
Acabado exterior	Pintado

Sobre este artículo

- Amortiguador de choque y puntales de amortiguador de choque delantero para Suzuki Forsa 1, Corsa Wind
- Carga soportada: 400 lb
- Longitud del vástago libre: 200 mm

[Ver los detalles del producto](#)

[Informar de un problema con este producto o vendedor](#)

Nota: Los productos con enchufes eléctricos están diseñados para usarse en EE. UU. Las tomas de corriente y la tensión difieren a nivel internacional. Es posible que este producto requiera un adaptador o convertidor para poder usarse en su destino. Comprueba la compatibilidad antes de comprar.

Nota. Amortiguador de la marca KENZU para la parte posterior del prototipo. Tomado de (Mapfre, 2022)

Tabla 9*Parámetros amortiguador KENZU*

Parámetro	Valor
Longitud	48 cm
DI	2.5 cm
Longitud del amortiguador libre	22 cm
Peso	4 kg
Diámetro vástago	1.9 mm
Capacidad de carga	400 lb

Nota. Parámetros generales del amortiguador de la parte posterior del prototipo.

Dado que la capacidad de carga de los amortiguadores seleccionados es de 2080 libras y la masa suspendida del prototipo es de 337,634 kg, esta elección de amortiguadores es correcta. La capacidad de carga máxima de los seis amortiguadores según su ficha técnica es de 943,4721 kg, lo que supera la masa suspendida del prototipo, pero debemos tener en consideración que en la parte delantera del prototipo entre el brazo de dirección y el chasis sufren un gran esfuerzo, por lo que, si se lo coloca amortiguadores de baja capacidad de carga, esta parte tiende a doblarse y pegarse al piso. Esto indica que los amortiguadores tienen capacidad suficiente para soportar el peso del prototipo y proporcionar una suspensión efectiva. Esta elección es especialmente importante teniendo en cuenta el peso total del prototipo, que garantiza unas prestaciones óptimas y una conducción segura.

Criterios para el brazo de dirección

El brazo de dirección es una parte crucial del sistema de dirección de un vehículo. Su función principal es convertir el movimiento rotativo del eje de dirección en movimiento lineal que se transmite a las ruedas delanteras para girarlas en la dirección deseada.

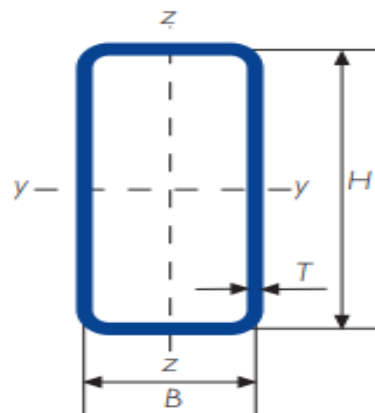
Este acero se ha seleccionado por su facilidad de soldar, para los diferentes procesos de fabricación, además es conocido por su buena resistencia a la tracción y su ductilidad, a continuación, se detallan los diferentes parámetros del acero estructural ASTM 500.

Acero estructural de perfil tubular – rectangular

El acero estructural de perfil tubular rectangular es un tipo de material utilizado en la construcción o en algunas otras aplicaciones dentro de la industria debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad.

Figura 43

Perfil rectangular



Nota. Dimensiones del acero estructural de perfil rectangular. Tomado de (Cátalogo Condensa).

Tabla 10*Parámetros del acero estructural ASTM 500*

Significado	Símbolo	Valor
Dimensión Especifica De Lados	H/B	80/40
Espesor Especifico	T	4
Masa Lineal	M	6,71
Área De La Sección Transversal	A	8,55
Momento De Inercia	I_{xx}/I_{yy}	64,8/21,5
Radio De Giro	i_{xx}/i_{yy}	2,75/1,59
Módulo Elástico	W_{elxx}/W_{elyy}	16,2/10,7
Módulo Plástico	W_{plxx}/W_{plyy}	20,9/12,8
Momento De Inercia De Torsión	I_t	55,2
Módulo De Torsión	C_t	18,8
Superficie Lateral Por Unidad De Largo	A_s	0,226
Largo Nominal Por Tonelada	—	149
Área Superficie Exterior Por Metro	$\frac{A_s}{v}$	265

Nota. Diferentes parámetros del acero estructural 500. Tomado de (Cátalogo Condensa).

El componente que vamos a fabricar con esta materia es el brazo de dirección, ya que se necesita una excelente resistencia a la compresión y flexión, facilitando soportar cargas pesadas o fuerzas externas. Además, facilita el trabajo ya que a comparación de otros aceros este es relativamente ligero facilitando su manipulación.

Figura 44*Brazo de dirección*

Nota. Ensamblaje del brazo de dirección a usar para el prototipo tipo “Tumbler”.

Selección de Juntas Universales

Las juntas universales también se conocen como juntas cardán, este componente es muy importante para el sistema de dirección ya que garantiza el rendimiento y la durabilidad, así como los momentos de torsión y las diferentes fuerzas de impacto que afronta este sistema.

Tabla 11*Junta simple con acoplamiento abiertos*

Código	Dimensiones y formas	Referencia de Tipos (2)	b+/-1
C1	Ø 15	0734.**	39
C1	Ø 15	2695.**	39

Nota. Especificaciones sobre la junta simple a utilizar (matrimonio).

Figura 45*Junta universal*

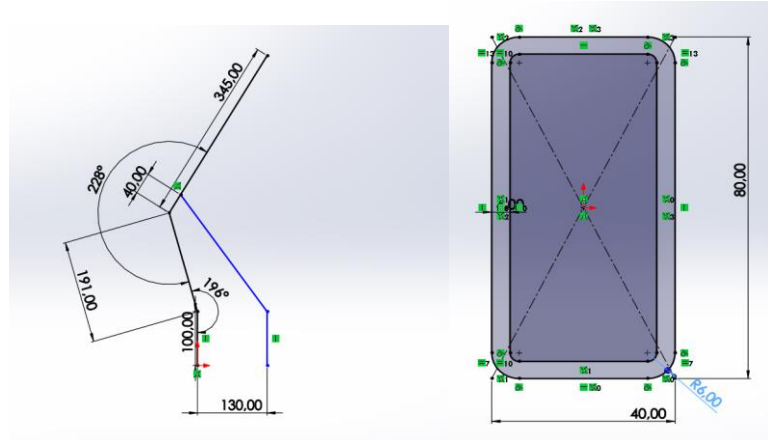
Nota. Representación de la junta universal a utilizar en el prototipo tipo “Tumbler”.

Diseño del brazo de dirección

El diseño del brazo de dirección debe ser minucioso, considerando cuidadosamente las dimensiones y los ángulos requeridos para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema de dirección y suspensión del prototipo. Con una longitud total de 590.70 mm, se debe asegurar que el brazo proporcione la longitud adecuada para alcanzar las especificaciones de diseño. Además, es crucial tener en cuenta los dos ángulos de 196° y 228° , los cuales determinan la posición de la rueda y su capacidad de giro. Estos ángulos deben ser precisamente incorporados en el diseño del brazo de dirección para garantizar que la rueda pueda moverse correctamente dentro de los límites establecidos.

