



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DIRECCIÓN  
PARA UN PROTOTIPO ELÉCTRICO MONOPLAZA”**

**Trabajo de Titulación**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTOR:**

**GALO ARIEL CHASI IZA**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DIRECCIÓN  
PARA UN PROTOTIPO ELÉCTRICO MONOPLAZA”**

**Trabajo de Titulación**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN AUTOMOTRIZ**

**AUTOR:** GALO ARIEL CHASI IZA

**DIRECTOR:** Ing. JOHNNY MARCELO PANCHAS RAMOS

Riobamba – Ecuador

2022

**©2022, Galo Ariel Chasi iza**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el derecho de Autor.

Yo, GALO ARIEL CHASI IZA, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 23 de marzo de 2022



.....  
**Galo Ariel Chasi Iza**

**055012000-0**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Técnico: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DIRECCIÓN PARA UN PROTOTIPO ELÉCTRICO MONOPLAZA**, realizado por el señor: **GALO ARIEL CHASI IZA**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos y legales; en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022 – 03 – 23
Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2022 – 03 – 23
Ing. Víctor David Bravo Morocho. <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>		2022 – 03 – 23

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios por haberme brindado salud y vida para poder culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por guiarme y apoyarme incondicionalmente a pesar de los fracasos que he tenido en el transcurso tanto de mi formación profesional como personal. A mi padre por enseñarme a ser justo y honesto en todo lo que realice. A mi tía Silvia, a quien quiero como una madre, por apoyarme, escucharme y cuidarme incondicionalmente cuando más lo necesité.

**Ariel**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz por abrirme las puertas al conocimiento y la innovación a lo largo de mi carrera profesional.

Al director de mi trabajo de titulación, Ing. Johnny Pancha, y, al Ing. Víctor Bravo, por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias para hacer posible este proyecto.

**Ariel**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	5
1.4.2. <i>Objetivo específicos</i> .....	5

### CAPÍTULO II

<b>2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>6</b>
2.1. Estado de arte.....	6
2.2. Bases teóricas.....	8
2.2.1. <i>Sistema de dirección</i> .....	8
2.2.1.1. <i>Tipos de sistema de dirección</i> .....	10
2.2.1.2. <i>Dirección de piñón-cremallera</i> .....	10
2.2.1.3. <i>Sistema de dirección de bolas recirculantes</i> .....	12
2.2.2. <i>Elementos del sistema de dirección</i> .....	13
2.2.2.1. <i>Volante y árbol de dirección</i> .....	13
2.2.2.2. <i>Barra y terminales de dirección</i> .....	14
2.2.2.3. <i>Rodamientos</i> .....	14
2.2.2.4. <i>Mangueta</i> .....	15
2.2.2.5. <i>Junta cardán (cruceta)</i> .....	16
2.2.3. <i>Geometría de la dirección (cotas de reglaje de la dirección)</i> .....	16



2.2.4.	<i>Ángulo de salida (As)</i> .....	17
2.2.5.	<i>Ángulo de caída (Ac)</i> .....	17
2.2.6.	<i>Ángulo de avance (Aa)</i> .....	18
2.2.6.1.	<i>Cotas conjugadas</i> .....	19
2.2.7.	<i>Convergencia</i> .....	19
2.2.8.	<i>Geometría de Ackerman</i> .....	19
2.2.8.1.	<i>Ackerman neutro</i> .....	21
2.2.8.2.	<i>Ackerman positivo</i> .....	21
2.2.8.3.	<i>Ackerman negativo</i> .....	22
2.2.9.	<i>Ángulo de giro de las ruedas (Geometría Ackerman)</i> .....	22
2.2.10.	<i>Ángulo de orientación de los brazos de dirección</i> .....	23
2.2.11.	<i>Neumáticos</i> .....	25
2.2.12.	<i>Fuerza lateral</i> .....	25
2.2.13.	<i>Slip Angle (ángulo de deriva)</i> .....	25
2.2.14.	<i>Self Aligning Torque (Par de alineación)</i> .....	26
2.2.15.	<i>Pneumatic Trail (Desplazamiento del neumático)</i> .....	26
2.2.16.	<i>Mechanical Trail (Huella mecánica del neumático)</i> .....	27
2.2.17.	<i>Bump steer</i> .....	28
2.2.18.	<i>Diseño software CAD</i> .....	29
2.2.18.1.	<i>Software CAD: Solidworks</i> .....	29
2.3.	<b>Marco legal</b> .....	29
2.3.1.	<i>Reglamento Técnico Ecuatoriano</i> .....	29
2.3.2.	<i>Reglamento Shell-Eco-Marathon</i> .....	30
2.3.2.1.	<i>Dimensiones</i> .....	30
2.3.2.2.	<i>Neumáticos, ruedas, ejes y bujes de las ruedas</i> .....	30
2.3.2.3.	<i>Radio de giro y dirección</i> .....	31

### **CAPÍTULO III**

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	32
3.1.	<b>Diagrama de flujo</b> .....	32
3.2.	<b>Tipo de investigación</b> .....	33
3.2.1.	<i>Método de investigación</i> .....	33
3.2.2.	<i>Enfoque de investigación</i> .....	33
3.2.3.	<i>Técnicas e instrumentos</i> .....	34
3.3.	<b>Desarrollo del proyecto</b> .....	34
3.3.1.	<i>Cronograma de actividades</i> .....	34

<b>3.3.2.</b>	<b>Recursos y materiales</b>	35
3.3.2.1.	Presupuesto	35
3.3.2.2.	Talento Humano	36
3.3.2.3.	Equipos y materiales	37
<b>3.3.3.</b>	<b>Desarrollo del proyecto</b>	41
3.3.3.1.	Bosquejo	41
3.3.3.2.	Cálculo de la geometría de Ackerman	41
<b>3.3.4.</b>	<b>Diseño del sistema de dirección</b>	46
<b>3.3.5.</b>	<b>Análisis estructural</b>	49
3.3.5.1.	Análisis estructural del sistema de dirección	49
3.3.5.2.	Análisis estructural de la mangueta	53
3.3.5.3.	Análisis estructural de la columna de dirección	54
3.3.5.4.	Análisis estructural de la barra de dirección y terminales	55
3.3.5.5.	Análisis estructural de la base de la mangueta	57
3.3.5.6.	Análisis de esfuerzos de las partes fijas del sistema de dirección	58
3.3.5.7.	Análisis de esfuerzos del volante	60
<b>3.3.6.</b>	<b>Selección de materiales</b>	61
<b>3.3.7.</b>	<b>Fabricación de piezas y ensamble</b>	63
3.3.7.2.	Mangueta	65
3.3.7.3.	Travesaño y puente inferior	68
3.3.7.4.	Columna de dirección	69
3.3.7.5.	Barra de dirección y terminales	70
3.3.7.6.	Volante	71
3.3.7.7.	Acoples giratorios y barras	71
3.3.7.8.	Soportes de la columna de dirección	72
3.3.7.9.	Eje posterior	73
3.3.7.10.	Ensamblaje del vehículo	74
3.3.7.11.	Optimización del sistema	77

## CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b>	82
<b>4.1.</b>	<b>Análisis de esfuerzos</b>	82
<b>4.2.</b>	<b>Resistencia y giro</b>	82
<b>4.2.1.</b>	<b>Resistencia</b>	82
4.2.1.1.	Ángulo de giro neutro	83
4.2.1.2.	Ángulo de giro a la derecha e izquierda	84

<b>4.3.</b>	<b>Confort y seguridad</b> .....	86
<b>4.4.</b>	<b>Resultados de la optimización</b> .....	87
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	90
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	91
	<b>GLOSARIO</b>	
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3:</b>	Cronograma de actividades .....	34
<b>Tabla 2-3:</b>	Costos directos e indirectos .....	35
<b>Tabla 3-3:</b>	Especificaciones del talento humano.....	36
<b>Tabla 4-3:</b>	Valores de la geometría del sistema de dirección.....	43
<b>Tabla 5-3:</b>	Ángulos de giro .....	44
<b>Tabla 6-3:</b>	Selección de materiales .....	62
<b>Tabla 7-3:</b>	Asignación de materiales.....	62
<b>Tabla 1-4:</b>	Análisis de esfuerzos de los elementos del sistema de dirección .....	82
<b>Tabla 2-4:</b>	Resultados de los ángulos de giro.....	85
<b>Tabla 3-4:</b>	Ángulo y radio de giro.....	86
<b>Tabla 4-4:</b>	Valores de la optimización de las piezas o elementos del sistema .....	88

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Diagrama de flujo del proyecto .....	32
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Elementos de la dirección .....	9
<b>Figura 2-2:</b>	Dirección piñón cremallera con las bieletas en los extremos .....	11
<b>Figura 3-2:</b>	Detalle de una dirección de piñón cremallera con las bieletas en los extremos	12
<b>Figura 4-2:</b>	Cuadrilátero articulado opuesto .....	12
<b>Figura 5-2:</b>	Cuadrilátero articulado opuesto situado por detrás del eje .....	13
<b>Figura 6-2:</b>	Volante y columna de dirección.....	13
<b>Figura 7-2:</b>	Barra y terminales de dirección .....	14
<b>Figura 8-2:</b>	Rodamiento axial de bolas .....	15
<b>Figura 9-2:</b>	Rodamiento de bolas.....	15
<b>Figura 10-2:</b>	Junta cardán (cruceceta) .....	16
<b>Figura 11-2:</b>	Ángulo de salida .....	17
<b>Figura 12-2:</b>	Ángulo de caída .....	18
<b>Figura 13-2:</b>	Ángulo de avance.....	18
<b>Figura 14-2:</b>	Convergencia .....	19
<b>Figura 15-2:</b>	Principio de dirección de Ackerman.....	20
<b>Figura 16-2:</b>	Vehículo de dos ejes con una trayectoria de radio constante.....	21
<b>Figura 17-2:</b>	Ackerman Neutro.....	21
<b>Figura 18-2:</b>	Ackerman Positivo.....	22
<b>Figura 19-2:</b>	Ackerman Negativo .....	22
<b>Figura 20-2:</b>	Ángulo de giro mediante la geometría de Ackerman.....	23
<b>Figura 21-2:</b>	Ángulo de orientación de los brazos de dirección .....	24
<b>Figura 22-2:</b>	Fuerza lateral ( $F_y$ ) en el giro del neumático .....	25
<b>Figura 23-2:</b>	Demostración gráfica del Slip Angle.....	26
<b>Figura 24-2:</b>	Vista superior e inferior del desplazamiento del neumático con las fuerzas actuantes.....	27
<b>Figura 25-2:</b>	Mechanical Trail determinada por el King pin axis.....	27
<b>Figura 26-2:</b>	Arreglo teórico para evitar el <i>bump steer</i> .....	28
<b>Figura 27-2:</b>	Radios de los brazos de las articulaciones que producen <i>bump steer</i> .....	28
<b>Figura 1-3:</b>	Calibrador pie de rey.....	37
<b>Figura 2-3:</b>	Torno.....	38
<b>Figura 3-3:</b>	Taladro de banco.....	38
<b>Figura 4-3:</b>	Suelda eléctrica .....	39
<b>Figura 5-3:</b>	Amoladora.....	39
<b>Figura 6-3:</b>	Esmeril.....	40

<b>Figura 7-3:</b>	Electrodos .....	40
<b>Figura 8-3:</b>	Bosquejo del sistema.....	41
<b>Figura 9-3:</b>	Radio de giro (mm) y ángulo de giro máximo (grados).....	42
<b>Figura 10-3:</b>	Distancia entre ejes (mm) .....	42
<b>Figura 11-3:</b>	Ángulo de giro mediante la geometría de Ackerman.....	43
<b>Figura 12-3:</b>	Ángulo de orientación de los brazos de la mangueta .....	45
<b>Figura 13-3:</b>	Diseño del sistema de dirección sin optimización .....	46
<b>Figura 14-3:</b>	Catálogo de pletina y tubo redondo, Acero A36.....	47
<b>Figura 15-3:</b>	Diseño del sistema de dirección optimizado .....	47
<b>Figura 16-3:</b>	Ensamble del sistema de dirección en el chasis .....	48
<b>Figura 17-3:</b>	Ángulo de giro máximo del sistema de dirección.....	48
<b>Figura 18-3:</b>	Fuerzas de reacción en las ruedas .....	49
<b>Figura 19-3:</b>	Cargas a las que está expuesta el sistema de dirección.....	50
<b>Figura 20-3:</b>	Deformación total del sistema de dirección.....	51
<b>Figura 21-3:</b>	Factor de seguridad del sistema de dirección.....	52
<b>Figura 22-3:</b>	Esfuerzo máximo del sistema de dirección.....	52
<b>Figura 23-3:</b>	Deformación de la mangueta .....	53
<b>Figura 24-3:</b>	Factor de seguridad de la mangueta.....	53
<b>Figura 25-3:</b>	Esfuerzo máximo de la mangueta .....	54
<b>Figura 26-3:</b>	Deformación de la columna de dirección .....	54
<b>Figura 27-3:</b>	Factor de seguridad de la columna de dirección.....	55
<b>Figura 28-3:</b>	Esfuerzo máximo de la columna de dirección .....	55
<b>Figura 29-3:</b>	Deformación de la barra de dirección .....	56
<b>Figura 30-3:</b>	Factor de seguridad de la barra de dirección.....	56
<b>Figura 31-3:</b>	Esfuerzo máximo de la barra de dirección.....	57
<b>Figura 32-3:</b>	Deformación de la base de la mangueta.....	57
<b>Figura 33-3:</b>	Factor de seguridad de la base de la mangueta .....	58
<b>Figura 34-3:</b>	Esfuerzo máximo de la base de la mangueta .....	58
<b>Figura 35-3:</b>	Deformación del conjunto de elementos fijos.....	59
<b>Figura 36-3:</b>	Factor de seguridad del conjunto de elementos fijos .....	59
<b>Figura 37-3:</b>	Esfuerzo máximo del conjunto de elementos fijos .....	60
<b>Figura 38-3:</b>	Deformación del volante.....	60
<b>Figura 39-3:</b>	Factor de seguridad del volante .....	61
<b>Figura 40-3:</b>	Esfuerzo máximo del volante.....	61
<b>Figura 41-3:</b>	Corte de las platinas .....	63
<b>Figura 42-3:</b>	Corte de las platinas para los soportes de las bases de la mangueta .....	63
<b>Figura 43-3:</b>	Soldadura de los soportes y bases de las manguetas.....	64

<b>Figura 44-3:</b>	Pulido de las piezas de la mangueta.....	64
<b>Figura 45-3:</b>	Perforación de las bases de la mangueta.....	65
<b>Figura 46-3:</b>	Peso de la base de la mangueta en gramos.....	65
<b>Figura 47-3:</b>	Torneado de la mangueta y eje de la mangueta .....	66
<b>Figura 48-3:</b>	Señalización, punteado, soldado y pulido del perno y la mangueta.....	66
<b>Figura 49-3:</b>	Ubicación y soldadura de los brazos de la mangueta en ángulo .....	67
<b>Figura 50-3:</b>	Mangueta.....	67
<b>Figura 51-3:</b>	Peso de la mangueta.....	68
<b>Figura 52-3:</b>	Peso del travesaño y puente inferior .....	68
<b>Figura 53-3:</b>	Soldadura del travesaño y puente inferior.....	68
<b>Figura 54-3:</b>	Construcción y posicionamiento de la columna de dirección.....	69
<b>Figura 55-3:</b>	Peso de la columna de dirección.....	69
<b>Figura 56-3:</b>	Corte de los extremos de la barra de dirección .....	70
<b>Figura 57-3:</b>	Adaptación para formar una sola barra de dirección .....	70
<b>Figura 58-3:</b>	Construcción del volante.....	71
<b>Figura 59-3:</b>	Acoples giratorios y barras .....	72
<b>Figura 60-3:</b>	Soportes de la columna de dirección.....	73
<b>Figura 61-3:</b>	Construcción del eje posterior.....	73
<b>Figura 62-3:</b>	Ubicación de los elementos .....	74
<b>Figura 63-3:</b>	Fijación de la columna de dirección .....	74
<b>Figura 64-3:</b>	Soldadura de los elementos fijos.....	75
<b>Figura 65-3:</b>	Retiro de residuos del sistema de dirección .....	75
<b>Figura 66-3:</b>	Recubrimiento de los elementos con una capa de pintura .....	76
<b>Figura 67-3:</b>	Sistema de dirección sin optimización.....	77
<b>Figura 68-3:</b>	Optimización del volante para reducir su peso .....	78
<b>Figura 69-3:</b>	Acoplamiento de la junta cardán en la columna .....	79
<b>Figura 70-3:</b>	Optimización de la barra de dirección .....	79
<b>Figura 71-3:</b>	Optimización de la mangueta o manzana .....	80
<b>Figura 72-3:</b>	Regulador de altura de columna de dirección.....	80
<b>Figura 73-3:</b>	Sistema de dirección optimizado .....	81
<b>Figura 1-4:</b>	Prueba de resistencia.....	83
<b>Figura 2-4:</b>	Ángulo de giro neutro .....	84
<b>Figura 3-4:</b>	Giro del sistema de dirección a la derecha e izquierda .....	85
<b>Figura 4-4:</b>	Reguladores del ángulo y radio de giro .....	86
<b>Figura 5-4:</b>	Prueba de salida del prototipo.....	87
<b>Figura 6-4:</b>	Diseño mecánico final optimizado del sistema de dirección .....	88
<b>Figura 7-4:</b>	Presentación final del sistema de dirección .....	89



## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 040

**ANEXO B:** PLANOS DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo diseñar y construir un sistema de dirección mediante el uso de herramientas mecánicas e informáticas para un prototipo eléctrico monoplaça. La investigación de tipo documental permitió la recolección de información bibliográfica como normas y lineamientos internacionales de estandarización, con un enfoque cuantitativo en la medición y dimensionamiento de los diferentes elementos y componentes del vehículo. Además, se aplicó una investigación de campo en el diseño y fabricación del sistema de dirección. El diseño se realizó a través del software de dibujo asistido por computadora, Solidworks; y, la fabricación empleó varios procesos como corte, torneado, pulido, perforación, soldado eléctrico y pintura con máquinas y herramientas especializadas; la construcción de piezas y el ensamble se desarrolló en un entorno de taller mecánico cumpliendo también, las medidas de protección individual y colectivas. El sistema de dirección diseñado fue sometido a un análisis estructural obteniendo una deformación mínima de 0.031 mm, factor de seguridad de 6.14 y esfuerzo máximo de 40.73 MPa; y, por otro lado, en las pruebas de campo se determinó un ángulo de giro externo de 17.02°, interno de 19.44° y un radio de giro de 5 metros. Se concluye que el sistema de dirección diseñado y fabricado es funcional para el vehículo y garantiza la seguridad del piloto durante la conducción. Se recomienda que la fabricación de piezas y elementos mecánicos cumplan con las especificaciones técnicas estandarizadas a nivel nacional.