Figura 46

Croquis del brazo de dirección y del Push Rod



Nota. Croquis detallado de las dimensiones del brazo de dirección del prototipo.

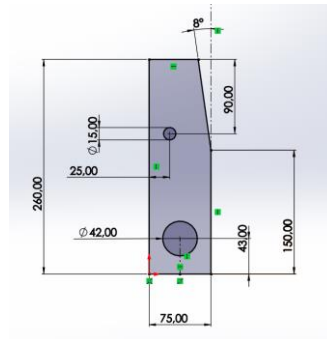
El brazo de dirección está fabricado con acero estructural rectangular ASTM A500, con dimensiones de 80x40 mm y un espesor de 4 mm. Este material ofrece resistencia, durabilidad y una excelente capacidad para soportar cargas lo que permite crear un brazo de dirección preciso y confiable.

Diseño del Push Rod

Se diseñó una platina de espesor 11.6 mm fabricada con acero ASTM A36 para funcionar como push rod, encargado de accionar el amortiguador. Se incorporó un ángulo de 8° para garantizar la adecuada acción del amortiguador, asegurando así un rendimiento óptimo del sistema en términos de absorción de impactos y estabilidad.

Figura 47

Dimensiones del Push Rod



Nota. Croquis detallado de las dimensiones del accionamiento del push rod.

Funcionamiento del sistema de dirección del prototipo

El diseño del sistema de dirección del modelo experimental tiene características muy atractivas, especialmente porque el sistema de frenos está ubicado en el exterior de ambas ruedas, por el cual es fundamental implementar un sistema que transfiera el movimiento desde la cremallera hasta las sujeciones de las llantas.

Para el funcionamiento, se implementa un acople móvil al brazo de dirección, lo cual resulta de gran ayuda, ya que este será el encargado de fijar el sistema de frenos y las llantas del prototipo.

Figura 48

Acople del disco de freno

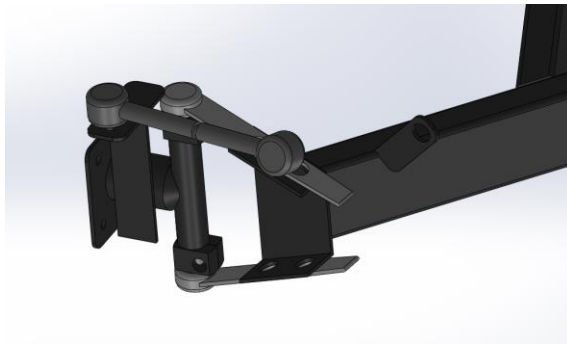


Nota. Ensamble del acople del disco de freno con el brazo de dirección.

Para lograr que todo el sistema de dirección gire, se implementaron dos axiales cuya función es permitir el movimiento rotativo entre dos partes. Estos fueron fijados al acople del disco, mientras que el otro lado será unido a una barra de empuje conectada a la cremallera.

Figura 49

Axiales de la dirección

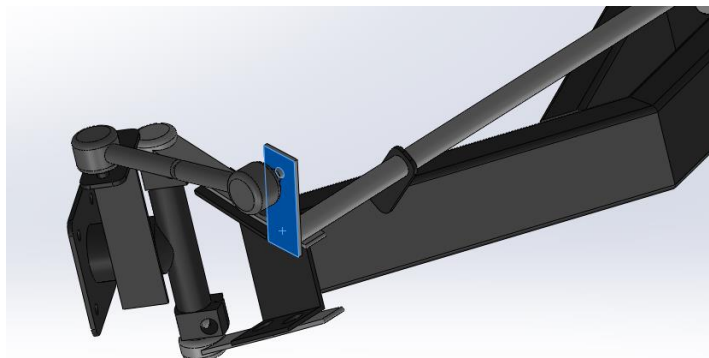


Nota. Sujeción de los axiales con el acople del disco.

Al otro lado del axial, se fija a la barra de empuje, la cual a su vez está conectada con la cremallera. Esta conexión permite que el acople del disco gire en ambas direcciones, facilitando así el movimiento de las ruedas del prototipo.

Figura 50

Barra de empuje



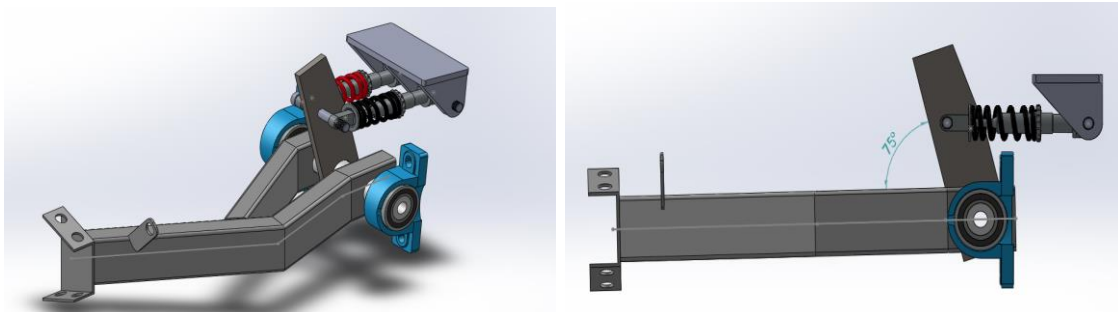
Nota. Sujeción de la barra de empuje con el axial.

Ensamble del sistema de suspensión

En el ensamblaje del sistema de suspensión del prototipo se utilizaron dos chumaceras las cuales serán empotradas al chasis para proporcionar un soporte estable, se empleó una barra perforada donde serán soldados tanto el brazo de suspensión como el push rod del amortiguador, esta barra perforada sirve como punto de unión central para estos elementos clave del sistema de suspensión.

Figura 51

Ensamble del sistema de suspensión y brazo de dirección



Nota. Accionamiento del sistema de suspensión del prototipo tipo “Tumbler”.

De acuerdo al diseño del prototipo tipo “Tumbler” ambos amortiguadores se colocan horizontalmente y se activan mediante el empuje del Push Rod, este diseño permite una distribución uniforme de la fuerza y una respuesta eficiente del sistema de suspensión. Para garantizar un movimiento preciso, el brazo se soldó a un ángulo de 75° , lo que permite un desplazamiento de 15 cm, mientras que el Push Rod para moverse a 8 cm.

Asignación de Fuerzas

Para calcular las fuerzas que actuarán sobre el brazo y el push rod, es esencial considerar diversos componentes del sistema, como los frenos, las llantas y otros elementos. El peso de estos componentes resulta fundamental, ya que impactará directamente en la carga

que se aplicará en el extremo del brazo de dirección. De acuerdo a la implementación de sistema de seguridad del prototipo, tenemos la siguiente tabla con los pesos específicos

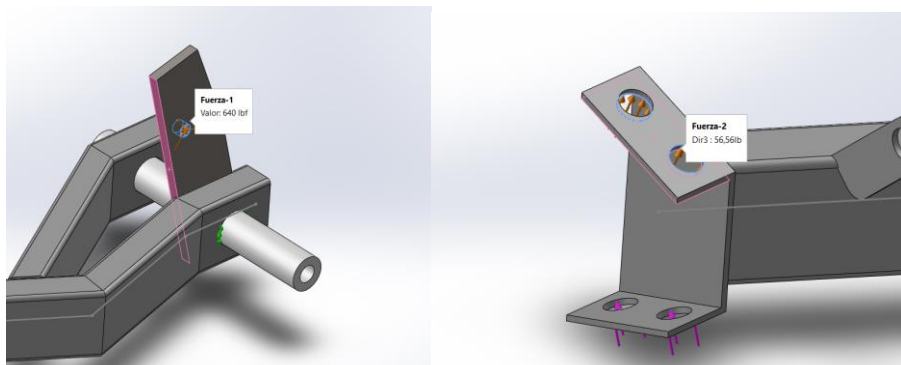
Tabla 12

Pesos del sistema de frenos

Componente	Peso (Libras)
Llanta y aro	24 lb
Manzana	2.6 lb
Disco	10 lb
Mordaza	2.2 lb
Soportes y extras	17.76 lb
TOTAL	56,56 LB

Nota. Masa no suspendida que soporta un brazo de la dirección del prototipo.

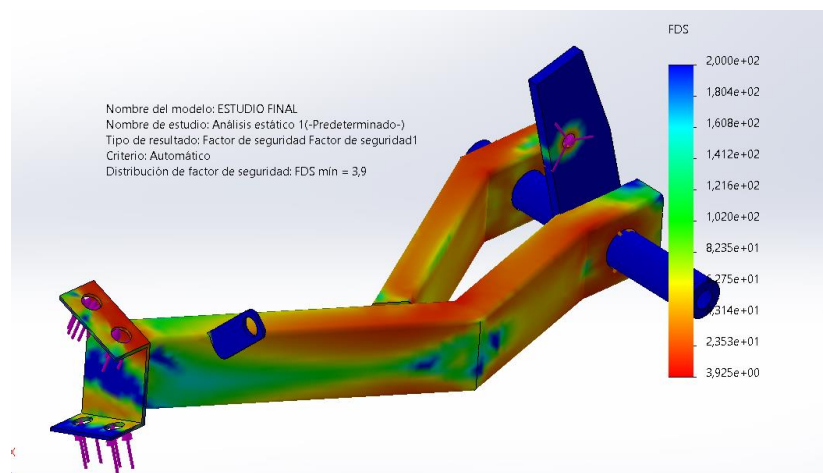
Para las fuerzas en el push rod, debemos tener en cuenta la ficha técnica que nos especifica los fabricantes de los amortiguadores, teniendo como resultado una capacidad de carga para Moxal de 300 lb y para la marca Trenssun una capacidad de 340 lb. Con la capacidad de carga de los amortiguadores, colocamos la fuerza de 640 lb en el pasador del push rod. En cambio, el peso de la masa no suspendida de todos los componentes de frenos de 56,56 lb colocamos en el acople del disco.

Figura 52*Asignación de Fuerzas*

Nota. Fuerzas en el acople del disco y en el push rod.

Factor de Seguridad

A través de la simulación realizada, hemos obtenido un factor de seguridad de 3.9, lo que indica una robustez adecuada en el diseño del brazo de dirección y el push rod, es crucial destacar que, durante el análisis, hemos identificado que las áreas más vulnerables se encuentran en el brazo de dirección, en el acople y en el pasador del push rod.

Figura 53*Factor de seguridad del brazo de dirección*

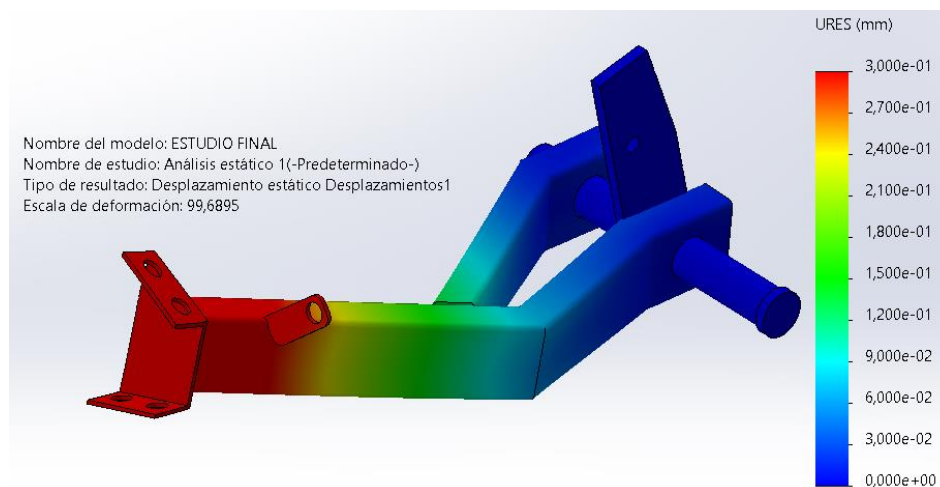
Nota. Simulación del factor de seguridad del brazo de dirección y push rod.

Desplazamiento

Simular el desplazamiento del brazo de dirección es crucial para entender cómo cada parte responde a las fuerzas aplicadas. Esto facilita la identificación de áreas de tensión y la evaluación de la durabilidad del diseño.

Figura 54

Desplazamiento del brazo de dirección



Nota. Simulación del desplazamiento del acople de la dirección.

Mediante la simulación llevada a cabo, hemos obtenido valor de 99.6895 mm en su desplazamiento, el cual está presente en el acople entre el extremo del brazo y la manzana, esta es la zona más crítica del diseño ya soporta grandes fuerzas cuando el prototipo pasa por un desnivel o por un bache, este desplazamiento es una medida crucial que indica la magnitud del movimiento relativo entre estas partes del sistema.

Capítulo IV

Resultados y discusión

La implementación de los sistemas de dirección y suspensión son esenciales para una operación óptima y segura del prototipo. Esto requiere la correcta selección y correcta instalación de componentes que aseguren un comportamiento flexible y estable del prototipo y su capacidad para absorber eficazmente las irregularidades del camino. Para garantizar una conducción cómoda y segura se deben considerar cuidadosamente factores como la compatibilidad de los componentes, el posicionamiento correcto, la adaptación al tipo de terreno y el uso del prototipo.

Implementación del sistema de dirección

La implementación de un sistema de dirección es crucial para asegurar el correcto funcionamiento de cualquier vehículo. Sin embargo, para garantizar su eficiencia, efectividad y adaptabilidad, es necesario realizar un diseño cuidadoso y una selección adecuada de componentes. Esto implica considerar aspectos como la resistencia, la durabilidad y la capacidad de respuesta.