**Palabras clave:** <SOLIDWORKS>, <ANÁLISIS ESTRUCTURAL>, <ESFUERZO>, <ESTANDARIZACIÓN>, <FABRICACIÓN>.

## **ABSTRACT**

The objective of this research work was to design and build a steering system using mechanical and computer tools for a single-seat electric prototype. Documentary research allowed the collection of bibliographic information such as international standards and guidelines for standardization, with a quantitative approach to the measurement and dimensioning of the different elements and components of the vehicle. In addition, a field investigation was applied in the design and manufacture of the steering system. The design was done through the computer-aided drawing software, Solidworks; and the manufacturing employed various processes such as cutting, turning, polishing, drilling, electric welding and painting with specialized machines and tools; The construction of parts and assembly was carried out in a mechanical workshop environment, also complying with individual and collective protection measures. The designed steering system was subjected to a structural analysis, obtaining a minimum deformation of 0.031mm, a safety factor of 6.14 and a maximum stress of 40.73 MPa; and on the other hand, in the field tests an external turning angle of 17.02°, internal of 19.44° and a turning radius of 5 meters were determined. It is concluded that the designed and manufactured steering system is functional for the vehicle and guarantees the driver's safety while driving. It is recommended that the manufacture of parts and mechanical elements comply with the technical specifications standardized at the national level.

**Keywords:** <STEERING SYSTEM> <ELECTRICAL PROTOTYPE> <STRUCTURAL ANALYSIS> <SOLIDWORKS (SOFTWARE)> <STANDARDIZATION>

## **INTRODUCCIÓN**

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo es una institución comprometida con la formación de profesionales capaces de dar soluciones dentro de su especialidad, motivando a los estudiantes a ser investigativos, trabajar en equipo para brindar soluciones precisas y concretas. Para lo cual en base a los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria se va a realizar el diseño y construcción de un sistema de dirección para un prototipo eléctrico monoplaça.

Esta clase de proyectos técnicos se los realiza con la intención de que los estudiantes que están previo a la obtención de su título universitario apliquen los conocimientos e ingenio para diseñar, construir y conducir un prototipo que sea amigable con el medio ambiente.

Es muy importante el uso eficiente de los recursos energéticos, con la cual es de vital importancia que los materiales posean peso ligero con el propósito de satisfacer las necesidades del diseño, sin dejar de lado el control electrónico en la región que se pretende transitar, es por ello, que se considera elemental el peso ya que es directamente proporcional al consumo del combustible del vehículo.

Para lo expuesto anteriormente la investigación tiene como objetivo el diseño y construcción de un sistema de dirección para un prototipo eléctrico monoplaça, tomando en consideración que la institución se ha destacado en competencias nacionales e internacionales con ideas innovadoras a cargo de la comunidad universitaria en la cual requiere de un análisis técnico y practico que ayudan a expandir el conocimiento de los estudiantes.

Mediante el presente trabajo de titulación como una propuesta técnica aportará a la investigación y motivación a las nuevas generaciones de estudiantes para que a futuro se puedan crear nuevos prototipos con un mejor sistema de dirección adecuándose a las nuevas exigencias y reglamentos.

El presente proyecto técnico está dividido en cuatro capítulos que se muestran a continuación:

En el Capítulo I, se indican los antecedentes de la investigación, la formulación y planteamiento del problema, la justificación y los objetivos.

En el Capítulo II, se detallan las teorías, bases y principios técnicos utilizados en el desarrollo del proyecto.

En el Capítulo III, se menciona la metodología tanto de la investigación como de la rama utilizada para el cumplimiento de los objetivos.

El Capítulo IV, incluye los resultados de la investigación.

Finalmente, se ubican las conclusiones y recomendaciones posteriores a la finalización de la investigación.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

El presente trabajo tiene como finalidad la aplicación de los conocimientos científicos – técnicos adquiridos durante todo el proceso de formación profesional en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, para ello se ha propuesto diseñar y construir un sistema de dirección para un prototipo eléctrico monoplaza. En la creación de prototipos se debe estar siempre pendiente a los avances tecnológicos que se van dando a diario y motivando a los profesionales en el área al cuidado del medio ambiente con el uso de nuevas tecnologías para la movilidad.

Como bien se sabe, los niveles de contaminación medio ambiental han aumentado drásticamente desde inicios de siglo. América Latina y El Caribe se considera como la región más urbanizada del planeta, en donde aproximadamente el 80% de la población radica en zonas urbanas. En este sentido, resulta imperante la necesidad del ordenamiento territorial y la planificación ecológica y económica en pro del desarrollo sostenible.

El crecimiento del parque automotor ha permitido optar por sistemas de energía con alimentación renovable y menos dañinos para el ambiente. Es así que nace la alternativa de usar la energía eléctrica en un prototipo monoplaza de manera efectiva y con los sistemas automotrices bien calibrados (De Miguel y Tavares, 2015, p. 43-48).

La investigación desarrollada por Llivisaca (2018), denominada, diseño y construcción del sistema de dirección para un vehículo de competencia fórmula SAE eléctrico, indica la utilización del software CAD SOLIDWORKS como herramienta para el diseño de los componentes mecánicos en función de las características geométricas, tipo de material y otras. La construcción se realizó de acuerdo con el dimensionamiento y ensamblaje de piezas (Llivisaca, 2019, p. vi).

### 1.2. Planteamiento del problema

Los sistemas de dirección existentes en la actualidad pueden omitir ciertos detalles técnicos que representan la aparición de anomalías al momento de la conducción, ahora bien, en el objetivo de

diseñar un prototipo de vehículo eficiente y de uso general es importante evitar cualquier falla asociada al sistema de dirección y todos los sistemas en general. Las fallas pueden deberse al diseño y dimensionamiento incorrecto, utilización de elementos de mala calidad o fallas en la construcción; todos estos problemas deberán ser previstos desde la etapa del diseño.

La constante preocupación por la conservación del medio ambiente exige la generación de nuevas soluciones y servicios desarrollados por la ingeniería, es así que, la investigación sobre el diseño y construcción de un sistema de dirección para un prototipo eléctrico monoplaza que cumpla con los estándares de comodidad, calidad, seguridad y precisión para el conductor.

Además, en función de los alcances económicos tanto de los diseñadores como de los posibles consumidores, se pretende utilizar materiales livianos de buena resistencia que soporten el peso y esfuerzo realizado durante la conducción del vehículo.

Por lo tanto, el presente proyecto busca responder a la interrogante ¿el diseño y construcción de un sistema de dirección para un prototipo monoplaza eléctrico reducirá la contaminación ambiental?

### **1.3. Justificación**

El crecimiento poblacional y la necesidad de movilización necesita de soluciones prácticas que contribuyan a la reducción de contaminantes y la disminución del caos vehicular, En consecuencia, con las alteraciones ambientales que ha sufrido el planeta a lo largo de los años, es imperante el diseño y construcción de un sistema de dirección para un prototipo monoplaza eléctrico que permitirá innovar en la tecnología automotriz y contribuir en el cuidado ambiental.

Por otro lado, se evidencia diariamente que las vías urbanas de las diferentes ciudades del Ecuador se congestionan con facilidad debido a la estrechez de las mismas y la falta de espacios de aparcamiento, por lo cual, la utilización de automóviles monoplaza disminuiría los problemas de congestión y, por lo tanto, optimizaría los espacios de parqueaderos públicos y privados debido al reducido tamaño de los modelos monoplaza.

El presente proyecto se justifica en la utilización de los conocimientos teórico-prácticos adquiridos en el transcurso de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Mediante la utilización de software de dibujo asistido por computadora que facilitan el diseño mecánico y simulación para optimizar los recursos

materiales, humanos y económicos en el proceso de fabricación, obteniendo un sistema de dirección con un porcentaje mínimo de error.

Al culminar el diseño y construcción del prototipo, este servirá como herramienta de interacción y aprendizaje de los estudiantes en acompañamiento de los docentes, y también, servirá como base para nuevas investigaciones y mejoramiento del prototipo hasta alcanzar un producto final que satisfaga las necesidades de la población.

#### **1.4. Objetivos**

##### ***1.4.1. Objetivo general***

- Diseñar y construir un sistema de dirección mediante el uso de herramientas mecánicas e informáticas para un prototipo eléctrico monoplaza.

##### ***1.4.2. Objetivo específicos***

- Investigar y recopilar información de fuentes primarias y secundarias acerca del diseño y construcción del sistema de dirección.
- Diseñar el sistema de dirección a través de software CAD para tener la menor cantidad de errores al momento de la implementación.
- Construir el sistema de dirección utilizando el material adecuado que cumpla los estándares que regulan este tipo de prototipo eléctrico.
- Ejecutar pruebas del ángulo de giro mediante ensayos de campo para verificar el correcto funcionamiento y garantizar la seguridad del piloto.



## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Estado de arte

Con el fin de conseguir mayor información y referencias acerca de esta investigación, se efectúa una revisión del estado del arte con trabajos similares y de los que se toman sus resultados y conclusiones como referentes y cualquier aporte de utilidad.

El trabajo realizado por Grandes y Totoy (2019), denominado: “Diseño y construcción de un vehículo con motor de combustión interna mediante el análisis CAE para la competencia Shell Eco-Marathon”, realizó el diseño y construcción de un prototipo de alta eficiencia energética y grandes prestaciones mecánicas con un enfoque principal hacia a competencia Shell Eco-Marathon. De esta investigación se destaca la metodología aplicada para este tipo de diseño, información que es de utilidad para la investigación presente (Grandes & Totoy, 2019, p. 17).

En el trabajo de investigación realizado por Chamba y Jaramillo (2016), titulado: “Sistema de dirección y frenos para un vehículo de competencia Shell Eco Marathon”, explica el diseño y construcción del sistema de dirección y la implementación de un sistema de frenos para un vehículo prototipo para la competencia Shell Eco-Marathon; realizándose la fundamentación teórica de cada sistema y dando a conocer las características de funcionamiento y las normas técnicas que dicta el reglamento de la misma (Chamba & Jaramillo, 2016, p. xiii).

Mediante el trabajo realizado por Fuentes (2011), “Diseño y cálculo del bastidor trasero y sistema de dirección del prototipo destinado a participar en la competición Shell Eco-Marathon”, llevado a cabo en la Universidad Carlos III de Madrid, en este proyecto se diseñó y calculo el bastidor posterior junto con el sistema de dirección del vehículo que se lo quiso llevar a la competición celebrada por la multinacional Shell denominada Shell Eco-Marathon (Fuentes, 2011, p. 153).

Continuando con la idea, el autor Finch (2019), con su investigación titulada: “Diseño, cálculo, fabricación y puesta en servicio del sistema de dirección para un vehículo Shell Eco-Marathon” en el cual diseñó el sistema de dirección para un prototipo de bajo consumo propulsado por un motor de combustión interna alimentado por etanol, con el cual participará los siguientes años el

equipo de la Universidad Politécnica de Valencia I.D.F. Shell Eco-Marathon, en la famosa competición Shell Eco-Marathon que se celebra cada año (Finch, 2019, p. 2).

Es así como se rescata toda la información pertinente de investigaciones realizadas con anterioridad sobre el diseño de diversos sistemas de dirección, frenos y lubricación en el tipo de vehículos involucrado en esta investigación. Además, existe el enfoque principal en el proceso de aplicación, puesto que, esto hace observable los antecedentes sobre problemas y fallos y, las recomendaciones para evitar este tipo de errores o para solucionarlos en caso de presentarse.

Si bien las investigaciones citadas como antecedentes investigativos centran los prototipos en competiciones deportivas, también existen las aplicaciones en beneficio de grupos de personas específicos, como es el caso de personas parapléjicas y con restricciones de movilidad. Como lo indican Aguirre

Además de destinar estos prototipos a competencia, también esta sus aplicaciones para personas parapléjicas y movilidad, como es el caso de Aguirre y otros (2014) con su trabajo titulado: “Diseño de un vehículo eléctrico prototipo monoplaza para una persona parapléjica y construcción de su chasis”, quienes usaron una metodología descriptiva, experimental de corte transversal y con enfoque mixto, utilizando variables cualitativas y cuantitativas que concluyeron en el diseño de una carrocería de vehículo monoplaza con apertura automática de puertas y rampa de acceso posterior para el ingreso del conductor (Aguirre et al., 2014, p. 321).

Por otro lado, se encuentra el estudio desarrollado por Pachar (2012) con su investigación titulada: “Diseño y cálculo de la carrocería de un vehículo monoplaza para personas con paraplejía”, que analizó las características físicas y dimensionales de una persona que padezca paraplejía, la legislación y normas referentes a productos de apoyo para dicha población (Pachar, 2012, p. 10).

Este trabajo destaca que la falta de movilidad genera graves efectos, tanto físicos como mentales y psicológicos en las personas que por diversas circunstancias utilizan sillas de ruedas, siendo el peor de todos, la marginación social, llevando al individuo a situaciones de estrés y depresión profunda. Es así que el prototipo monoplaza cumplió con la necesidad de esta población, brindando espacios interiores y dimensiones exteriores necesarios para albergar los diferentes elementos que constituyeron el vehículo final.

Así también, Martín y Mocholí (2018) en su trabajo titulado: “Diseño y optimización del chasis de un vehículo eléctrico autónomo”, determinaron la viabilidad comercial de los vehículos autónomos para posteriormente realizar el diseño de los componentes en el programa Solidworks

2015 así como, para la simulación de resistencia mecánica de los elementos para que la construcción del chasis sea eficiente y, finalmente se incluyó un análisis sobre el impacto medio ambiental (Martín & Mocholí, 2018, p. 1).

De manera general en este trabajo se rescata toda la información y datos pertinentes requeridos para el diseño y construcción de un vehículo monoplaza. A pesar de esto, el prototipo fue construido y presentado para revisión, pero en el informe no se indica ninguna recomendación sobre el mismo, por lo tanto, aun siendo un aporte relevante para la investigación, el autor de este trabajo debe tomar las precauciones para obtener completa funcionalidad en el prototipo a construir.

Para finalizar y considerando la importancia de las energías renovables para la movilidad vehicular, el trabajo de Dávila (2016) titulado: “Diseño y construcción de un prototipo de vehículo eléctrico monoplaza alimentado por energía solar mediante paneles solares”, desarrollado para el uso de nuevas tecnologías y sistemas de combustión renovables, utilizó un motor eléctrico brushless de 1000 Watts de potencia, 48 Voltios y 12 Amperios, alimentado por energía solar a través de paneles fotovoltaicos. El prototipo del vehículo se construyó con bambú debido a las propiedades físicas y mecánicas del material, después de la construcción se obtuvo que la autonomía del prototipo fue de 27 a 36 km a 20 km/h en un tiempo de 2h35 min y 3h54 min respectivamente (Dávila, 2016, p. ix).

Es así que, un vehículo monoplaza impulsado por energía renovable y no contaminante, es más que efectivo si este es construido con las dimensiones y materiales correctos. Por ello, que es importante hacer revisiones de autonomía, rendimiento y movilidad al tener entre manos el diseño y construcción de un prototipo como este.

## **2.2. Bases teóricas**

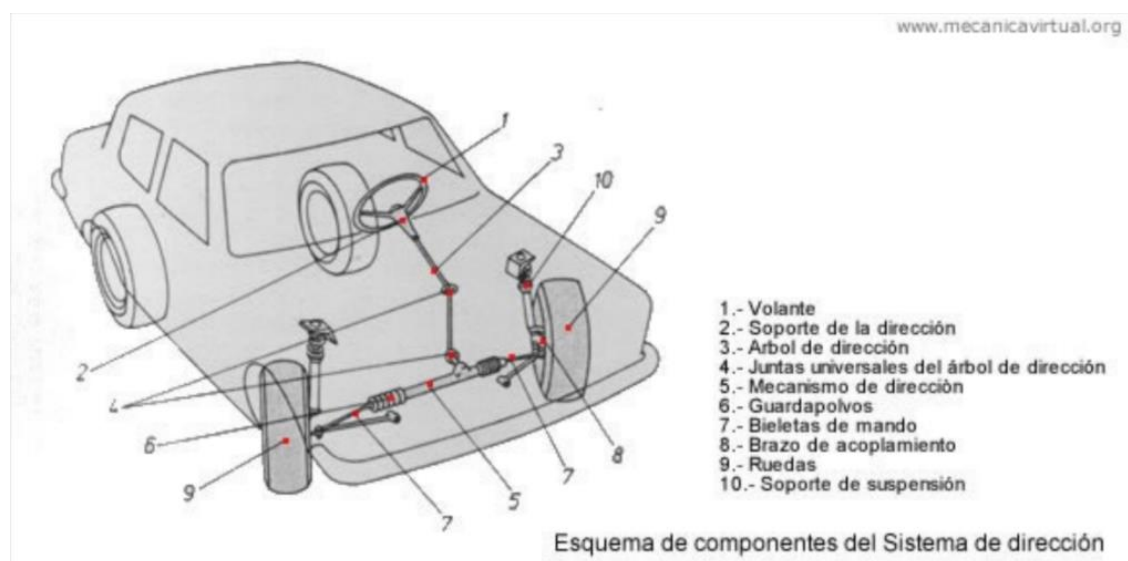
### **2.2.1. Sistema de dirección**

El sistema de dirección en cualquier clase de vehículo funcional como en cualquier tipo de vehículo monoplaza, tiene la misión de orientar las ruedas delanteras del auto, de acuerdo con los reglamentos estandarizados que desde el volante le permita a su conductor el dirigirse a izquierda, derecha o seguir en línea recta, contribuye además a mantener la seguridad de la marcha y por lo tanto es un sistema crítico (Fuentes, 2011, p. 39).

Por eso en este sistema, al igual que el de suspensión o frenos, existen elementos de seguridad que están incluidos en la revisión técnica mecánica del vehículo usada para esta investigación, dado que, si en algún momento falla el vehículo, pierde maniobrabilidad y existe riesgo para los ocupantes y los transeúntes cercanos. El perfeccionamiento de este sistema a lo largo de los años ha permitido controlar de manera muy fiable el vehículo, especialmente cuando de viajar a altas velocidades se trata.

La misión del sistema de dirección de un automóvil es guiar al vehículo mediante la correcta orientación de sus ruedas delanteras, de tal manera que el conductor no sienta las vibraciones transmitidas por el terreno, manteniendo la trayectoria que determina el conductor mediante el volante (Miravete de Marco & Calvo, 2012, p. 168). Su función principal es permitir un control direccional suficientemente preciso para realizar el trazado en las curvas, adelantamientos y maniobras en la evasión de obstáculos presentes en la carretera ya sea en altas o en bajas velocidades (Álvarez et al., 2008 p. 237).

Es preciso entender cuáles son los elementos conformantes de este sistema, aquellos que garantizan la máxima seguridad a través del cumplimiento de condiciones llamadas cotas de dirección o geometría de dirección, mediante las cuales se logra que las ruedas obedezcan fácilmente al volante de la dirección y no se altere su orientación por las irregularidades del terreno o al aplicar los frenos, resultando así una dirección segura y de suave manejo. Por otro lado, es importante para el sistema de dirección que las ruedas regresen a su posición inicial en línea recta y mantener esta al soltar el volante después de ejecutar una curva (Álvarez et al., 2008 p. 237).