Tabla 13

Implementación del sistema de dirección

1. Sistema de dirección seleccionado



2. Ubicación del sistema de dirección



3. Selección Columna de dirección



4. Ubicación de la columna de dirección



5. Selección de muñones Hembra – Hembra



6. Sujeción del brazo de dirección y suspensión



7. Chumaceras



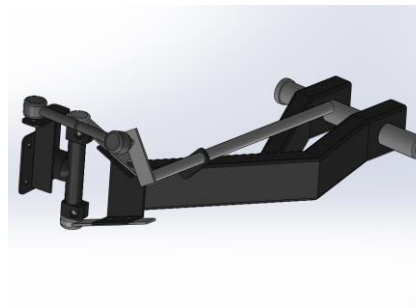
8. Ubicación de chumacera y sujeción del brazo



9. Torneado de la pieza sujeción del brazo



10. Diseño del brazo de dirección



11. Fabricación del brazo de dirección**12. Instalación del brazo dirección****13. Instalación del mango de dirección****14. Instalación de los eslabones con la cremallera****15. Soportes de la barra de empuje****16. Instalación de la barra de empuje****17. Ensamble barra de empuje y mango de la dirección****18. Ensamble final de los componentes de la dirección**

Nota. Secuencia de implementación para el sistema de dirección.

En el proceso de implementación del sistema de dirección para el prototipo tipo “Tumbler” se considera diferentes pasos, que van desde un análisis hasta la respectiva instalación del prototipo. En primer lugar, se ubica el sistema de dirección de manera estratégica para llevar a cabo un análisis preciso que permita determinar la ubicación óptima de la columna de dirección. Esta última es fundamental, ya que nos proporcionará el movimiento necesario para controlar las ruedas. Luego de definir la ubicación, se procede con la fabricación del brazo de dirección, seguido por el torneado para garantizar su sujeción adecuada. Además, se selecciona la chumacera para fijar el brazo de dirección. Finalmente, se lleva a cabo el ensamblaje, utilizando los elementos previamente seleccionados, para su instalación correspondiente.

Figura 55

Funcionamiento del sistema de dirección



Nota. Ajustes adicionales para el funcionamiento de la dirección del prototipo.

El funcionamiento de este sistema de dirección es diferente al de los vehículos convencionales de hoy en día, sin embargo, deben cumplir la misma función. El sistema de dirección del prototipo tipo “Tumbler”, en sí es diferente, ya que este, se conecta sus axiales hacia un pequeño eslabón el cuál que permite el movimiento de la dirección, estos de igual

manera es conectada a través de los muñones, sin embargo, se encuentra acoplada a una barra de empuje, finalizando su acoplamiento a través de los terminales de dirección de tal manera, que este cumpla la función de transformar el movimiento rotativo del volante en movimiento lineal de los neumáticos.

Implementación del sistema de suspensión

La disposición del motor en la parte trasera del prototipo requiere una cuidadosa selección de los espacios disponibles para la implementación del sistema de suspensión tanto en la parte delantera como en la trasera del prototipo. En la parte delantera, se deben evaluar el espacio entre las ruedas, asegurando que la instalación de los componentes de suspensión no interfiera con otros sistemas vitales del vehículo y permita un acceso adecuado para el mantenimiento. Por otro lado, en la parte trasera, se deben identificar espacios que permitan la instalación de los componentes de suspensión de manera que mantengan el equilibrio y la estabilidad del prototipo, considerando la presencia del motor y otros componentes.

Figura 56

Ubicación del sistema de suspensión



Nota. Espacio disponible para la ubicación del sistema de suspensión delantera y trasera del prototipo.

Tabla 14

Implementación sistema de suspensión

1. Análisis y especificaciones del peso suspendido del prototipo

Masa no suspendida	337,634 kg
---------------------------	------------

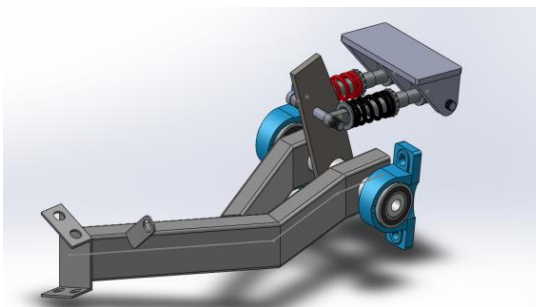
2. Selección de los amortiguadores delanteros



3. Selección de los amortiguadores posteriores



4. Diseño del sistema de suspensión delantera

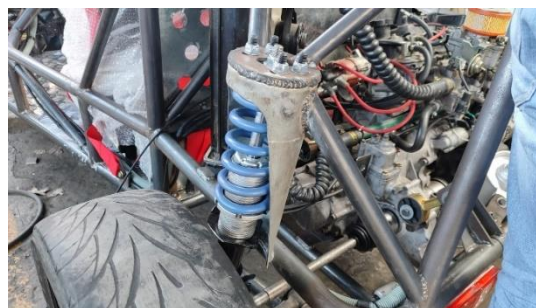


5. Fabricación del Push Rod



6. Instalación en el soporte del brazo de dirección



7. Soportes de la suspensión delantera**8. Instalación de los amortiguadores delanteros****9. Anclaje al soporte de la manzana****10. Implementación del amortiguador****11. Soportes amortiguadores posterior****12. Instalación de los amortiguadores posteriores**

Nota. Secuencia de implementación de suspensión.

Implementar un sistema de suspensión implica varios desafíos, desde analizar el peso suspendido del prototipo hasta instalar amortiguadores delanteros y traseros. Primero, se realiza un análisis exhaustivo del peso para determinar qué carga debe soportar el amortiguador. En base a esto, se seleccionan los amortiguadores delanteros más adecuado. Es importante señalar que estos amortiguadores deben manejar cargas considerables. De lo

contrario, el prototipo podría inclinarse excesivamente hacia adelante. Se considera primordial ejecutar primero simulaciones de software antes de continuar con la producción y la implementación del mecanismo de accionamiento de los amortiguadores delanteros, también conocido como push rod.

PRUEBAS

Durante el desarrollo del prototipo, se determinan los ángulos de giro externo e interno y los ángulos de convergencia de las ruedas, estos cálculos son de suma importancia para determinar la geometría y el comportamiento dinámico del "tumbler". El ángulo de dirección externo es esencial para evaluar el comportamiento de la dirección del prototipo durante curvas cerradas, mientras que el ángulo de dirección interno proporciona información sobre la estabilidad y el rendimiento en líneas rectas y en curvas, la suspensión de las ruedas también cumple un papel importante para el desarrollo del prototipo, ya que afecta al desgaste uniforme de los neumáticos, lo que incide directamente en la seguridad y eficiencia del prototipo.

Círculo de viraje

Calcular el radio de giro es muy importante porque proporciona información relevante sobre el manejo del prototipo, esto es especialmente primordial al maniobrar en espacios reducidos.

Este radio de giro significa la mitad del círculo de viraje y representa la circunferencia por la rueda interna cuando el volante está a su giro máximo, para realizar el cálculo tomamos de referencia la distancia entre ejes, este valor lo obtenemos midiendo entre la rueda delantera y posterior del prototipo.

Figura 57*Distancia entre ejes*

Nota. Medición de la distancia entre ejes del prototipo.

$$R = 2 * B$$

$$R = 2 * 2,556 \text{ m}$$

$$R = 5,11 \text{ m}$$

Figura 58*Círculo de viraje*

Nota. Representación del círculo de viraje del prototipo.

Ángulo de giro

Para el ángulo de giro se debe considerar tanto los ángulos internos como externos del prototipo "Tumbler", sin embargo, estos ángulos son formados por los ejes longitudinales perpendiculares con respecto al eje de giro de los neumáticos delanteros, cuando estos se encuentren en su posición inicial y a su vez que se encuentren colineales con los neumáticos posteriores.

Un dato que debemos tener en cuenta es la distancia del ancho entre ruedas, este valor lo obtuvimos mediante software haciendo referencia al ancho del chasis en la parte delantera del prototipo.

Figura 59

Ancho de vía



Nota. Distancia obtenida del ancho de ruedas delanteras del prototipo.

Ángulo de giro interno

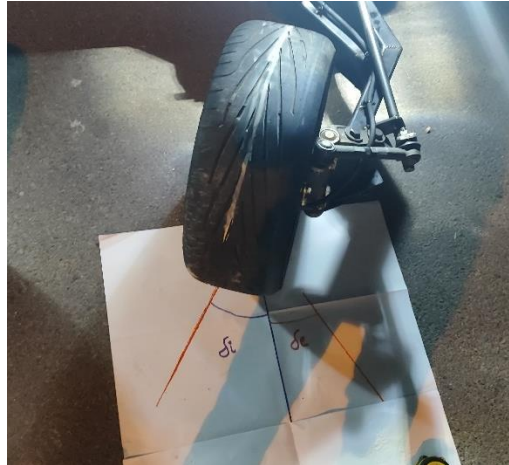
$$\delta_i = \tan^{-1} \frac{B}{\left(R + \frac{A_v}{2}\right)}$$

$$\delta_i = \tan^{-1} \frac{2,556 \text{ m}}{\left(5,11 + \frac{0,80 \text{ m}}{2}\right)}$$

$$\delta_i = 24,89^\circ$$

Figura 60

Giro interno



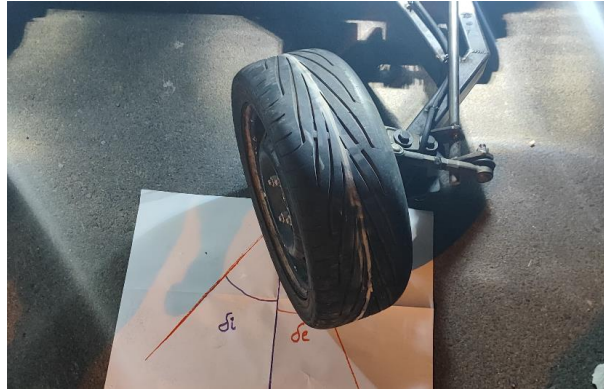
Nota. Ángulo obtenido del giro interno del prototipo.

Ángulo de giro externo:

$$\delta_e = \tan^{-1} \frac{B}{\left(R - \frac{A_v}{2}\right)}$$

$$\delta_e = \tan^{-1} \frac{2,556 \text{ m}}{\left(5,11 - \frac{0,80 \text{ m}}{2}\right)}$$

$$\delta_e = 28,49^\circ$$

Figura 61*Giro externo*

Nota. Ángulo obtenido del giro interno del prototipo.

Relación de la transmisión de la dirección

La relación de la transmisión de la dirección juega un papel fundamental para su funcionamiento y maniobrabilidad. Se debe tomar en cuenta que la relación de la transmisión de la dirección debe tener capacidades avanzadas para su respectiva maniobrabilidad y proporcionar una mejor comodidad al conductor.

A continuación, se proporciona en una tabla los diferentes datos para el cálculo de la relación de la transmisión de la dirección, referente al ángulo de giro del volante, se determinó que experimenta una rotación equivalente a una vuelta completa más un cuarto adicional, lo que representa un ángulo de giro total de 450 grados."

$$\beta = 1,25 * 360^\circ$$

$$\beta = 450^\circ$$

Tabla 15

Datos para el cálculo de la relación de transmisión de la dirección

Descripción	Simbología	Valor
Ángulo de giro del volante	β	450°
Ángulo de viraje externo de las ruedas delanteras	α	28,49°

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

$$i_D = \frac{450^\circ}{28,49^\circ}$$

$$i_D = 16^\circ$$

El prototipo tipo “Tumbler” tiene una relación de transmisión de la dirección de 16:1. Para recalcar, al aplicar una vuelta completa del volante en sentido horario o antihorario, se determinó que las ruedas delanteras experimentan un movimiento angular que alcanza los 16 grados de giro respecto a su posición inicial.

Figura 62

Giro de las ruedas



Nota. Giro de las ruedas delanteras del prototipo.

Ángulo de convergencia

Para el ángulo de convergencia se toma en cuenta los siguientes datos de la tabla propuesta donde se toman en consideración los ángulos externo e interno de la rueda delantera del prototipo.

Tabla 16

Datos para el cálculo del ángulo de convergencia

Descripción	Simbología	Valor
Ángulo de giro externo de la rueda [°].	δ_e	28,49°
Ángulo de giro interior de la rueda [°].	δ_i	24,89°

Nota. Ángulo de giro externo e interno de la rueda del prototipo. Elaboración propia.

$$\gamma = \delta_e - \delta_i$$

$$\gamma = 28,49^\circ - 24,89^\circ$$

$$\gamma = 3,6^\circ$$

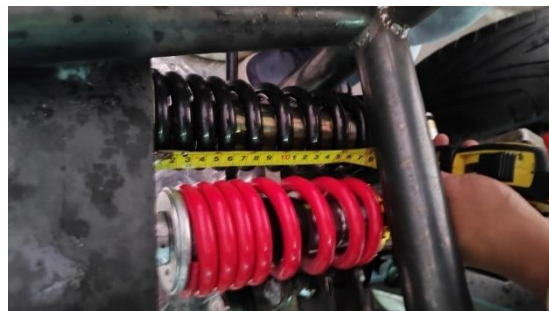
Relación de Compresión de los Amortiguadores delanteros

La relación de compresión que vamos a evaluar determina cómo responde el amortiguador ante la compresión, influenciando la firmeza de la suspensión y la absorción de impactos. Debemos tener en cuenta que una relación alta ofrece una conducción más firme, mientras que una baja proporciona mayor comodidad.

Figura 63*Amortiguadores libres*

Nota. En la figura se observa la longitud de los amortiguadores sin carga.