**Figura 1-2:** Elementos de la dirección

Fuente: Mecanicavirtual, 2016.

El sistema de dirección debe reunir las siguientes cualidades:

- *Seguridad*: debe precautelar la integridad del conductor ante una posible colisión utilizando elementos que respondan de forma precisa como, por ejemplo, la columna de dirección desplazable.
- *Comodidad*: el conductor debe sentirse a gusto en el espacio físico y con los elementos del vehículo, puesto que, la conducción comprende un riesgo inherente.
- *Suavidad*: debe facilitar la conducción de manera que el conductor realice el mínimo esfuerzo al mover el volante.
- *Precisión*: debe ser lo más preciso posible, en este caso mientras más pequeño sea el ángulo a aplicarse al volante mayor será la precisión.
- *Estabilidad*: consiste en la capacidad de recuperación de la posición original de las ruedas después de haber realizado una curva.

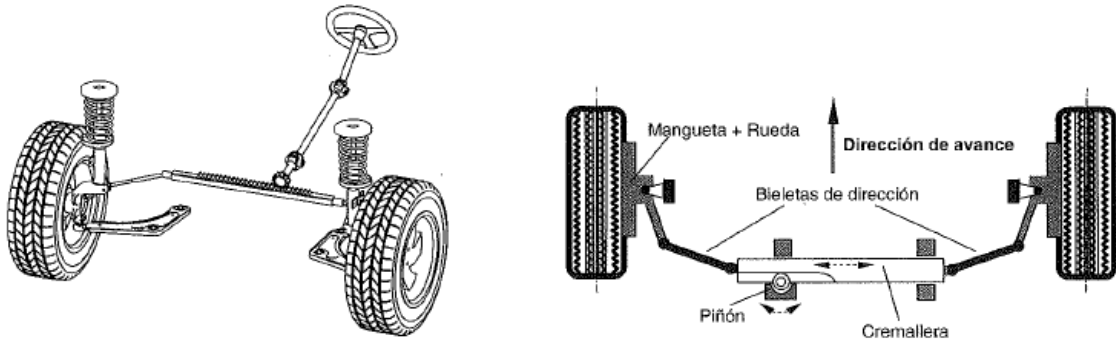
#### 2.2.1.1. Tipos de sistema de dirección

Los vehículos utilizan mecanismos articulados cada vez más actualizados los cuales pueden ir desde un sistema sencillo hasta complejos y controlados desde la computadora para un mejor rendimiento y eficacia a la hora de guiar el vehículo, estos sistemas se clasifican en:

- *Dirección manual*: las fuerzas de dirección son producto únicamente del esfuerzo muscular del conductor (Álvarez et al., 2008 p. 252).
- *Dirección asistida*: las fuerzas de dirección son producto tanto del esfuerzo muscular del conductor como de una fuente externa de energía (Álvarez et al., 2008 p. 252).
- *Servodirección*: las fuerzas de dirección proceden de una o varias fuentes externas de energía (Álvarez et al., 2008 p. 252).
- *Autodirección*: el ángulo de guiado de una o varias de las ruedas se modifica únicamente por la aplicación de las fuerzas o los momentos en el contacto entre el neumático y la carretera (Álvarez et al., 2008 p. 252).

#### 2.2.1.2. Dirección de piñón-cremallera

Este tipo de dirección utiliza una cremallera que se mueve de manera transversal al vehículo con la ayuda de un piñón el cual está anclado en la columna de dirección. La cremallera se une a las bieletas de dirección que, a su vez, se articulan en las manguetas (Álvarez et al., 2008, p. 253).



**Figura 2-2:** Dirección piñón cremallera con las bieletas en los extremos

Fuente: Álvarez et al., 2008, p. 252.

Este tipo de sistema de dirección en la actualidad es muy utilizado en todo tipo de vehículo desde los más pequeños hasta los más grandes y en especial en los que tienen suspensiones delanteras independientes.

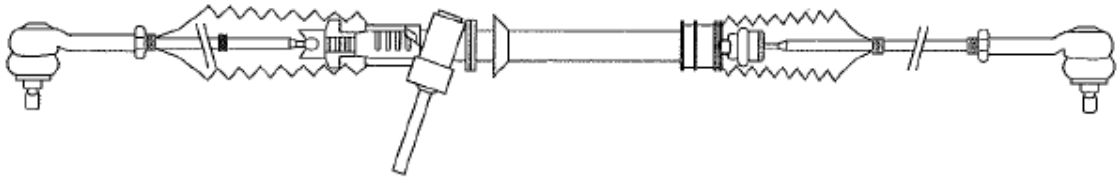
Las principales ventajas que presenta son:

- Construcción sencilla.
- Fabricación económica.
- Contacto libre entre piñón y cremallera con posible amortiguamiento interno (Álvarez et al., 2008 p. 254).
- La dirección tiene una baja elasticidad.
- Limitación fácil del movimiento máximo de la cremallera.

Las principales desventajas que tiene son:

- Tiene una alta sensibilidad a los impactos.
- Con las perturbaciones externas se produce una sensibilidad importante en el volante lo cual puede ser disminuido con la implementación de servosistemas hidráulicos (Álvarez et al., 2008 p. 254).
- En ocasiones las longitudes de las bieletas suelen ser demasiado pequeñas al conectarse directamente a la cremallera (Álvarez et al., 2008 p. 254).
- El ángulo de giro depende netamente del movimiento que tenga la cremallera (Álvarez et al., 2008 p. 254).

Existen diversas variantes en función de que las bieletas vayan ancladas a los extremos o en el centro de la cremallera, tomando en cuenta que el piñón puede estar centrado o no con respecto al vehículo (Álvarez et al., 2008 p. 254).



**Figura 3-2:** Detalle de una dirección de piñón cremallera con las bieletas en los extremos

Fuente: Álvarez et al., 2008, p. 254.

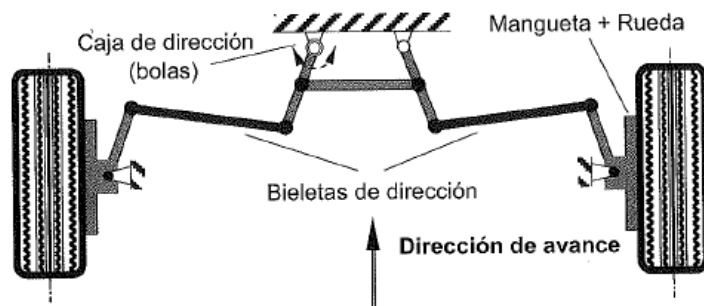
### 2.2.1.3. Sistema de dirección de bolas recirculantes

Este sistema de dirección está caracterizado por el principio del movimiento que recibe un tornillo sin fin de la columna de dirección. El juego de engranajes permite que el esfuerzo del conductor en el giro sea menor, y las bolas encajadas en los espacios libres entre los engranajes disminuyen el rozamiento y el desgaste. Este tipo de sistema se utiliza principalmente en vehículos de carga pesada como camiones y autobuses (Canto, s.f., párr. 2).

En los vehículos actuales es difícil instalar este tipo de sistemas, por ejemplo, en los vehículos con suspensión delantera independiente se requiere instalar un brazo adicional a la salida de la caja de dirección y para conectar las ruedas un tirante intermedio (Álvarez et al., 2008, p. 256).

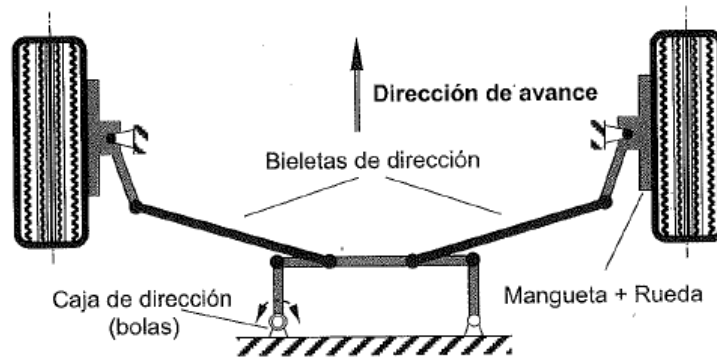
Ventajas:

- Se puede usar en eje rígido
- Permiten transmitir grandes fuerzas.
- Se puede obtener ángulos de giro significativos.



**Figura 4-2:** Cuadrilátero articulado opuesto

Fuente: Álvarez et al., 2008, p. 256.



**Figura 5-2:** Cuadrilátero articulado opuesto situado por detrás del eje

Fuente: Álvarez et al., 2008, p. 256.

### 2.2.2. Elementos del sistema de dirección

La orientación deseada de las ruedas se consigue mediante un conjunto de elementos que transmiten el movimiento de giro del volante.

#### 2.2.2.1. Volante y árbol de dirección

Definido por (Andrino, 2016, p. 107):

- El volante es el elemento de mando principal en el cual el piloto aplicara la fuerza para realizar el giro de las ruedas.
- La columna de dirección debe colocarse a la altura adecuada para acoplarse a las condiciones físicas del conductor y brindar comodidad.



**Figura 6-2:** Volante y columna de dirección

Realizado por: Chasi, A., 2021.



### 2.2.2.2. Barra y terminales de dirección

La barra de dirección es el elemento que se conecta a los extremos de la cremallera para después conectarlo con los terminales y se encargan de transmitir la fuerza para que giren las ruedas. Los terminales son conectados a los brazos de la mangueta para proporcionar el giro a las ruedas y también absorben las irregularidades de la carretera.



**Figura 7-2:** Barra y terminales de dirección

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

### 2.2.2.3. Rodamientos

Los rodamientos son elementos que reducen la fricción y permiten el movimiento lineal o rotativo ya que disminuye considerablemente la fricción entre la pista del rodamiento y la otra superficie sobre la cual gira y también disminuirá la fuerza a emplear para realizar los movimientos mencionados (BRR Refacciones Industriales, 2021, párr. 2).

Los rodamientos axiales de bolas están fabricados para soportar cargas paralelas al eje donde se ubican, por lo general están conformadas por tres partes:

- Aro superior
- Aro inferior
- Elemento rodante que va en la mitad



**Figura 8-2:** Rodamiento axial de bolas

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

Los rodamientos de bolas son comúnmente más usados puesto que su sistema es muy sencillo y tienen la capacidad de soportar cargas axiales, de empuje y una pequeña cantidad de peso.



**Figura 9-2:** Rodamiento de bolas

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

#### 2.2.2.4. *Mangueta*

Estos elementos funcionan como vínculo entre la suspensión y la dirección con las ruedas, a su vez, esta sirve para el ensamble de todos los elementos de la suspensión como rótula superior, rótula inferior, varillaje de dirección centro de rueda, rodillo y mordaza; tiene como parte de sus funciones:

- Ubicación estable para el cojinete de la rueda.
- Soporte de los momentos de flexión al tomar una curva.
- Soporta las fuerzas que genera el amortiguador y el muelle.
- Resiste las fuerzas de torsión que actúan en el eje de rotación al frenar.

### 2.2.2.5. Junta cardán (cruceta)

Es el componente mecánico encargado de transmitir el movimiento desde los árboles del eje de dirección, está formado por dos piezas en forma de horquillas que se unen mediante otra pieza en forma de cruz, es por esto que generalmente en el ámbito cotidiano se conoce a este elemento como cruceta de la dirección (Canto, 2022, párr. 1-2).

La principal función de la junta cardán en el árbol de transmisión es de transmitir la fuerza ejercida en el motor hasta las ruedas motrices; en el caso de los automóviles con dos ruedas motrices se utilizan dos juntas cardán.



**Figura 10-2:** Junta cardán (cruceta)

Realizado por: Chasi, A., 2021.

### 2.2.3. Geometría de la dirección (cotas de reglaje de la dirección)

Para el funcionamiento con precisión de la dirección, los componentes que la conforman deben cumplir con determinadas condiciones denominadas cotas de dirección o geometría de dirección, estas cotas permiten que las ruedas sigan con facilidad al volante y con ello no se altere la orientación por las irregularidades del terreno o al aplicar los frenos sea de forma moderada o brusca; cuando el sistema de dirección cumple estas condiciones, entonces se trata de una dirección segura y suave. Para comprobar el correcto funcionamiento de las ruedas, después de ejecutar una curva deben regresar al punto inicial, es decir, mantenerse en línea recta al soltar el volante.

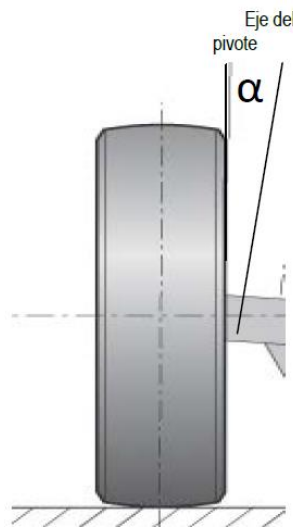
Los parámetros, cotas y ángulos que determinan la geometría del sistema de dirección son:

- Ángulo de salida
- Ángulo de caída
- Ángulo de avance

- Convergencia o divergencia

#### 2.2.4. *Ángulo de salida (As)*

El ángulo de salida ( $\alpha$ ) es el que se forma por la prolongación del eje del pivote con el eje vertical. Esta disposición del pivote disminuye el esfuerzo a realizar para orientar la rueda y mejora la estabilidad del sistema de dirección, puesto que, interviene en el movimiento direccional de manera que después de realizar un giro, hace que las ruedas vuelvan a la posición de línea recta (Andrino, 2016, p. 109).



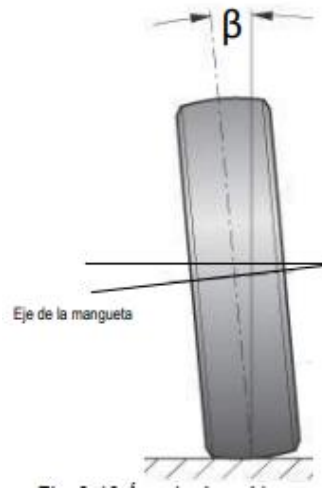
**Figura 11-2:** Ángulo de salida

Fuente: Andrino, 2016, p. 109.

El ángulo de salida suele estar comúnmente en un rango de  $5^\circ$  y  $10^\circ$ , en su gran mayoría los vehículos utilizan de  $6^\circ$  a  $7^\circ$ , esta inclinación del pivote hace que el esfuerzo se reduzca en la orientación de la rueda, puesto que depende directamente de la distancia que existe entre el pivote y el punto de contacto en el suelo. Mientras menor sea la distancia, menor será el esfuerzo que se realice en el volante.

#### 2.2.5. *Ángulo de caída (Ac)*

Denominado ángulo beta ( $\beta$ ) está formado por la prolongación del eje de simetría de las ruedas y el eje vertical que atraviesa el centro de apoyo de la rueda, con valores de entre  $0.5^\circ$  y  $1^\circ$ . Este ángulo se logra al dar al eje de la mangueta un grado de inclinación con respecto a la horizontal y tiene como objetivo desplazar la masa del automóvil hacia el interior de la mangueta para disminuir el empuje lateral de los cojinetes sobre los que está apoyada la llanta (Andrino, 2016, p. 110).

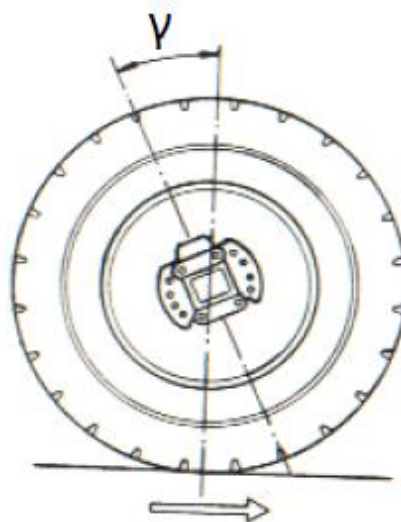


**Figura 12-2:** Ángulo de caída

Fuente: Andrino, 2016, p. 109.

### 2.2.6. Ángulo de avance ( $Aa$ )

Este ángulo ( $\gamma$ ) se forma en la prolongación del eje del pivote con el eje vertical el cual pasa por el centro de la rueda, apreciando la rueda en el sentido de avance del vehículo. Cuando el vehículo está en movimiento, este ángulo hace que la dirección sea estable y, que después de tomar una curva las ruedas tiendan a volver a la posición de línea recta (Andrino, 2016, p. 110).



**Figura 13-2:** Ángulo de avance

Fuente: Andrino, 2016, p. 110.

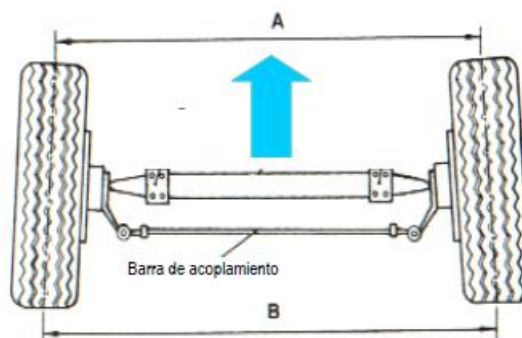
### 2.2.6.1. Cotas conjugadas

“Los ángulos de salida y caída se aumentan para que la rueda tenga la posición más adecuada y, según sea su valor, modifica la posición relativa de una rueda con respecto a la otra de un mismo eje” (Andrino, 2016, p. 110.).

### 2.2.7. Convergencia

En los vehículos de propulsión, el empuje ejercido por las partes motrices del eje trasero, provoca que las ruedas delanteras se abran durante la marcha (Andrino, 2016, p. 110.). Para compensar esta acción de las ruedas se busca que desde una vista superior se generen prolongaciones desde los ejes de las ruedas hasta su intersección en un punto imaginario por delante de estas. La convergencia de dos ruedas se mide por la diferencia de distancias entre la parte anterior y posterior de dichas ruedas. En los vehículos de tracción, dependiendo de los valores de los ángulos de salida, caída y avance, la convergencia puede ser positiva o negativa, también llamada divergencia (Andrino, 2016, p. 110.).

Cuando las ruedas convergen la estabilidad tiende a aumentar, pero a la vez, existe más resistencia a la rodadura y por tal motivo disminuye la velocidad punta. La convergencia es como “hacer la cuña” con los patines: frena, pero a la vez da más estabilidad. La alineación de las ruedas está referida a las dos ruedas de un mismo eje (Andrino, 2016, p. 110.).



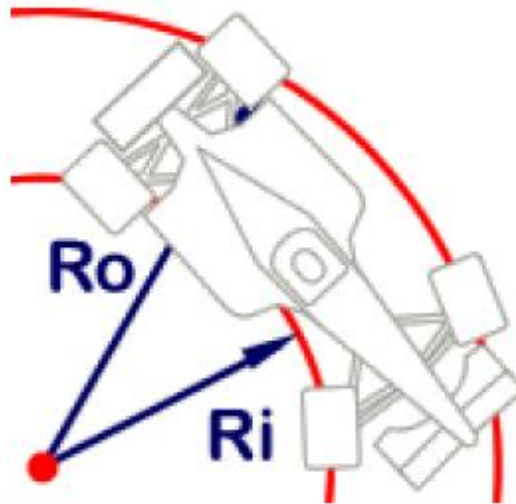
**Figura 14-2:** Convergencia

Fuente: Andrino, 2016, p. 110.