Al realizar las mediciones del amortiguador libre, obtuvimos la longitud de 16cm del amortiguador Moxal (rojo), la longitud del amortiguador Trenssun (negro) es de 19.5, aplicando carga (dos pasajeros y el combustible lleno) la longitud de los amortiguados aplicando una carga de la masa suspendida de 337,634 kg, recopilamos la longitud de 14.5 cm y 18 bajo carga, estos dos valores nos ayudaran para obtener la relación de compresión del amortiguador delantero

Figura 64*Amortiguadores bajo carga*

Nota. En la figura se observa al amortiguador delantero con sus ocupantes.

$$C = \frac{\text{Longitud libre del amortiguador}}{\text{Longitud del amortiguador bajo carga}}$$

$$C1 = \frac{16 \text{ cm}}{14.5 \text{ cm}}$$

$$C1 = 1.103$$

$$C2 = \frac{19.5 \text{ cm}}{18 \text{ cm}}$$

$$C2 = 1.083$$

Los cálculos muestran que el amortiguador C1 tiene una relación de compresión de 1,103 y el amortiguador C2 tiene una relación de compresión ligeramente inferior de 1,083. Este valor indica cómo se comprime el amortiguador en relación con su longitud extendida cuando se somete a una fuerza externa, que en este caso sería de los ocupantes y masa suspendida. Una relación de compresión más alta dará como resultado un impacto ligeramente más suave, mientras que una relación de compresión ligeramente más baja dará como resultado un impacto ligeramente más rígido.

Relación de Compresión del Amortiguadores posterior

Es muy importante determinar la relación de compresión de los amortiguadores traseros, esto se debe a que esta pieza sirve para soportar el peso del motor del vehículo, esta relación de compresión afecta directamente a la estabilidad, el manejo y la absorción de impactos del prototipo.

Figura 65

Amortiguador posterior bajo carga



Nota. En la figura se observa al amortiguador posterior con sus ocupantes.

$$C = \frac{\text{Longitud libre del amortiguador}}{\text{Longitud del amortiguador bajo carga}}$$

$$C = \frac{22 \text{ cm}}{19.1 \text{ cm}}$$

$$C = 1.15$$

Al considerar la relación de compresión de 1,15, es muy importante tener en cuenta que estos amortiguadores deben soportar el peso del motor, que es la parte más pesada del prototipo, esta alta relación de compresión proporciona suficiente fuerza de amortiguación para absorber completamente el peso del motor, proporcionando una conducción estable y cómoda.

Comportamiento del sistema de suspensión en ciclos de conducción

Para garantizar el óptimo rendimiento del prototipo tipo Tumbler, es de vital importancia llevar a cabo pruebas exhaustivas del sistema de dirección y suspensión, las pruebas que vamos a realizar incluirán pruebas de manejo para asegurar la precisión y estabilidad del

sistema de dirección, también nos ayudará a observar el comportamiento de la suspensión ante diferentes cargas. Estas pruebas permitirán identificar y corregir cualquier problema que se nos presente durante el desarrollo de este proyecto logrando un manejo seguro, estable y confortable del prototipo tipo "Tumbler".

Tabla 17

Capacidad del prototipo para realizar giros.

Parámetro de Giro	Maniobrabilidad	Estabilidad	Agilidad
90°	Alta	Media	Alta
180°	Media	Media	Media
360°	Media	Baja	Baja

Nota. Parámetros de giro donde se evalúa el rendimiento del sistema de dirección.

Estas calificaciones se basan en la capacidad del prototipo para realizar giros cerrados en una variedad de condiciones y tienen en cuenta aspectos como la facilidad de maniobra, la estabilidad lateral en las curvas, la agilidad de las reacciones del prototipo y el espacio libre para completar el giro. Una calificación "Alta" indica un rendimiento excelente en este sentido, una calificación "Media" indica un rendimiento promedio y una calificación "Baja" indica un rendimiento por debajo del promedio en ese parámetro que se establecieron.

Figura 66

Pruebas de manejo



Nota. Se observa la maniobrabilidad del prototipo en ciclos de conducción.

Prueba en 90°

Dentro de las pruebas para el parámetro de giro a un ángulo de 90°, se tuvo excelentes resultados, ya que existió una maniobrabilidad alta, el cual permiten al conductor girar el vehículo con cierta precisión, además su estabilidad fue excelente, mediante el control del vehículo, su agilidad fue alta permitiendo giros rápidos y precisos.

Figura 67

Maniobrabilidad en 90°



Nota. Maniobrabilidad del prototipo en una curva en "L".

Prueba en 180°

Su resultado fue medio en los diferentes parámetros, ya que para completar el giro de 180° necesita un mayor espacio para completar su respectiva función, además la agilidad juega un papel importante para el sistema de dirección, sin embargo, esta deberá completar el giro de manera fluida y controlada.

Figura 68

Maniobrabilidad en 180°



Nota. Maniobrabilidad del prototipo en una curva en “U”.

Prueba en 360°

Para 360° la maniobrabilidad implica que su giro será excesivamente grande, por lo cual, es necesario un espacio razonablemente amplio, en ese caso su estabilidad presenta cierto balanceo o desplazamiento durante la maniobra. La agilidad resulta menos fluida entre los giros y además tarda cierto tiempo en ajustar la trayectoria del prototipo.

Figura 69

Maniobrabilidad en 360°



Nota. Maniobrabilidad del prototipo en un giro completo.

Rompe Velocidades

Se llevaron a cabo pruebas sobre rompe velocidades para evaluar la capacidad de amortiguación de sistema de suspensión del prototipo, estas pruebas proporcionaron una evaluación práctica de cómo el sistema de suspensión del prototipo absorbe y reacciona ante situaciones como baches. Esta prueba recibió una respuesta excelente, lo que indica el desempeño positivo del prototipo del sistema de suspensión. La capacidad del sistema para absorber eficazmente las irregularidades y mantener la estabilidad del prototipo durante las pruebas demuestra su eficiencia y confiabilidad.

Figura 70

Amortiguación del prototipo



Nota. En la figura las pruebas que se realizaron para observar el comportamiento de la suspensión en romper velocidades.

Los cuatro amortiguadores delanteros contribuyen significativamente a mantener una conducción suave y estable, los amortiguadores posteriores regulables son punto importante dentro de este sistema ya que permiten ajustar la rigidez o suavidad de la suspensión según las necesidades específicas que necesita nuestro prototipo.

Capítulo V

Marco Administrativo

La presente investigación se enfoca en detallar los recursos necesarios para llevar a cabo de manera organizada y precisa los procesos de diseño y construcción del sistema de dirección y suspensión del prototipo tipo “Tumbler”. El objetivo principal es obtener resultados confiables en las pruebas reales. Para lograrlo, se identifican y describen los recursos empleados en este proceso, asegurando una ejecución efectiva y precisa de las etapas de implementación.

Recursos Humanos

Los recursos humanos que intervienen en el presente proyecto de unidad de integración curricular con el tema “Diseño e implementación del sistema de dirección y suspensión del prototipo Tumbler”, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 18

Recursos Humanos

Orden	Personal	Función
1	Ayala Romero, David Alejandro	Investigador
2	Tinoco Pardo, Frank Andrés	Investigador
3	Cruz Arcos, Guillermo Mauricio	Colaborador científico

Nota. Se puntualiza los recursos humanos utilizados para desarrollar este proyecto de unidad de integración curricular.