### 2.2.8. Geometría de Ackerman

El principio de dirección de Ackerman define la geometría que se aplica a todos los vehículos (tracción en dos o cuatro ruedas) para permitir que se genere el ángulo de giro correcto de los volantes al momento de tomar una curva (Burnhill, 2009; citado en Chamba y Jaramillo, 2016, p. 13).

En la antigüedad los vehículos eran jalados por caballos y tenían un bajo rendimiento en la dirección pues estaban contruidos con dos brazos de dirección paralelos. Fue Rudolf Ackerman quien descubrió este sistema que ayudaría a mitigar los problemas que tenían los vehículos mediante el uso de brazos de dirección en ángulo.

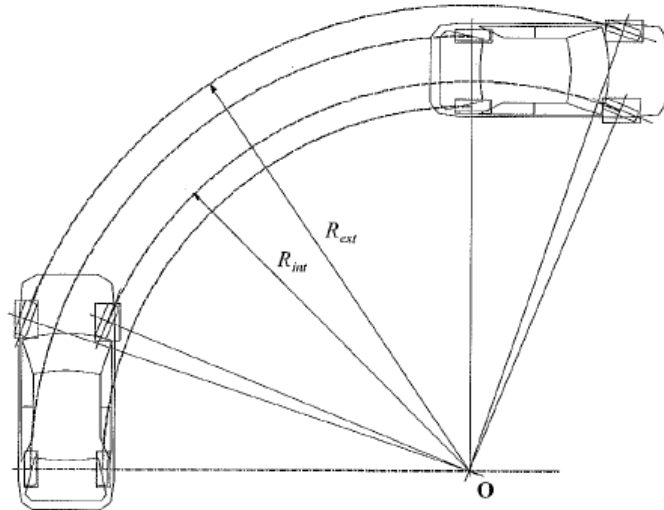


**Figura 15-2:** Principio de dirección de Ackerman

Fuente: Burnhill, 2009.

Al analizar un vehículo tomando en cuenta una curva en régimen estacionario, se observa que las ruedas exteriores presentan una trayectoria circular de radio ( $R_{ext}$ ) mayor que el radio de la trayectoria descrita por las ruedas interiores ( $R_{int}$ ), esto se debe a la geometría aplicada (Álvarez et al., 2008 p. 238).

En una curva cada rueda delantera tendrá un radio de giro diferente, puesto que, la rueda exterior presenta un radio mayor que la rueda interior, si las dos ruedas tuvieran un radio de giro igual se trabarían o arrastrarían en las curvas. Poner en funcionamiento la geometría de Ackerman no es simple y normalmente se utiliza un sistema formado por dos manguetas articuladas a un pivote o eslabón central que es controlado mediante el volante.

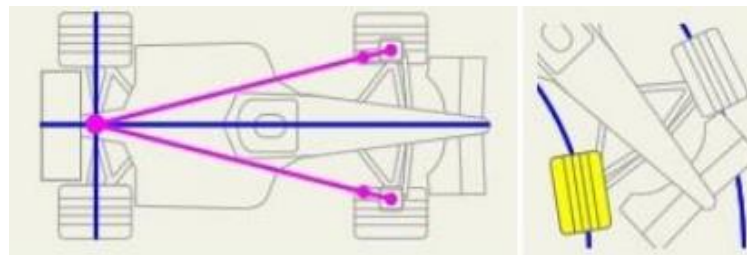


**Figura 16-2:** Vehículo de dos ejes con una trayectoria de radio constante

Fuente: Álvarez et al., 2008, p. 238.

### 2.2.8.1. Ackerman neutro

Se dice una geometría de Ackerman neutro cuando la dirección se establece de forma que las prolongaciones lineales de los puntos de giro de los brazos de dirección se entrecruzan en la línea de acción del eje trasero; no hay ningún cambio de ángulo del dedo del pie en la rueda interior, la rueda está alineada con la circunferencia del círculo (Burnhill, 2009; citado en Chamba y Jaramillo, 2016, p. 13).



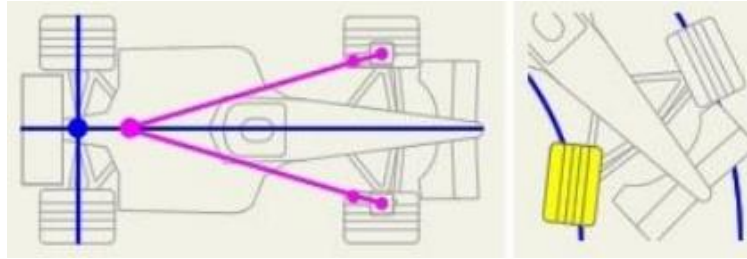
**Figura 17-2:** Ackerman Neutro

Fuente: Chamba y Jaramillo, 2016, p. 13.

### 2.2.8.2. Ackerman positivo

La dirección se configura de tal manera que las prolongaciones de las líneas del ángulo de los puntos de giro de los brazos de dirección, se interceptan delante de la línea central del eje trasero. Esta geometría consigue una mayor desigualdad angular de las ruedas, resultando en el seguimiento de un círculo de diámetro más pequeño realizado por la rueda interior (Burnhill, 2009; citado en Chamba y Jaramillo, 2016, p. 13).



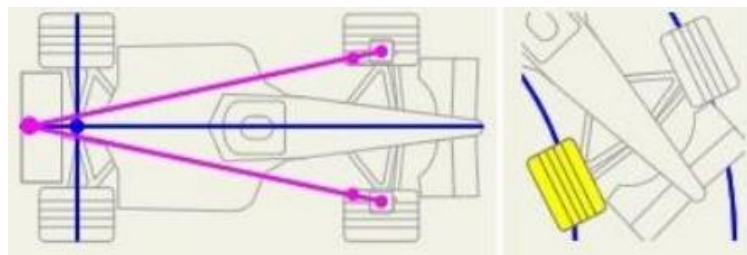


**Figura 18-2:** Ackerman Positivo

Fuente: Chamba y Jaramillo, 2016, p. 13.

### 2.2.8.3. Ackerman negativo

La dirección se configura de forma que las prolongaciones de las líneas del ángulo de los puntos de giro de los brazos de dirección, se cruzan detrás de la línea central del eje trasero. Esta geometría de la dirección alcanza una cantidad reducida de la desigualdad angular de las ruedas, dando como resultado que la rueda interior trata de seguir un círculo de diámetro más grande de lo que realmente hace (Burnhill, 2009; citado en Chamba y Jaramillo, 2016, p. 14).

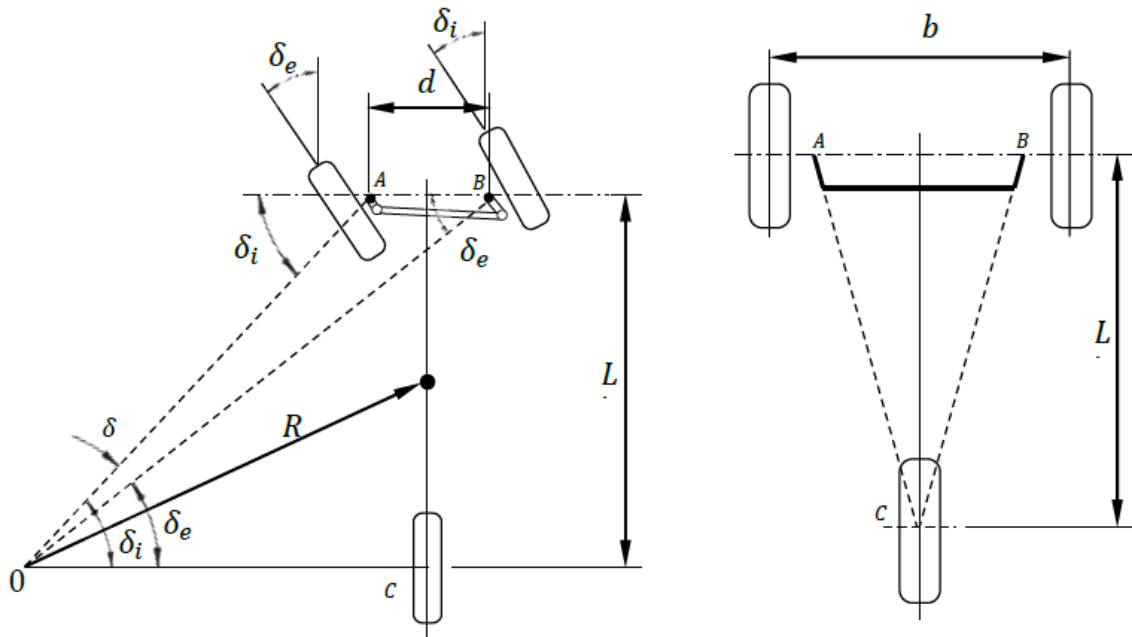


**Figura 19-2:** Ackerman Negativo

Fuente: Chamba y Jaramillo, 2016, p. 14.

### 2.2.9. Ángulo de giro de las ruedas (Geometría Ackerman)

Conociendo que al tomar una curva los ángulos formados por las ruedas interiores y exteriores no son iguales, en la figura 19-2 se indica la geometría de giro para un vehículo Supermileage.



**Figura 20-2:** Ángulo de giro mediante la geometría de Ackerman

Fuente: Pulgarín & Zabala, 2013, p. 85.

Donde:

$d$  = distancia entre los ejes de los pivotes de la dirección.

$L$  = distancia entre ejes.

$b$  = ancho de trocha

$\delta_i$  = ángulo interno

$\delta_e$  = ángulo externo

$\delta$  = ángulo de Ackerman

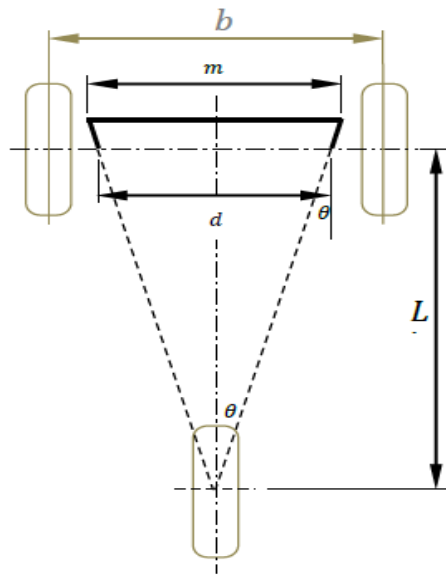
$\theta$  = ángulo del trapecio

La siguiente fórmula se utiliza para obtener el ángulo interno el cual es directamente proporcional al ángulo externo.

$$\delta_i = \tan^{-1}\left(\frac{L \cdot \tan(\delta_e)}{L - b \cdot \tan(\delta_e)}\right) \quad (\text{Ec. 1-2})$$

### 2.2.10. Ángulo de orientación de los brazos de dirección

La orientación de los brazos de dirección se calcula de tal manera que el ángulo esté direccionado al centro del eje posterior.



**Figura 21-2:** Ángulo de orientación de los brazos de dirección

Fuente: Pulgarín & Zabala, 2013, p. 85.

Para el cálculo del ángulo se utiliza la siguiente formula:

$$\tan\theta = \frac{\frac{d}{2}}{L} = \frac{d}{2L} \quad (\text{Ec. 2-2})$$

Donde:

$\theta$  = ángulo de orientación de los brazos de dirección

d = distancia entre los ejes de los pivotes de la dirección

L= distancia entre ejes

b= ancho de trocha

El ángulo de giro máximo se lo calcula con la siguiente formula tomando en cuenta el radio de giro que se requiere cumplir:

$$\tan\delta_e = \frac{L}{r_{max} + \frac{b}{2}} \quad (\text{Ec. 3-2})$$

$$\tan\delta_i = \frac{L}{r_{max} - \frac{b}{2}} \quad (\text{Ec. 4-2})$$

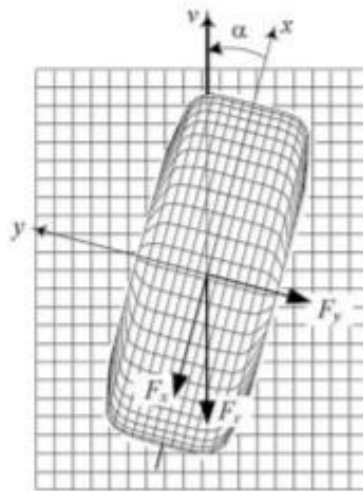
### 2.2.11. Neumáticos

Los neumáticos son los que influyen en el comportamiento del vehículo debido a que son elementos que se mantienen en contacto con la calzada de la pista, durante el funcionamiento del vehículo los neumáticos son los elementos que proporcionan el control y estabilidad del vehículo al resistir las irregularidades de la calzada.

Las fuerzas y torques que se generan en el neumático influyen en el funcionamiento del sistema de dirección estas fuerzas funcionan de manera que generan el auto alineamiento de las ruedas y desarrollan el agarre es decir la adherencia con la pista.

### 2.2.12. Fuerza lateral

De acuerdo con William (2005), menciona que, para la SAEJ670, que define la terminología de la dinámica de los vehículos, la fuerza lateral se origina en el centro de contacto entre el neumático y la calzada, se encuentra en el plano horizontal de la calzada y es perpendicular a la dirección en que la rueda se dirige.

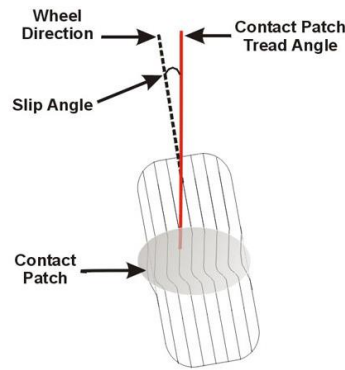


**Figura 22-2:** Fuerza lateral ( $F_y$ ) en el giro del neumático

Fuente: Rill, 2012.

### 2.2.13. Slip Angle (ángulo de deriva)

El ángulo de deslizamiento se denomina a aquel formado entre la dirección a la cual apunta el neumático y la dirección hacia donde se desliza realmente cuando existe una fuerza lateral.



**Figura 23-2:** Demostración gráfica del Slip Angle

Fuente: Suspencon Secrets, 2021.

#### 2.2.14. *Self Aligning Torque (Par de alineación)*

Conocido también como momento de auto alineación es la resultante de la fuerza lateral y el brazo del momento que en este caso está representado por el desplazamiento del neumático (Pneumatic Trail), el par de alineación pretende girar la rueda sobre el eje Z alinearla con la dirección de la velocidad del neumático. Según Jazar (2009) la fórmula que representa el par de auto alineación.

$$M_Z = F_y * a_{xa} \quad (\text{Ec. 5-2})$$

Donde:

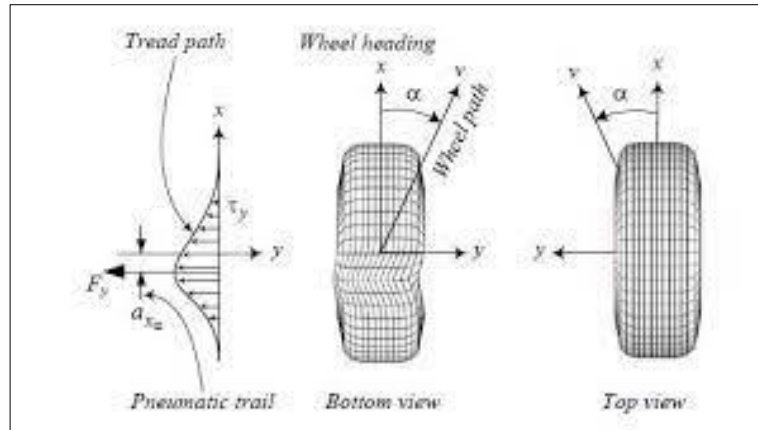
$M_Z$  representa al par autolineante,

$F_y$  la fuerza lateral y

$a_{xa}$  es el desplazamiento del neumático

#### 2.2.15. *Pneumatic Trail (Desplazamiento del neumático)*

Se describe este desplazamiento como la relación entre el torque de auto alineación y la fuerza lateral para pequeños ángulos de deslizamiento; en estado estacionario puede determinar la fuerza a aplicar en el volante de la dirección ya que, si existe más desplazamiento, la fuerza a aplicar deberá ser mayor para vencer esta fuerza presente.



**Figura 24-2:** Vista superior e inferior del desplazamiento del neumático con las fuerzas actuantes

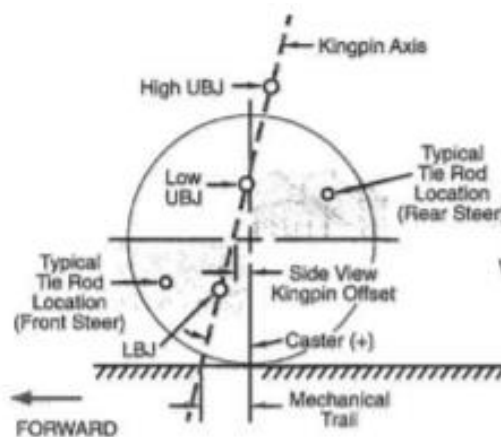
Fuente: Leledakys, 2014, p. 18.

Tomando como referencia la ecuación del par autoalimente a fórmula del desplazamiento del neumática quedará expresado de la siguiente manera.

$$a_{xa} = \frac{M_z}{F_y} \quad (\text{Ec. 6-2})$$

### 2.2.16. Mechanical Trail (Huella mecánica del neumático)

Generalmente la huella mecánica está relacionada con el valor del ángulo de *caster* y eje del *King pin* los cuales determinan una impresión de la huella del neumático sobre la calzada tal como se le presenta en la siguiente figura.

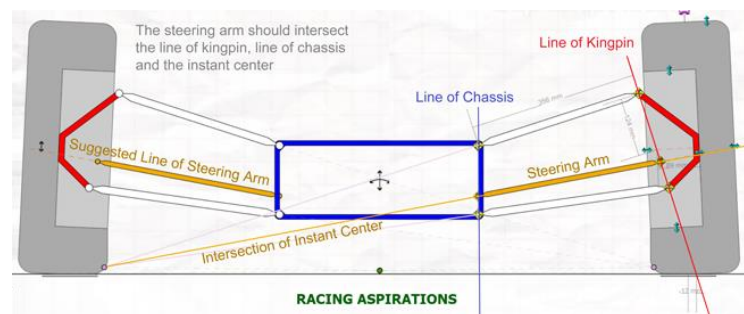


**Figura 25-2:** Mechanical Trail determinada por el King pin axis

Fuente: William, 2005.

### 2.2.17. Bump steer

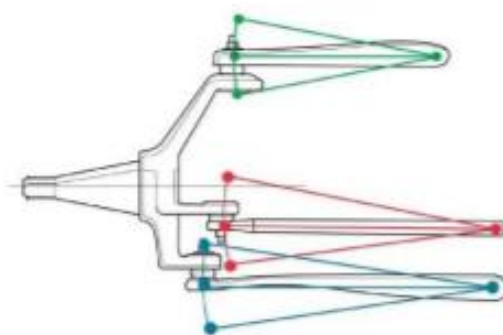
El *bump steer* hace referencia a la variación del giro inducido por la suspensión producido cuando la suspensión se comprime o se extiende, es decir que cuando la suspensión actúa se genera una trayectoria no deseada por el conductor, sin embargo, este fenómeno indeseado se puede controlar mediante los mecanismos de la suspensión y la dirección al situarlos de manera que sus puntos de conexión coincidan en el eje del *King pin* y otra línea en el chasis que mantenga un eje centrado en sus puntos de sujeción.



**Figura 26-2:** Arreglo teórico para evitar el *bump steer*

Fuente: RacingAspirations, 2022, párr. 2.

En el caso de poseer una geometría similar a la presentada en el apartado anterior tanto para los brazos de suspensión como para la dirección, existe la posibilidad de generar brazos de pivotamiento haciendo que cada punto de estos tenga un radio distinto, produciendo un desvío en el momento que actúa la suspensión como se muestra a continuación.



**Figura 27-2:** Radios de los brazos de las articulaciones que producen *bump steer*

Fuente: Amoz, 2017.

### **2.2.18. Diseño software CAD**

Las siglas CAD en inglés se definen como *computer aided design* o su traducción al español diseño asistido por computadora, son softwares que permiten crear, editar y simular modelos bidimensionales y tridimensionales de cualquier tipo de objeto físico

El diseño del sistema de dirección lo que busca es un buen aislamiento de las perturbaciones que provienen de la carretera, al mismo tiempo que asegure un contacto adecuado neumático-calzada y que logre un buen rendimiento con esfuerzos reducidos en el mando de la dirección y una adecuada estabilidad a velocidades elevadas (Álvarez et al., 2008, p. 273).

#### **2.2.18.1. Software CAD: Solidworks**

Este es un software CAD que permite modelar piezas y ensamblajes en planos 2D y 3D, presenta un conjunto de herramientas que permiten tanto el diseño como la simulación del funcionamiento de los elementos, este programa incluye cinco líneas de productos:

- Herramientas de diseño para crear modelos y ensamblajes.
- Herramientas de diseño para la fabricación mecánica, automatizando los documentos de inspección y creando documentos sin planos 2D.
- Herramientas de simulación que permite la evaluación del diseño y garantiza al investigador la eficiencia de sus proyectos.
- Herramientas de evaluación del impacto medio ambiental a lo largo del ciclo de vida del diseño.
- Herramientas que reutilizan los datos del software CAD en 3D de forma que facilita la creación, conservación y utilización de los contenidos para la comunicación técnica dentro de las empresas.

## **2.3. Marco legal**

### **2.3.1. Reglamento Técnico Ecuatoriano**

A razón de que no existe a nivel nacional un reglamento a seguir sobre el funcionamiento y dimensionamiento para un vehículo monoplaza, se recurrió al Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 040 “Soldadura de estructuras de acero”, en conformidad con el artículo 29 de la Ley 2009-76 del Sistema Ecuatoriano de Calidad y el Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Este reglamento tiene como objeto:



*Este Reglamento Técnico Ecuatoriano establece los requisitos que debe cumplir el personal, los materiales, los procedimientos pertinentes y los procesos que intervienen en las actividades de soldadura de estructuras de acero, con la finalidad de disminuir los riesgos en la seguridad y vida de las personas y de los animales, el medio ambiente y la propiedad, y las prácticas que puedan inducir al error a los usuarios* (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009, p. 2).

### **2.3.2. Reglamento Shell-Eco-Marathon**

La competencia Shell Eco-Marathon es un evento enfocado en la creación de vehículos de competencia automovilística con eficiencia energética, está dirigido a estudiantes universitarios de ciencia, tecnologías, ingenierías y demás carreras que presenten prototipos de vehículos que permitan mayores distancias utilizando la misma cantidad de combustible.

El diseño y construcción de estos prototipos de vehículos debe regirse a ciertas características como:

#### *2.3.2.1. Dimensiones*

- a) Altura máxima del vehículo hasta 1000 mm.
- b) El ancho de la vía del vehículo deberá ser de al menos 500 mm, medidos entre los puntos en que los neumáticos toquen la calzada.
- c) La relación entre altura y ancho de vía deber ser menos a 1.25
- d) La distancia entre ejes del vehículo deber ser mínimo 1000 mm.
- e) El ancho total máximo del vehículo no debe superar los 1300 mm.
- f) La longitud máxima del vehículo no deberá superar los 3500 mm.
- g) El peso límite del prototipo sin incluir al conductor será de máximo 140 kg.

#### *2.3.2.2. Neumáticos, ruedas, ejes y bujes de las ruedas*

- a) Se admiten todo tipo de neumáticos y ruedas.
- b) Las llantas deben ser compatibles con las dimensiones de los neumáticos para garantizar la seguridad. (Las ruedas de bicicleta no están diseñadas para soportar fuerzas laterales sustanciales en las curvas). Los ejes de las ruedas deben diseñarse para soportar cargas en voladizo.
- c) Las ruedas situadas en el interior de la carrocería y aisladas del conductor con un mamparo y no tendrán contacto con el chasis ni la carrocería.

- d) La manipulación de las ruedas está prohibida apenas el vehículo se ubique en la línea de partida hasta cruzar la línea de meta.
- e) Las instalaciones deben anular las probabilidades de que las ruedas interfieran con otros elementos (cables, mangueras, batería, etc.)

#### *2.3.2.3. Radio de giro y dirección*

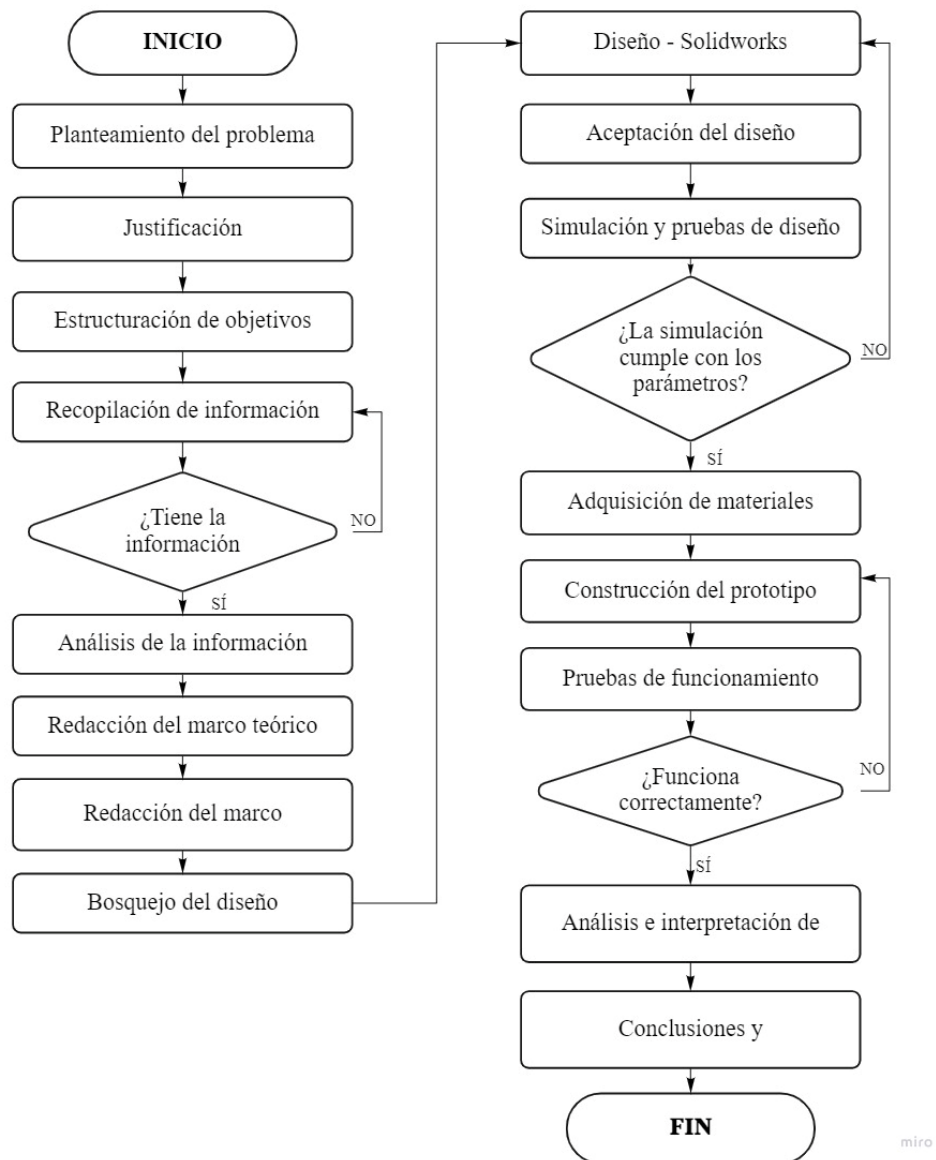
- a) Se permite únicamente la dirección de la rueda delantera.
- b) El radio de giro será de 8 metros o menos.
- c) Los sistemas de dirección indirecta están permitidos siempre y cuando sean operados por un volante o similar.
- d) Los Organizadores se reservan el derecho de establecer un curso de manejo del vehículo para verificar lo siguiente cuando el vehículo está en movimiento: habilidades del conductor, radio de giro y precisión de la dirección. Por ejemplo, los Organizadores verificarán que la dirección sea precisa, sin juego (Shell Eco-Marathon, 2021, p. 23).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Diagrama de flujo

El gráfico 1-3 detalla las etapas realizadas para el avance del presente proyecto, partiendo en el planteamiento del problema, la revisión bibliográfica, la aplicación de una metodología de investigación, el diseño del prototipo y la fabricación del mismo.



**Gráfico 1-3:** Diagrama de flujo del proyecto

Realizado por: Chasi, A., 2021.

### **3.2. Tipo de investigación**

El presente trabajo emplea la investigación aplicada mediante el empleo de los conocimientos teórico-prácticos adquiridos en el transcurso de la carrera de Ingeniería Automotriz para el diseño y construcción del sistema de dirección en un prototipo eléctrico monoplaza.

Dependiendo la manipulación de las variables, el autor considera la investigación de tipo experimental, ya que, al terminar el diseño y fabricación de los elementos del sistema de dirección y realizar su ensamblaje serán sometidos a pruebas para determinar el ángulo de giro, ángulo camber, ángulo caster y el cumplimiento de las especificaciones técnicas propias del sistema.

Las actividades metodológicas desarrolladas durante el proceso de investigación fueron:

- Estudio de los principales partes del sistema de dirección.
- Diseño del sistema de dirección.
- Ajustes e implementación del sistema de dirección en el prototipo.
- Pruebas del ángulo de giro en el prototipo eléctrico monoplaza.

#### ***3.2.1. Método de investigación***

El autor utilizó el método deductivo, mismo que es un método de razonamiento que consiste en tomar conclusiones generales para explicaciones particulares. El método se inició con el análisis de los postulados, teoremas, leyes y principios de aplicación universal y comprobada su validez en los sistemas de dirección de todo tipo de vehículos automotores, para aplicarlos a soluciones o hechos particulares, en este caso la adaptación del estudiado sistema de dirección en un prototipo de vehículo monoplaza.

#### ***3.2.2. Enfoque de investigación***

En función de los objetivos de la investigación se utilizó un enfoque cuantitativo, el cual pretende hacer uso de variables numéricas y normas para llevar a cabo la investigación y la obtención de resultados. A lo largo del desarrollo del proyecto se utiliza el enfoque cuantitativo desde la medición de cotas numéricas lineales y angulares en el diseño y construcción del prototipo, así también en el cálculo de los costos de producción y en las unidades de medición en las pruebas de funcionamiento.

### 3.2.3. Técnicas e instrumentos

El presente proyecto técnico utilizó técnicas e instrumentos propios del área de Ingeniería Automotriz, así como normativas nacionales que permitieron la construcción del prototipo. En relación con el diseño de los elementos se utilizó la técnica de dibujo asistido por computadora mediante el instrumento de software CAD Solidworks; mientras que para la construcción y ensamblaje de los elementos se utilizó principalmente la técnica de soldadura acompañada de actividades manuales utilizando herramientas manuales y máquinas detalladas en los siguientes apartados.

### 3.3. Desarrollo del proyecto

#### 3.3.1. Cronograma de actividades

**Tabla 1-3:** Cronograma de actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																
Actividad	Mayo 2021				Junio 2021				Julio 2021				Agosto 2021			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Aprobación del trabajo de titulación		X														
Planteamiento del problema de la investigación			X													
Redacción del Capítulo I				X												
Investigación bibliográfica sobre los principios del sistema de dirección					X											
Recopilación de información bibliográfica						X										
Análisis de la información y redacción del Capítulo II						X										
Redacción del Capítulo III							X									
Establecimiento de los recursos humanos y materiales								X								
Búsqueda de un proveedor de los materiales de construcción									X							
Bosquejo del sistema de dirección del prototipo									X							
Diseño y simulación mediante Solidworks del sistema de dirección										X						
Adquisición de materiales y solicitud de uso de máquinas y herramientas de construcción											X					
Construcción del prototipo monoplaza											X	X				

Instalación del sistema de dirección en el prototipo de vehículo																		X	X						
Pruebas de funcionamiento del prototipo																					X				
Análisis de los resultados de las pruebas																						X			
Elaboración del Capítulo IV del documento escrito																							X		
Redacción de conclusiones y recomendaciones																							X		
Presentación del proyecto																								X	

Realizado por: Chasi, A., 2021.

### 3.3.2. Recursos y materiales

#### 3.3.2.1. Presupuesto

Los costos para lograr un buen desarrollo y construcción del sistema se encuentran detallados en la siguiente tabla la cual se fue corrigiendo con valores reales conforme se avanzó en la construcción ya que inicialmente se trabajó con costos aproximados los cuales se obtuvo mediante cotizaciones realizadas en distintos establecimientos.

En el transcurso de la construcción se tuvo que realizar varias modificaciones y cambios lo cual implica más gastos, por ello es muy importante contar con un porcentaje extra para los gastos extra, que comúnmente es el 10% del total de gastos.

**Tabla 2-3:** Costos directos e indirectos

<b>Costos directos</b>			
<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (\$)</b>	<b>Costo total</b>
Brazos de dirección	2	10	\$20
Conjunto de aros y ruedas Rin 20	3	\$50	\$150
Terminales	2	\$5	\$10
Manguetas	2	\$15	\$30
Rodamientos	5	4\$	\$20
Timón	1	\$30	\$30
Gastos de elementos varios			\$100
Asesoría profesional	-	-	\$300
<b>Costos indirectos</b>			

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (\$)</b>	<b>Costo total (\$)</b>
Transporte	-	\$120	\$120
Hospedaje	-	\$80	\$80
Imprevistos	-	\$125	\$125
Alimentación	-	\$150	\$150
Impresiones de los documentos	-	\$70	\$70
Componentes varios	-	\$60	\$60
<b>TOTAL</b>			\$1265

Realizado por: Chasi, A., 2021

### 3.3.2.2. Talento Humano

Es la capacidad, preparación, conocimiento y compromiso con el que cuenta la o las personas para realizar una actividad utilizando los recursos disponibles para cada trabajo. El diseño y construcción de este proyecto fue realizado por el investigador en colaboración del director y asesor del trabajo de titulación y, adicionalmente personal externo que participó en la investigación tanto teórica como práctica, esto con el objetivo de obtener un producto de calidad y acorde con las especificaciones técnicas.

**Tabla 3-3:** Especificaciones del talento humano

<b>Talento Humano</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Especificaciones</b>
Director o tutor	1	Proporcionar la información, directrices básicas y orientación científico - técnica al investigador ante cualquier duda que surja antes, durante o después del desarrollo del trabajo de integración curricular. Realizar el seguimiento de todo el proceso del trabajo de titulación en sus componentes teóricos y prácticos.
Miembro o asesor	1	Asesorar en cuanto a conocimientos científicos y técnicos durante el desarrollo del proyecto de integración curricular en función de las necesidades de la investigación.
Técnico mecánico	1	Acompañar y supervisar las operaciones de mecanizado dentro de las instalaciones a fin de garantizar la calidad de las piezas y elementos, así como del vehículo en su totalidad; y, por ende, garantizar la seguridad del conductor.

Técnico asesor CAD	1	Brindar información y acompañamiento en el proceso de diseño de los elementos en el software CAD, según los lineamientos de dimensionamiento estandarizados a nivel nacional e internacional.
Investigador	1	Desarrollar de forma óptima el proyecto de titulación, desde el empleo de los conocimientos científicos, prácticos y tecnológicos obtenidos en el transcurso de la carrera de Ingeniería Automotriz y en cumplimiento con los requerimientos establecidos por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

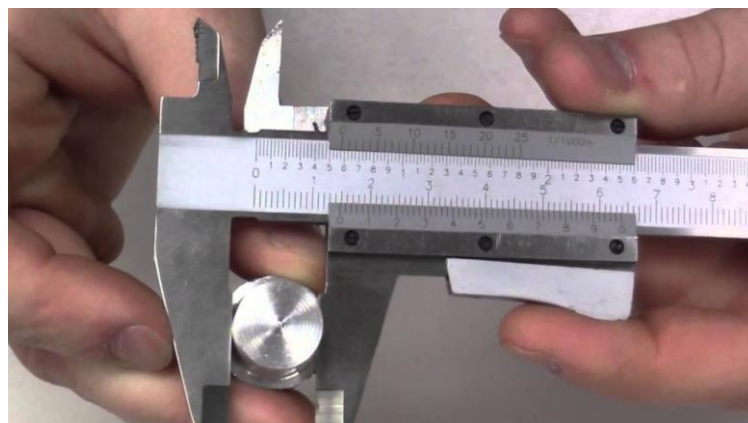
**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

### 3.3.2.3. Equipos y materiales

Para el diseño y simulación de los elementos se utilizó softwares CAD que permitieron la creación a partir de bosquejos y medidas estándares existentes en el mercado. Por otro lado, para la construcción se utilizaron equipos de corte, soldadura, mecanizado y herramientas manuales para ajustar pernos y tuercas, el espacio físico de fabricación fue un taller industrial adaptado con todas las máquinas requeridas, mismas que se indican a continuación:

#### *Calibrador pie de rey*

Es un instrumento que mide longitudes relativamente pequeñas con alta precisión, este consta de dos juegos numéricos tipo pinzas que sirven para medir exteriores e interiores y utiliza los dos sistemas de medición conocidos; sistema internacional (milímetros) y sistema inglés (pulgadas).



**Figura 1-3:** Calibrador pie de rey

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.



### *Torno*

Es una máquina herramienta que realiza trabajos de torneado de piezas de revolución ya sea de metal, madera o plástico, también es utilizada para pulir piezas, su funcionamiento consiste en el desbaste controlado de material con una cuchilla. Los movimientos de rotación de la pieza base y de avance de la cuchilla son los que permiten el torneado.