Recursos Tecnológicos

Los recursos tecnológicos ocupados en la presente investigación son utilizados para realizar el diseño e implementación del sistema de dirección y suspensión de prototipo “Tumbler” se visualiza en la siguiente tabla.

Tabla 19*Recursos Tecnológicos*

Orden	Nombre
1	Laptop HP
2	Dispositivos móviles
3	Software CAD
4	Internet

Nota. Se puntualizan los recursos tecnológicos excedentes en el desarrollo del presente proyecto de unidad de integración curricular. Elaboración propia.

Recursos Materiales

Los recursos materiales son empleados para el diseño y la construcción del sistema de dirección y suspensión del prototipo “Tumbler”, medir distancias principales y grosores de los tubos.

Tabla 20*Recursos Materiales*

Orden	Nombre
1	Volante
2	Columna de dirección
3	Caja de dirección mecánica
4	Barras de dirección
5	Terminales de dirección
6	Brazos de dirección
8	Tornillo sin fin de dirección
9	Amortiguadores de dirección
10	Cauchos, amarras, guardapolvo

Orden	Nombre
12	Acero ASTM 500
13	Soldadoras MIG
14	Máquinas de corte
15	Máquinas de mecanizado
16	Equipos de medición
17	Software CAD
18	Normativas y estándar de seguridad
19	Libros relacionados con la teoría
20	Instrumentos para medir parámetros del sistema de dirección

Nota. Se puntualizan los recursos materiales excedentes en el desarrollo del presente proyecto de unidad de integración curricular.

Presupuesto

El presupuesto utilizado para realizar el diseño e implementación del prototipo “Tumbler” perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se detalla a en la siguiente tabla.

Tabla 21

Presupuesto

Detalle	Cantidad	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)
Volante	1	28\$	28
Columna de dirección	1	60\$	60
Caja de dirección	1	100\$	100
Muñones 44	3	55\$	165
Sujeción brazo de dirección	2	10\$	20
Chumaceras	2	120\$	240

Detalle	Cantidad	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)
Mango de dirección	2	20\$	40
Eslabones	4	10\$	40
Barra de empuje	2	15\$	30
Amortiguadores delanteros	4	60\$	240
Amortiguadores posteriores	2	70\$	140
Push Rod	2	40\$	80
Plancha de acero A36	1	10\$	10
Pernos T20	24	1.50\$	36
Muelles de suspensión	2	40\$	80
TOTAL			\$1309

Nota. Se puntualiza el presupuesto instituido en el progreso del presente proyecto de unidad de integración curricular. Elaboración propia.

Financiamiento

La presente investigación es completamente financiada por los investigadores del proyecto de unidad de integración curricular, con un presupuesto total de 1309 USD. Este financiamiento cubrirá todos los gastos relacionados con el desarrollo y la ejecución de la investigación, garantizando así su viabilidad y realización exitosa.

Capítulo VI

Conclusiones

Durante la implementación sistema de suspensión y dirección del prototipo “Tumbler”, se ha priorizado la selección de componentes basada en la disponibilidad de repuestos y la compatibilidad con otras partes del prototipo, esta estrategia ha contribuido a maximizar la eficiencia y la resistencia de los sistemas implementados. La integración de materiales de alta calidad y la realización de pruebas exhaustivas han validado con éxito el diseño, sentando así las bases para futuras mejoras en la ingeniería automotriz.

Se realizaron pruebas exhaustivas para verificar el funcionamiento óptimo y establecer los requisitos de rendimiento del sistema de suspensión y dirección, estas pruebas abarcaron aspectos como los ángulos de dirección y la relación de amortiguación de la suspensión, son aspectos fundamentales para garantizar una maniobrabilidad y estabilidad adecuadas. La capacidad de maniobra precisa y la estabilidad del prototipo son aspectos críticos que influyen directamente en la seguridad y el rendimiento durante la conducción.

El radio de giro del prototipo se determinó en 5,112 metros, este valor se calculó en base a la distancia entre ejes (2.556 metros). Estos resultados son fundamentales para evaluar el manejo del prototipo en una variedad de entornos y condiciones de conducción. Un radio de giro de 5,11 m significa que hay mucha potencia para giros cerrados y maniobras en espacios reducidos, lo que contribuye a una experiencia de conducción versátil y segura.

Los resultados obtenidos a través de las pruebas y cálculos realizados revelan un ángulo de giro interno de 24.89° . Este valor da una idea clara del manejo del prototipo en condiciones de conducción reales, y la precisión del ángulo de dirección interno es muy importante porque afecta directamente la capacidad del prototipo para maniobrar en espacios reducidos como curvas, lo que resulta esencial para garantizar una experiencia de conducción segura y eficiente.

Se determinó que el ángulo de giro externo del prototipo es de 28.49° , estos resultados son muy importantes para evaluar la maniobrabilidad del prototipo en diferentes condiciones de conducción. Para obtener estos datos fue necesaria información precisa, como el ancho de vía, que se fijó en 800 mm, y la distancia entre ejes del prototipo. Estos datos son esenciales para calcular con precisión el ángulo externo, un ángulo externo mayor significa que el prototipo puede girar más agresivamente.

Tras el análisis detallado del sistema de dirección, se ha determinado que el ángulo de giro del volante experimenta una rotación equivalente a una vuelta completa más un cuarto adicional, lo que representa un ángulo total de 450 grados. Además, se identificó que el sistema de dirección tiene una relación de transmisión de 16:1, lo que significa que, por cada vuelta completa del volante en sentido horario o antihorario, las ruedas delanteras experimentan un movimiento angular de 16 grados respecto a su posición inicial.

Al analizar el ángulo de convergencia del prototipo proporciona información importante sobre la alineación de las ruedas delanteras, que se determina en 3,6 grados restando los ángulos de giro externo e interno. Este ángulo de punta es importante para garantizar una distribución adecuada del desgaste de los neumáticos y una estabilidad de conducción óptima. Este ángulo de convergencia mantiene la estabilidad direccional del prototipo y optimiza la respuesta en las curvas, contribuyendo a una experiencia de conducción segura y cómoda.

La elección de los amortiguadores se fundamentó en su capacidad de carga y en el peso suspendido del prototipo, con un total de 2080 libras distribuidas entre los seis amortiguadores, y un peso no suspendido de 337.634 kg, lo que garantiza que los amortiguadores soporten eficazmente el peso. Aunque la capacidad de carga máxima de los seis amortiguadores según las especificaciones es de 943,4721 kg, cifra que supera la masa suspendida del prototipo, es importante tener en cuenta la distribución de fuerzas, especialmente en la parte delantera del prototipo, donde hay una carga importante entre el

brazo de dirección y la base. Por ello, es importante que los amortiguadores sean grandes para evitar deformaciones o problemas de estabilidad en esta zona crítica.