**Figura 2-3:** Torno

Realizado por: Chasi, A., 2021

### *Taladro de banco*

También llamado taladro vertical o de columna es una máquina herramienta estacionario; su principio de funcionamiento se basa en una broca vertical que gira rotacionalmente y al tener contacto con el material sea este madera, metal o plástico, lo desbasta hasta perforarlo. La forma, resistencia y dimensión de la broca depende de las características del material.



**Figura 3-3:** Taladro de banco

Realizado por: Chasi, A., 2021.

### *Suelda eléctrica*

Es una herramienta que principalmente se utiliza para la unión de elementos metálicos en este caso mediante un arco eléctrico, también se la utiliza para cortar o remover metales. El principio de funcionamiento tiene base sobre la termoelectricidad, es decir, la corriente eléctrica pasa a través de las piezas a unir y las calienta hasta su fundición, cuando se retira la fuente de calor el material se enfría solidificándose.



**Figura 4-3:** Suelda eléctrica

Realizado por: Chase, A., 2021.

### *Amoladora*

Es una maquina eléctrica que se utiliza de manera manual puede ser con un disco de corte o con un disco de desbaste; el disco de corte gira a revoluciones altas para eliminar material, también se utiliza principalmente para lijar o abrillantar una superficie y cortar piezas.

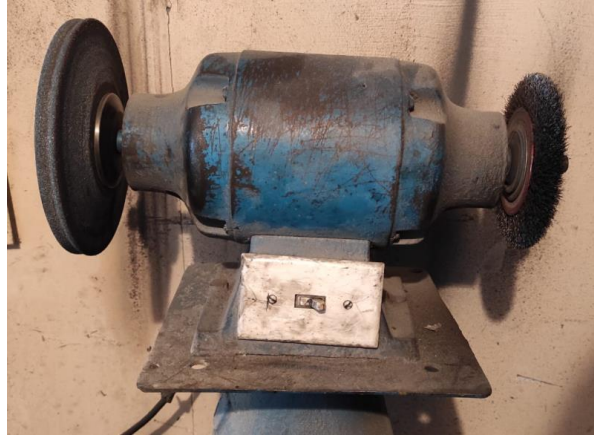


**Figura 5-3:** Amoladora

Realizado por: Chasi, A., 2021.

### *Esmeril de banco*

Es una herramienta eléctrica en la cual dos discos abrasivos giran rotacionalmente para filar, lijar, pulir o rectificar materiales metálicos, plásticos o madera. En la presente investigación, esta máquina fue utilizada para rectificar y pulir los elementos metálicos después del corte.

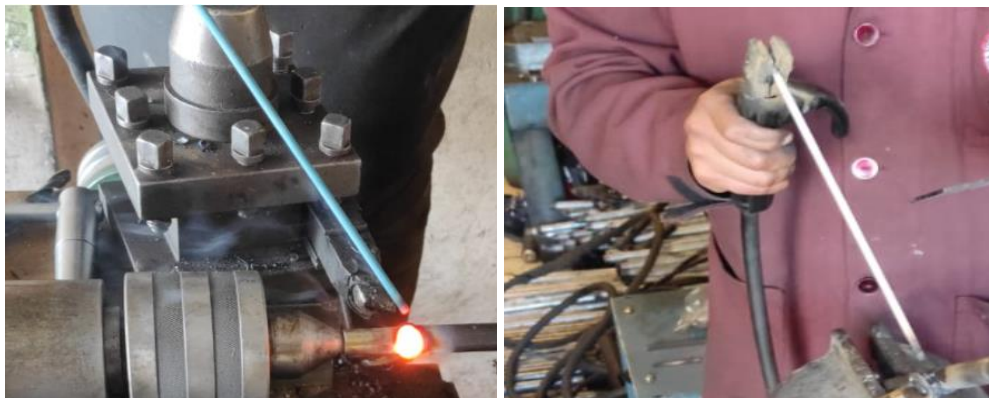


**Figura 6-3:** Esmeril

Realizado por: Chasi, A., 2021.

### *Electrodo*

Es una varilla o núcleo metálico que se encuentra cubierto con una capa de revestimiento, existen diferentes tipos de electrodos y revestimientos los cuales dependen mucho de las características del material que se pretende unir.



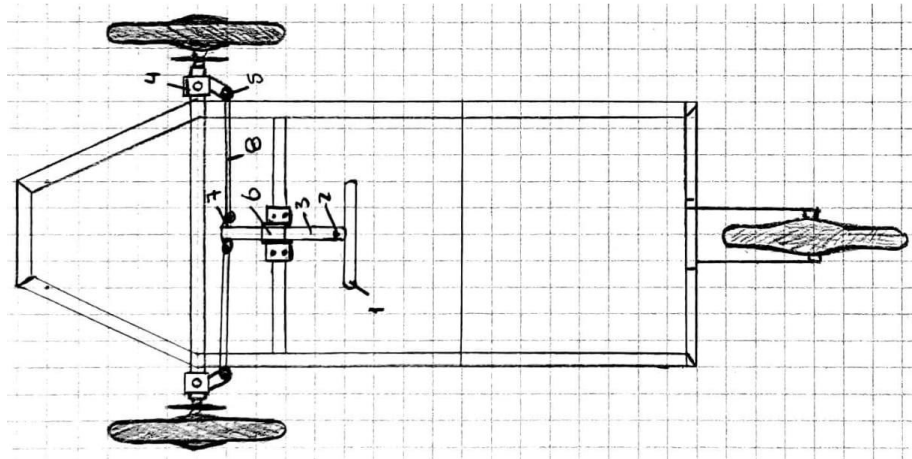
**Figura 7-3:** Electrodo

Realizado por: Chasi, A., 2021.

### 3.3.3. Desarrollo del proyecto

#### 3.3.3.1. Bosquejo

Partiendo del concepto de bosquejo como un diseño inicial generalmente realizado a mano alzada que incluye solamente los elementos esenciales genera una idea base para la construcción. Para el diseño del prototipo de vehículo monoplaza se realizó un bosquejo del sistema de dirección en una hoja cuadriculada.



**Figura 8-3:** Bosquejo del sistema

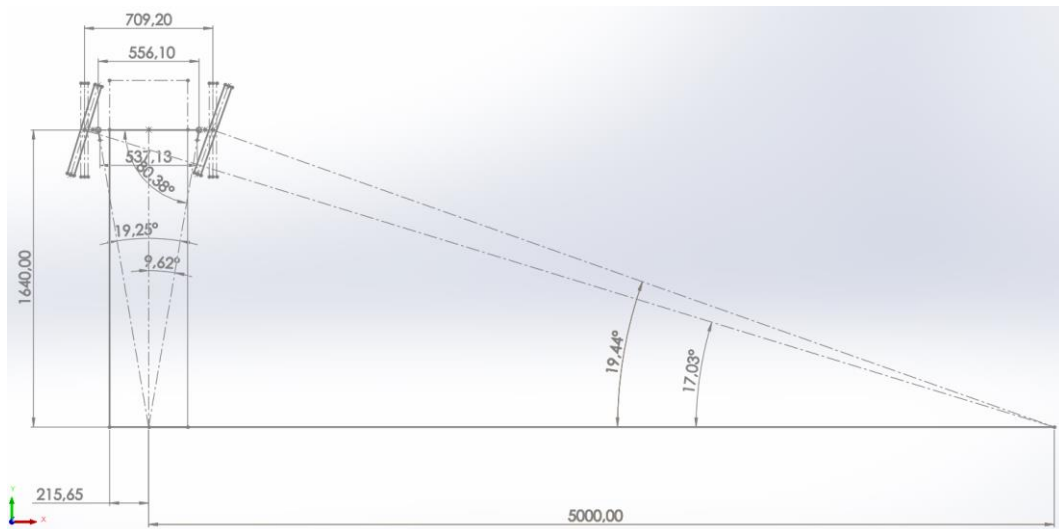
Realizado por: Chasi, A., 2021.

#### 3.3.3.2. Cálculo de la geometría de Ackerman

El diseño y simulación de cada uno de los elementos que conforman el sistema de dirección se realizó con medidas acorde al bastidor en cual se ensamblará, para ello también se realizaron cálculos para establecer la distancia en la que se ubicará el sistema.

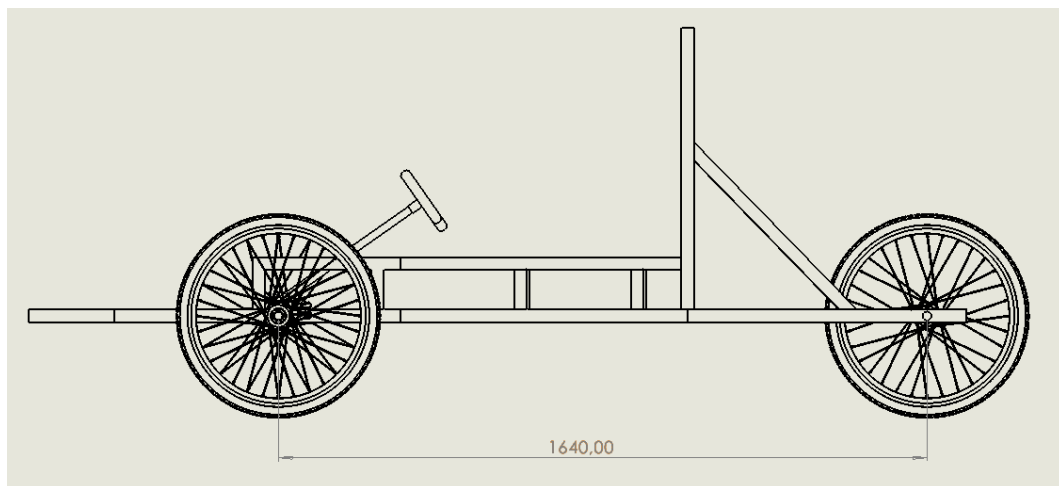
#### *Radio de giro*

El radio y ángulos de giro se establecen geoméricamente mediante la utilización de un programa CAD o través de fórmulas matemáticas, en este proyecto, se utilizaron las dos formas mencionadas para validar los resultados.



**Figura 9-3:** Radio de giro (mm) y ángulo de giro máximo (grados)

Realizado por: Chasi, A., 2021.

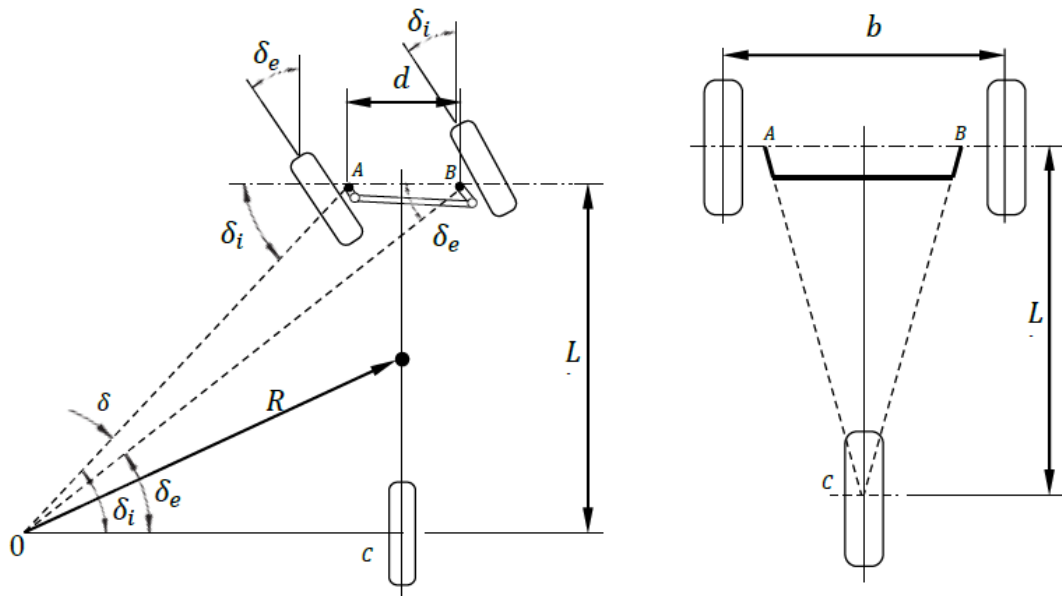


**Figura 10-3:** Distancia entre ejes (mm)

Realizado por: Chasi, A., 2021.

### *Geometría de Ackerman*

Como se mencionó en el Capítulo II, la geometría de Ackerman es un término que se utiliza para definir una geometría exacta en las ruedas delanteras o directrices al momento de realizar un giro. Para calcular los ángulos de giro tanto internos como externos debe establecerse las dimensiones del vehículo, alcances máximos de movimiento, etc.:



**Figura 11-3:** Ángulo de giro mediante la geometría de Ackerman

Fuente: Pulagarín et al., 2013.

Donde:

$d$  = distancia entre los ejes de los pivotes de la dirección.

$L$  = distancia entre ejes.

$b$  = ancho de trocha

$\delta_i$  = ángulo interno

$\delta_e$  = ángulo externo

$\delta$  = Ángulo de Ackerman

$\theta$  = ángulo del trapecio

$$\delta_i = \tan^{-1}\left(\frac{L \cdot \tan(\delta_e)}{L - b \cdot \tan(\delta_e)}\right) \quad (\text{Ec. 1-2})$$

**Tabla 4-3:** Valores de la geometría del sistema de dirección

Descripción	Símbolo	Valor	Unidades
Ancho de trocha	b	709.20	mm
Distancia entre ejes	L	1640	mm
Distancia entre los ejes de los pivotes de la dirección	d	566.10	mm
Radio de giro	R	5000	mm

Realizado por: Chasi, A., 2021.

Cuando  $\delta_e = 0^\circ$

$$\delta_{0^\circ} = \tan^{-1} \left( \frac{709.20 * \tan(0^\circ)}{1640 - (709.20 * \tan(0^\circ))} \right) = 0^\circ$$

Cuando  $\delta_e = 5^\circ$

$$\delta_{5^\circ} = \tan^{-1} \left( \frac{709.20 * \tan(5^\circ)}{1640 - (709.20 * \tan(5^\circ))} \right) = 5.196^\circ$$

Cuando  $\delta_e = 10^\circ$

$$\delta_{10^\circ} = \tan^{-1} \left( \frac{709.20 * \tan(10^\circ)}{1640 - (709.20 * \tan(10^\circ))} \right) = 10.806^\circ$$

Cuando  $\delta_e = 15^\circ$

$$\delta_{15^\circ} = \tan^{-1} \left( \frac{709.20 * \tan(15^\circ)}{1640 - (709.20 * \tan(15^\circ))} \right) = 16.86^\circ$$

Cuando  $\delta_e = 20^\circ$

$$\delta_{20^\circ} = \tan^{-1} \left( \frac{709.20 * \tan(20^\circ)}{1640 - (709.20 * \tan(20^\circ))} \right) = 23.36^\circ$$

En la Tabla 5-3 se observa los resultados obtenidos a través del cálculo del ángulo de giro interno y asignando valores al ángulo de giro externo, utilizando la ecuación (Ec. 1-2), ya que los dos ángulos son directamente proporcionales.

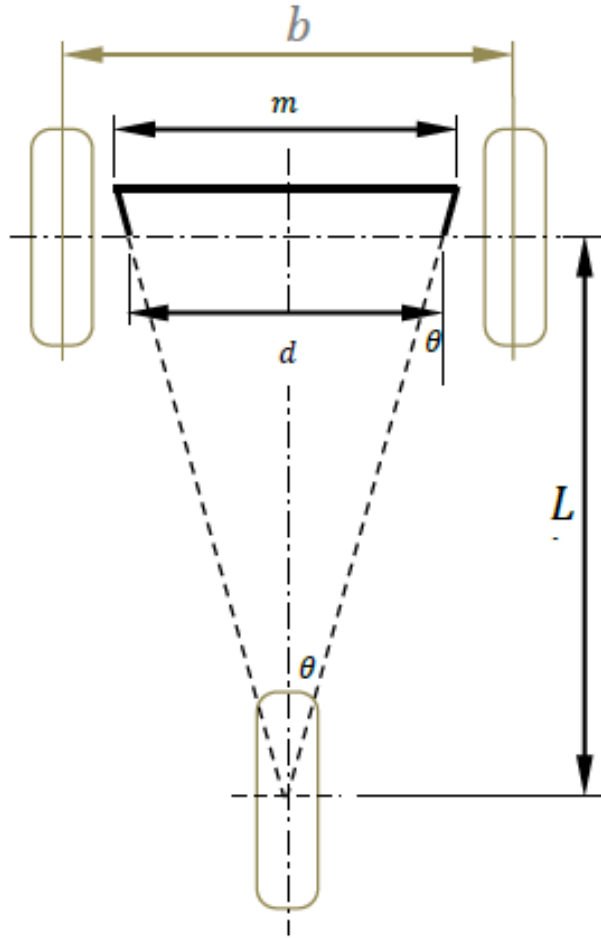
**Tabla 5-3:** Ángulos de giro

$\delta_e$	$0^\circ$	$5^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$
$\delta_i$	$0^\circ$	$5,196^\circ$	$10,806^\circ$	$16,86^\circ$	$23,36^\circ$

Realizado por: Chasi, A., 2021.

#### *Ángulo de orientación de los brazos de la mangueta*

La ecuación (Ec. 2-2), permitió el cálculo del valor numérico del ángulo de orientación de los brazos de la mangueta, en función de las características propias del vehículo diseñado.



**Figura 12-3:** Ángulo de orientación de los brazos de la mangueta

**Fuente:** Pulgarín et al., 2013.

$$\tan\theta = \frac{\frac{d}{2}}{L} = \frac{d}{2L} \quad (\text{Ec. 2-2})$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{556.10}{2 * 1640}\right)$$

$$\theta = 9.62^\circ$$

#### Ángulo de giro máximo

La ecuación (Ec. 3-2) estableció mediante el cálculo matemático el valor del ángulo de giro máximo para el sistema diseñado.

$$\tan\delta_e = \frac{L}{r_{max} + \frac{b}{2}} \quad (\text{Ec. 3-2})$$



$$\tan\delta_i = \frac{L}{r_{max} - \frac{b}{2}}$$

$$\delta_e = \tan^{-1}\left(\frac{1640}{5000 + 354.6}\right)$$

$$\delta_e = 17.02^\circ$$

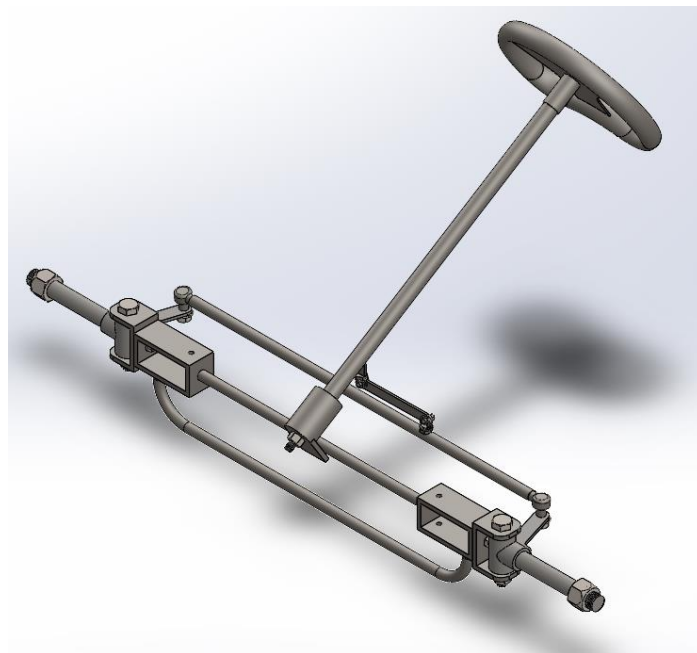
$$\delta_i = \tan^{-1}\left(\frac{1640}{5000 - 354.6}\right)$$

$$\delta_i = 19.44^\circ$$

### 3.3.4. Diseño del sistema de dirección

El diseño de los elementos o piezas que conforman el sistema de dirección se los realizo en el software Solidworks tomando en cuenta los valores obtenidos en los cálculos de los ángulos y radio de giro, considerando un margen de error mínimo puesto que, las medidas establecidas en el plano del diseño podrán variar por los procesos de tratamiento de los materiales en la construcción. Los planos de los elementos que conforman el sistema de dirección se encuentran detallados en el Anexo B.

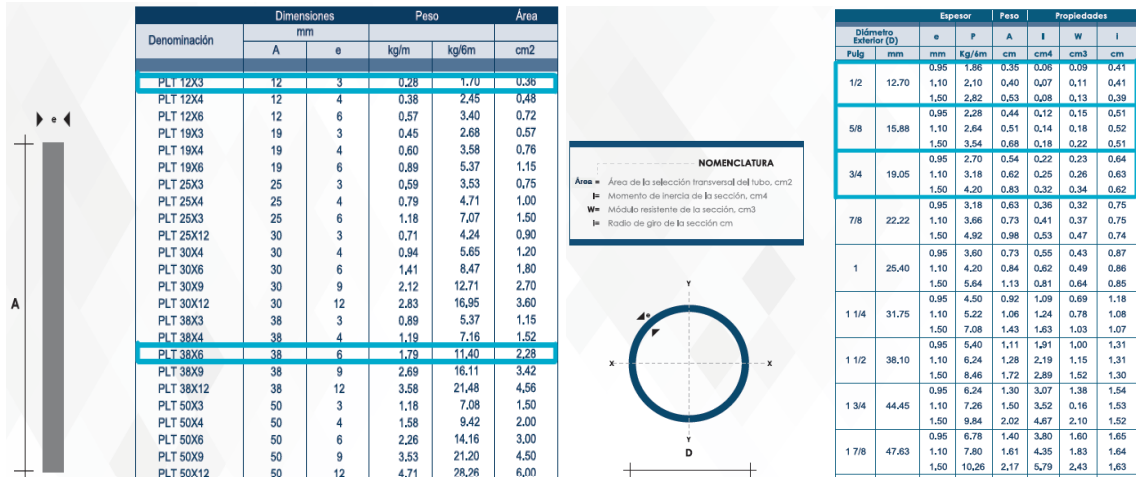
A continuación, se detalla el diseño del sistema de dirección:



**Figura 13-3:** Diseño del sistema de dirección sin optimización

Realizado por: Chasi, A., 2021.

Tanto en el diseño mecánico y simulación como en la construcción de cada uno de los elementos o piezas debe considerarse que todos sean estandarizados, tanto en medidas como en materiales, ya que, en el caso de darse algún desperfecto o colapso, se pueda fabricar y reemplazar de manera inmediata, para ello se hizo uso de los catálogos de materiales existentes en el mercado.



**Figura 14-3:** Catálogo de pletina y tubo redondo, Acero A36

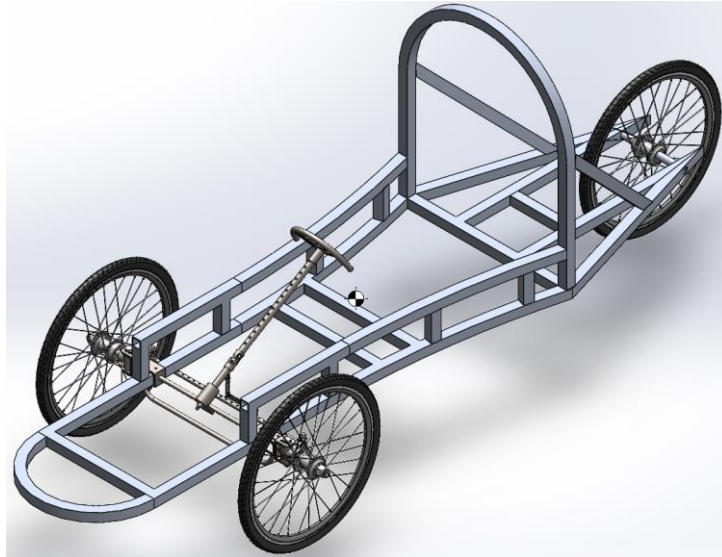
Realizado por: DIPAC, 2019.

En este tipo de prototipos eléctricos lo que se busca es reducir su peso al máximo sin afectar la resistencia de sus elementos, mientras más ligeros sean más autonomía tendrán, es por eso que se realizó un segundo diseño del sistema de dirección con las optimizaciones necesarias como se puede observar en la figura 15-3.



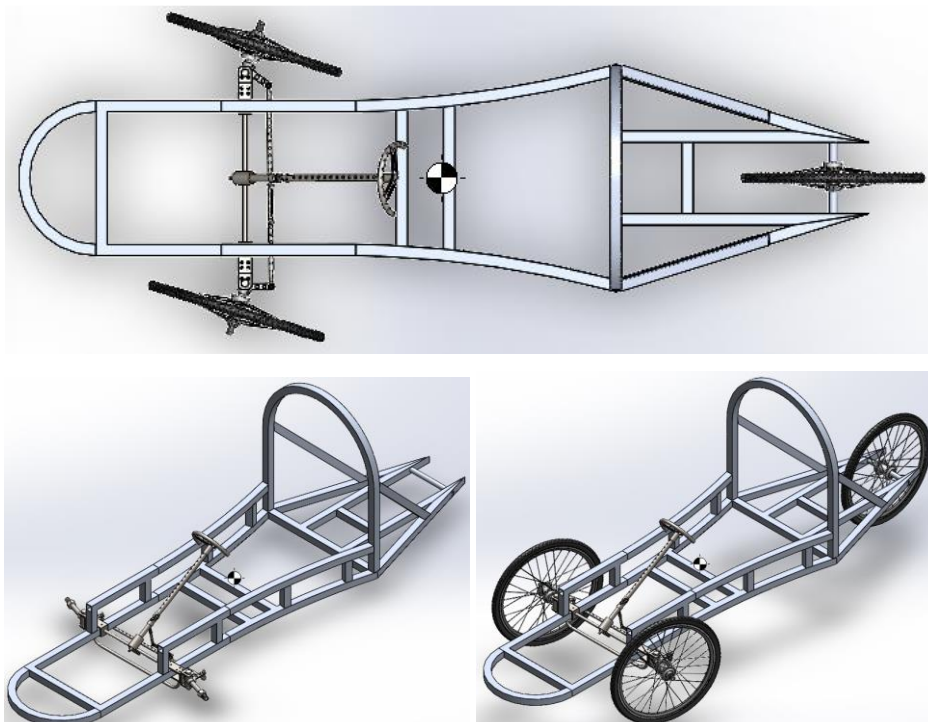
**Figura 15-3:** Diseño del sistema de dirección optimizado

Realizado por: Chasi, A., 2021.



**Figura 16-3:** Ensamble del sistema de dirección en el chasis  
Realizado por: Chasi, A., 2021.

Después de haber culminado con el diseño y ensamble de los elementos que conforman el sistema de dirección se realizó la simulación en el mismo software para comprobar que cumpla con los ángulos de giro previamente calculados como se observa en la figura 17-3.

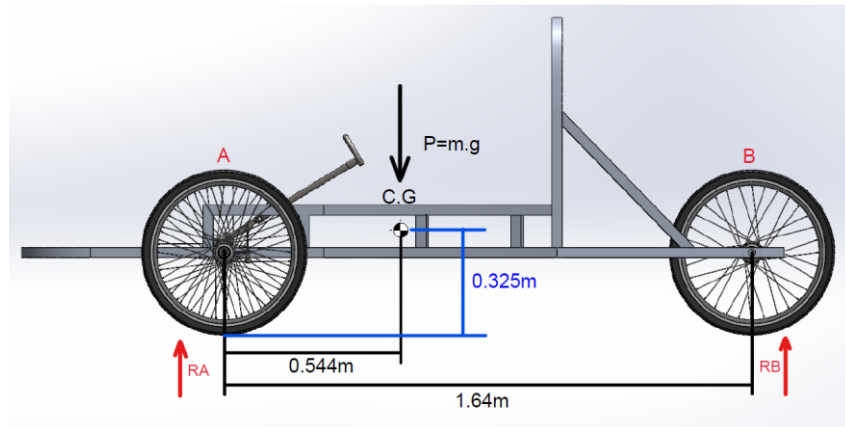


**Figura 17-3:** Ángulo de giro máximo del sistema de dirección  
Realizado por: Chasi, A., 2021.

### 3.3.5. Análisis estructural

#### 3.3.5.1. Análisis estructural del sistema de dirección

Para el análisis de esfuerzos es muy importante calcular el valor de las cargas a las que estará sujeto el sistema de dirección, para ello se requiere de algunos datos los cuales se obtuvo mediante el software Solidworks y los demás son datos ya establecidos para el prototipo.



**Figura 18-3:** Fuerzas de reacción en las ruedas

Realizado por: Chasi, A., 2021.

Donde:

$$Masa_{vehículo} = 140 \text{ kg}$$

$$Masa_{piloto} = 70 \text{ Kg}$$

$$m_{total} = 210 \text{ Kg}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$P = 210 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$P = 2060.1 \text{ N}$$

$$+ \sum M_B = 0$$

(Ec. 4-2)

$$-R_A(1.64\text{m}) + 2060.1\text{N}(0.544\text{m}) = 0$$

$$R_A = \frac{1120.69 \text{ Nm}}{1.64\text{m}}$$

$$R_A = 683.35 \text{ N} \rightarrow \div 2 = 341.67 \text{ N} \rightarrow \text{Reacción en cada rueda delantera}$$

$$+\uparrow \sum F_Y = 0 \quad (\text{Ec. 5-2})$$

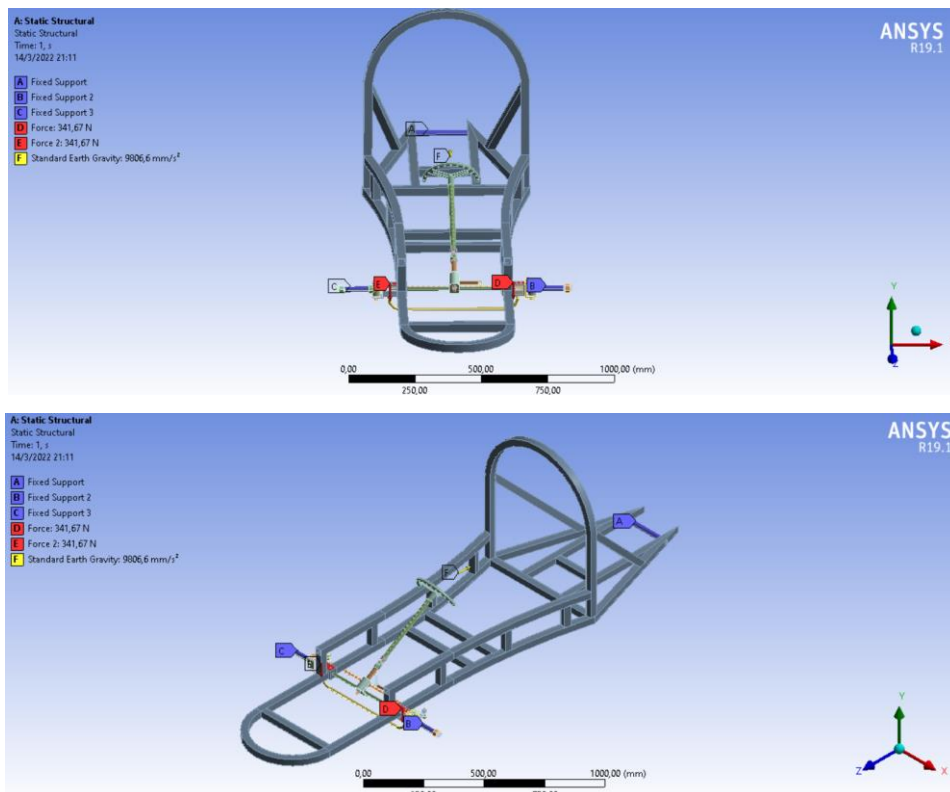
$$R_B - P + R_A = 0$$

$$R_B = 2060.1N - 683.35N$$

$$R_B = 1376.75 N$$

El análisis estático y la simulación como herramienta del software de diseño mecánico, permitió observar el comportamiento de los componentes del sistema de dirección del vehículo prototipo. Para obtener resultados más cercanos a la realidad, se seleccionaron en el programa las características de los materiales que se utilizarán en la construcción, también hay que tomar en cuenta que con un buen proceso de mallado se obtendrán resultados más cercanos a los reales.

En la figura 19-3 se muestra los soportes y las cargas a la que está sometido el sistema de dirección en su conjunto.

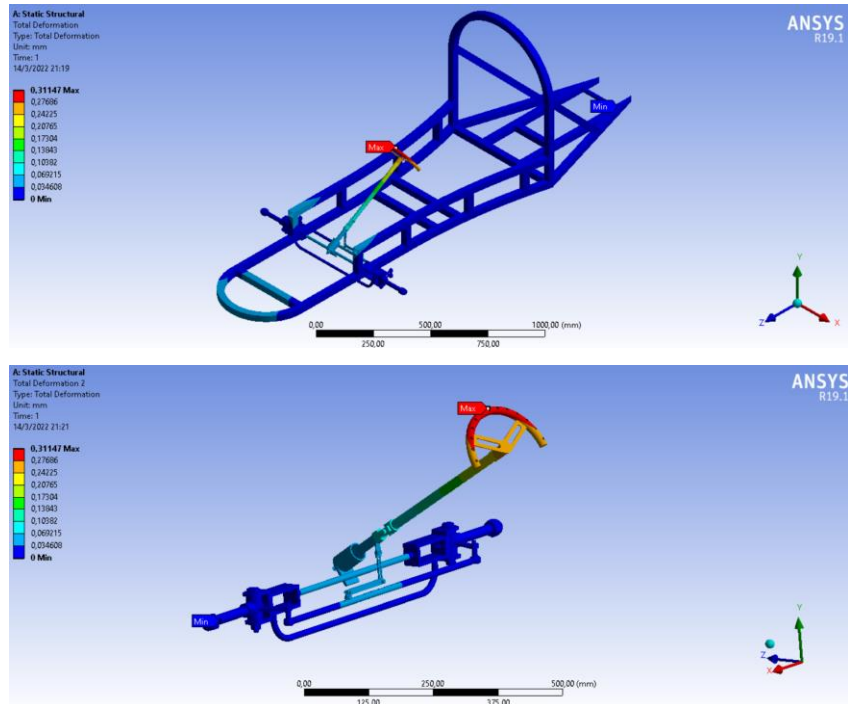


**Figura 19-3:** Cargas a las que está expuesta el sistema de dirección

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

El análisis estructural del sistema de dirección determinó los siguientes resultados:

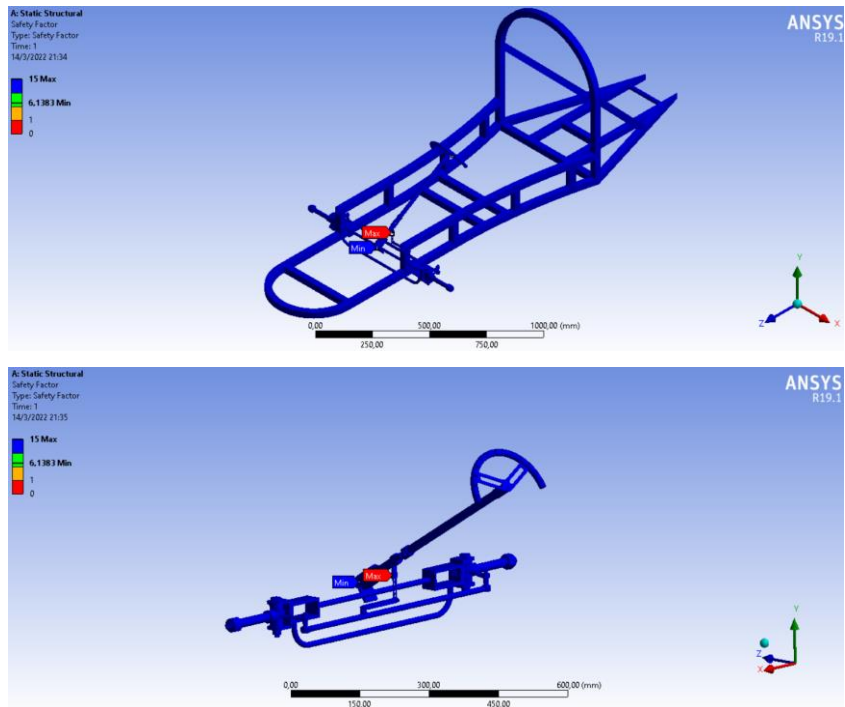
La figura 20-3, muestra una deformación mínima de 0.31 mm tanto para el sistema de dirección como para la estructura del vehículo, considerando que las manzanas y neumáticos se ubicarán sobre los ejes, este será el punto más crítico para el soporte de las cargas.



**Figura 20-3:** Deformación total del sistema de dirección

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

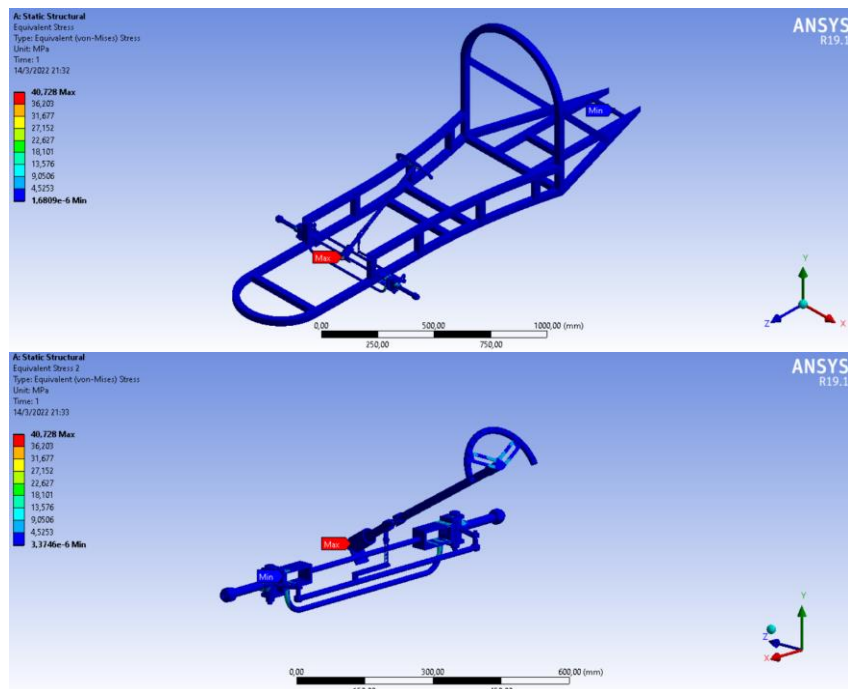
El factor de seguridad obtenido es de 6.14, siendo este valor aceptable para la construcción del sistema de dirección del prototipo como se muestra en la figura 21-3.