Las longitudes de los amortiguadores delanteros, con valores de 160 mm y 195 mm respectivamente, aplicando una carga al prototipo, representada por dos pasajeros y el tanque de combustible lleno, se observa una variación en las longitudes de los amortiguadores bajo carga, con valores de 145 mm y 180 mm respectivamente, los cálculos revelan que el de la marca Moxal tiene una relación de compresión de 1.103, mientras que el Trenssun presenta una relación ligeramente inferior de 1.083. Además, para los amortiguadores posteriores, se observó que la longitud sin carga fue de 220 mm, reduciéndose a 191 mm bajo carga, obteniendo una relación de compresión de 1,15. Estas relaciones de compresión indican la capacidad de los amortiguadores para resistir la carga aplicada y absorber los impactos durante la conducción.

Recomendaciones

Al diseñar el brazo de dirección, es importante tener en cuenta el ángulo con el que se bosqueja este componente, dado que está directamente relacionado con la maniobrabilidad del prototipo y los ángulos de giro que puede alcanzar. Al diseñar el brazo de dirección en un ángulo mayor, es más fácil lograr ángulos de giro más amplios, lo que mejora la maniobrabilidad del vehículo en diversas situaciones de conducción

Para garantizar la estabilidad y seguridad del prototipo, es importante elegir amortiguadores con suficiente capacidad de carga, elegir unos amortiguadores con una capacidad de carga insuficiente puede provocar una suspensión ineficaz e inestabilidad al conducir. Por lo tanto, es muy recomendable elegir amortiguadores que cumplan con los requisitos de carga del prototipo, teniendo en cuenta factores como la masa no suspendida, la distribución del peso y las condiciones de conducción esperadas.

Para la fabricación del push rod, es recomendable considerar un diseño más compacto ya que ofrece varias ventajas, incluyendo un peso reducido, una instalación más sencilla y una mejor integración con otros componentes del sistema de suspensión. Además, al reducir el tamaño del push rod, se puede mejorar la aerodinámica del prototipo y minimizar cualquier interferencia con otros elementos, lo que puede conducir a una mejor eficiencia y rendimiento general.

Para mejorar la implementación del sistema de dirección, se recomienda hacerlos más compactos los acople, un diseño más compacto reduce los requisitos de peso y espacio, colocar guías en la varilla de empuje de la cremallera ayudará a reducir el juego en la dirección del prototipo, proporcionando una respuesta más precisa y un manejo más estable. Estas guías aseguran un movimiento lineal suave de la varilla de empuje, minimizando el juego o el movimiento lateral no deseado.

Bibliografía

- Águeda et al. (2014). *Mecánica del Vehículo*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo.
Recuperado el 12 de Noviembre de 2023
- Bosch, R. (2018). *Automotive handbook*. John Wiley & Sons.
- Casado, E. Á. (2012). *Sistemas de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Cátalogo Condensa. (s.f.).
- Cebrián, J. A. (2016). *Mecánica y entretenimiento simple del automóvil*. España.
- Crolla, D. A. (2013). Manual de sistemas de suspensión automotriz. *Springer Science & Business Media.*, 250-275.
- Crouse, W. H. (1999). *Mecánica del automóvil I* (tercera ed.). Barcelona: MARCOMBO, S.A.
- D'Addario, M. (2017). *Manual de Mecánica del Automovil. Fundamentos, componentes y mantenimiento* . CE.
- De Buen, V. (1980). *Características de frecuencia del movimiento vibratorio de vehículos y sus desventajas para los humanos*.
- Gillespie, T. D. (1992). Fundamentos de la dinámica del vehículo. *Society of Automotive Engineers*.
- Giménez, J. C. (2017). *Sistemas de dirección*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- Gómez, J. L. (2023). *Sistema de suspensión: definición, tipos de suspensiones y principales elementos*. Obtenido de [www.diariomotor.com](https://www.diariomotor.com/que-es/tipos-esquemas-suspension/): <https://www.diariomotor.com/que-es/tipos-esquemas-suspension/>
- González, T. (2014). *Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección* . Madrid : Editex.

- Heiing, C. &. (2012). *Manual del chasis: Fundamentos, dinámica de conducción, componentes, mecatrónica (2ª ed.)*. Springer Science & Business.
- Hibbeler, R. C. (2005). *Mecánica de materiales*. México: Pearson Educación, México, D.F.
- Jesús Calvo, A. M. (2021). *Mecánica del automóvil actualizada*. Barcelona, España: Reverté, S.A. Recuperado el 12 de Noviembre de 2023
- Kindler, H. (1986). *Cálculos técnicos para el automóvil*. Barcelona: Reverté S.A.
- Landa, J. (2015). *Manual de mecánica básica en situaciones cotidianas y extremas*.
- Luque et al. (2004). *Ingeniería del Automovil. Sistemas y comportamiento dinámico*. Madrid: Thomson.
- Mapfre, B. M. (2022). *Tipos de suspensiones para el coche*. Obtenido de Motor MAPFRE: <https://www.motor.mapfre.es/consejos-practicos/consejos-de-mantenimiento/suspensiones-para-el-coche/>
- Martín, J. C. (1997). *Mecánica del automovil actual*. Zaragoza: Reverte.
- Mitsubishi Motors* . (2023). Obtenido de Resortes Helicoidales : <https://www.mitsubishi-motors.com.pe/blog/que-son-resortes-helicoidales/>
- Norton, R. (2004). *Diseño de Maquinaria*. México DF: McGraw Hill.
- Omar, G. T. (2018). *Selección e implementación del sistema de dirección para el prototipo de auto eléctrico biplaza UTA-CIM17*". Ambato.
- Pacejka, H. (2006). *Tyre and Vehicle Dynamics* . Elsevier.
- Pacejka, H. B. (2002). Dinámica del neumático y del vehículo. *Butterworth-Heinemann.*, 400-425.
- Pérez Belló, M. (2011). *Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo. Recuperado el 12 de Noviembre de 2023

- Pérez, A. G. (2023). *Sistema de suspensión en la Fórmula 1*. Obtenido de Zonamovilidad.es:
<https://www.zonamovilidad.es/sistema-de-suspension-en-la-formula-1>
- Pinedo, J. A. (2012). *Fundamentos de la mecánica del automóvil*. Paraninfo, S.A.
- Puig, I. (2018). *Técnica: sistemas de suspensión*. Obtenido de Espiritu RACER:
<https://espirituracer.com/reportajes/sistemas-de-suspension/>
- Pundir, A. K. (2017). *Sistemas de dirección automotriz: Diseño, principios y aplicaciones*. CRC Press.
- Rajamani, R. (2012). Dinámica y control del vehículo. *Springer Science & Business Media.*, 500-525.
- Salvador. (2011). *Sistemas de Suspensión* . Obtenido de e-auto.com.mx - El Sitio de los Mecánicos y Refaccionarios: <https://www.e-auto.com.mx/engew/index.php?view=article&id=3497-sistemas-de-suspension>
- Staniforth, A. (2006). *Competition Car Suspension* . California: Cuarta edición.
- Thomas, G. (1992). Fundamentos de la dinámica del vehículo. pp. 300-325.
- Wong, J. Y. (2001). Teoría de los vehículos terrestres. *John Wiley & Sons*, pp. 600-625.

ANEXOS