**Figura 21-3:** Factor de seguridad del sistema de dirección

Realizado por: Chasi, A., 2021.

En la figura 22-3 se observa que el esfuerzo máximo al que puede someterse el sistema es de 40.73 MPa, siendo este mínimo en relación al valor de resistencia establecido por el material según propiedades físicas ya determinadas.



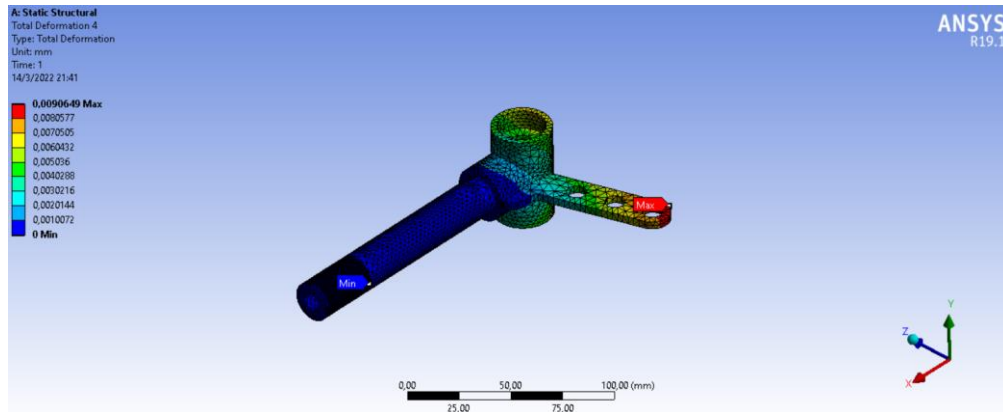
**Figura 22-3:** Esfuerzo máximo del sistema de dirección

Realizado por: Chasi, A., 2021.



### 3.3.5.2. Análisis estructural de la mangueta

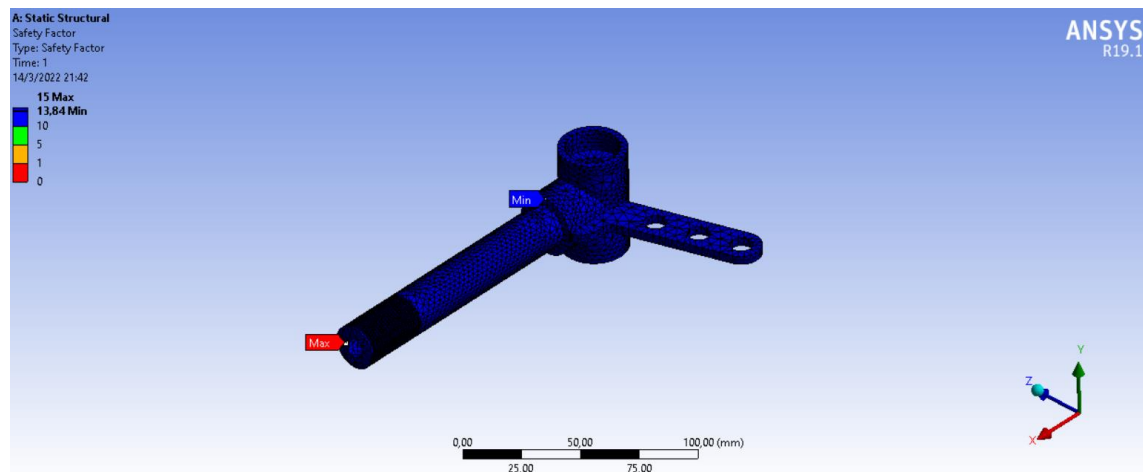
En la figura 23-3 se muestra la deformación total que existe en la mangueta, dando un valor máximo de 0.009 mm en el extremo final del brazo donde se ancla el terminal de dirección (efecto que se muestra de color rojo).



**Figura 23-3:** Deformación de la mangueta

Realizado por: Chasi, A., 2021.

En la figura 24-3 se indica el factor de seguridad de la mangueta con un valor mínimo y máximo de 13.84, es decir, se garantiza el correcto funcionamiento del elemento dentro del sistema.

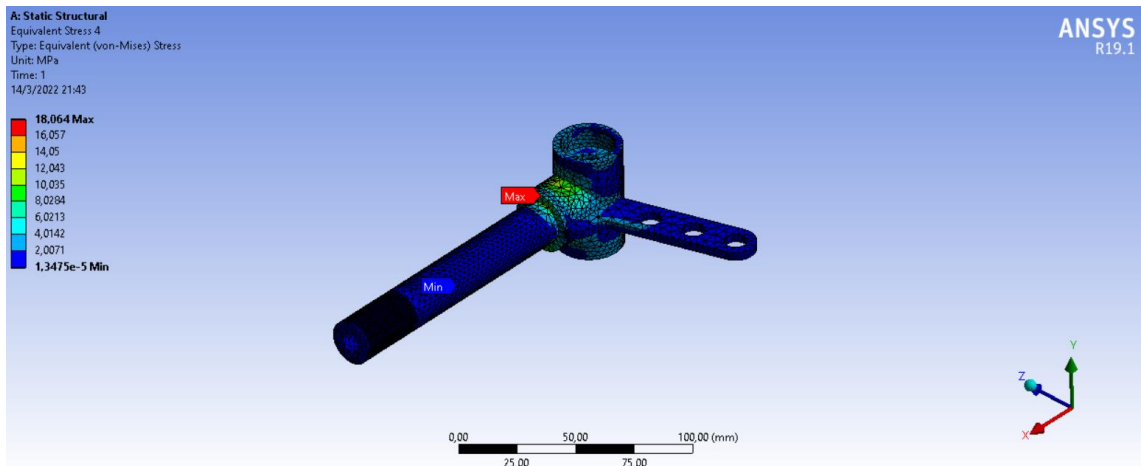


**Figura 24-3:** Factor de seguridad de la mangueta

Realizado por: Chasi, A., 2021.

En la figura 25-3, se observa que la resistencia máxima al esfuerzo es de 18.06 Mpa, y la zona crítica de esfuerzo se ubica en la unión del eje con el buje de la mangueta.



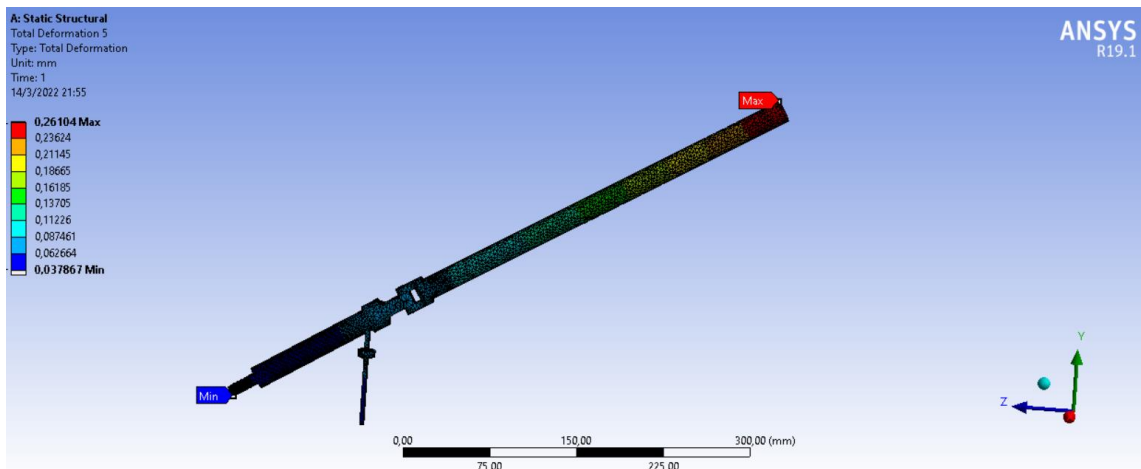


**Figura 25-3:** Esfuerzo máximo de la mangueta

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

### 3.3.5.3. Análisis estructural de la columna de dirección

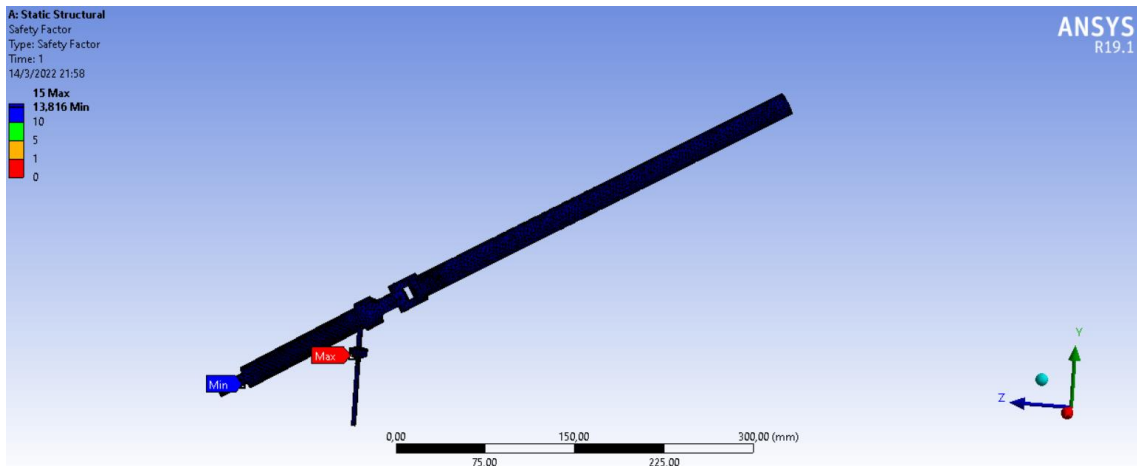
La deformación total máxima observada en la figura 26-3 es de 0.26 mm y se encuentra en la parte inferior de la columna de dirección.



**Figura 26-3:** Deformación de la columna de dirección

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

En la Figura 27-3 se aprecia el factor de seguridad con un valor mínimo un valor mínimo y máximo de 13.82, es decir, el componente en estable y garantiza la seguridad ante cualquier posible fallo.



**Figura 27-3:** Factor de seguridad de la columna de dirección

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

En la Figura 28-3 se visualiza el esfuerzo equivalente con un valor máximo de 18.09 MPa, este esfuerzo máximo se ubica en la parte inferior de la columna.

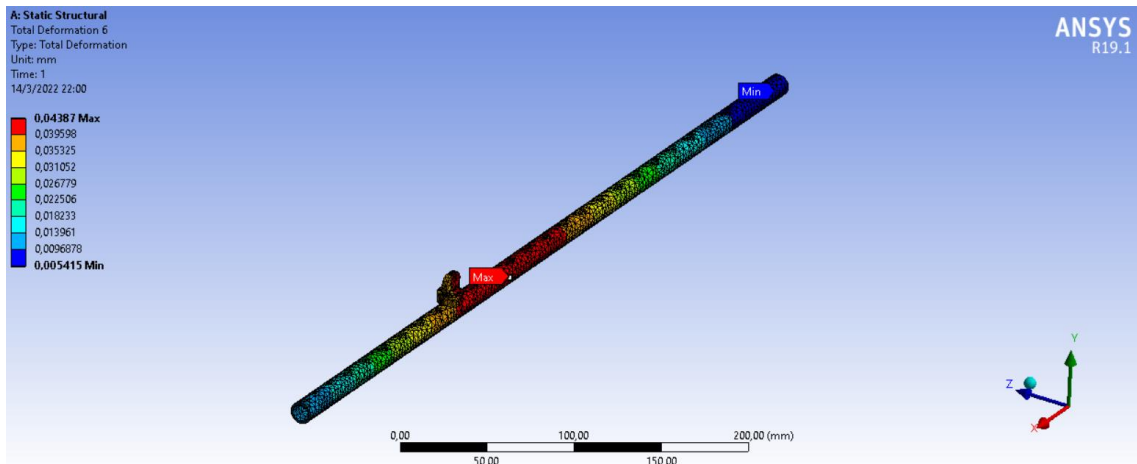


**Figura 28-3:** Esfuerzo máximo de la columna de dirección

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

#### 3.3.5.4. Análisis estructural de la barra de dirección y terminales

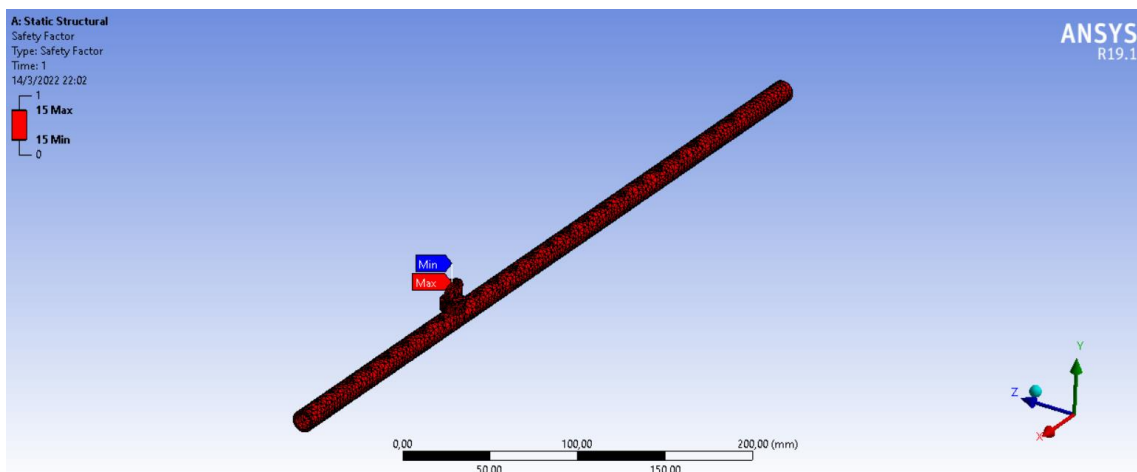
En la Figura 29-3 se muestra la deformación total frente a las cargas aplicadas, con un valor máximo de 0.044 mm el cual está situado en la parte intermedia de la barra, eso representa una consideración seria en el diseño del sistema, puesto que, el centro de la barra sirve como apoyo de la columna de dirección y el volante.



**Figura 29-3:** Deformación de la barra de dirección

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

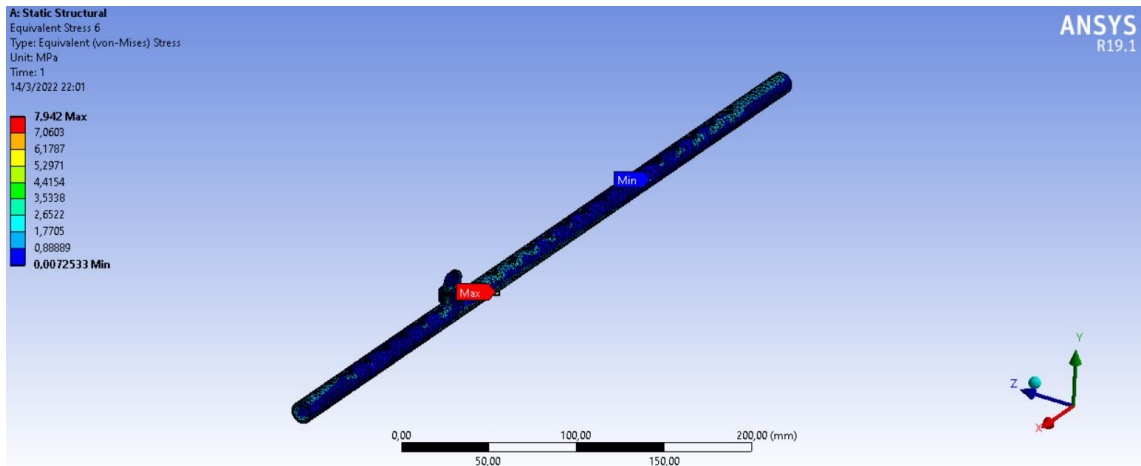
En la Figura 30-3 se observa el factor de seguridad el cual tiene un valor mínimo de 12 en la parte izquierda de la barra y un valor máximo de 15 en el terminal, siendo valores aceptables para el proceso de fabricación.



**Figura 30-3:** Factor de seguridad de la barra de dirección

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

El esfuerzo equivalente de Von-Mises que se aprecia en la figura 31-3 tiene un valor máximo de 7.94 MPa ubicado cerca a la conexión giratoria.

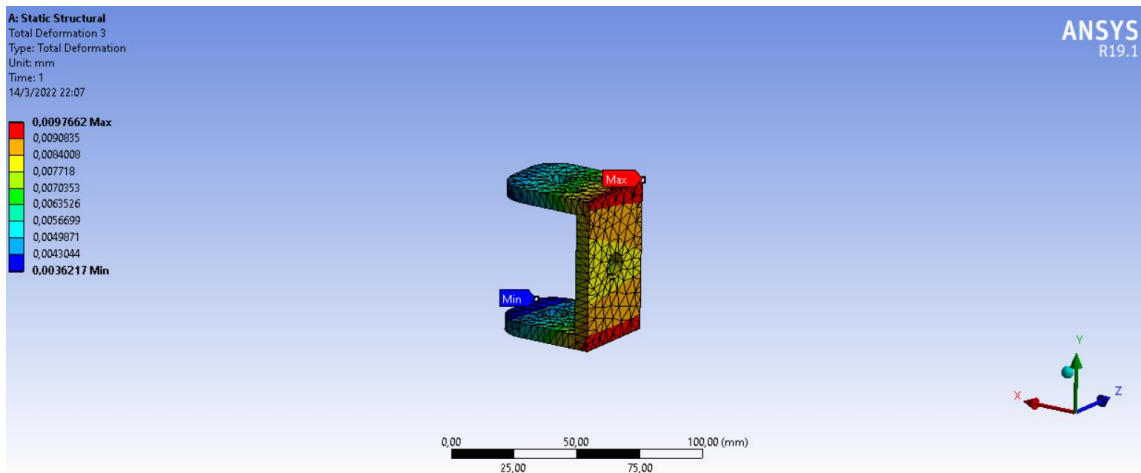


**Figura 31-3:** Esfuerzo máximo de la barra de dirección

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

### 3.3.5.5. Análisis estructural de la base de la mangueta

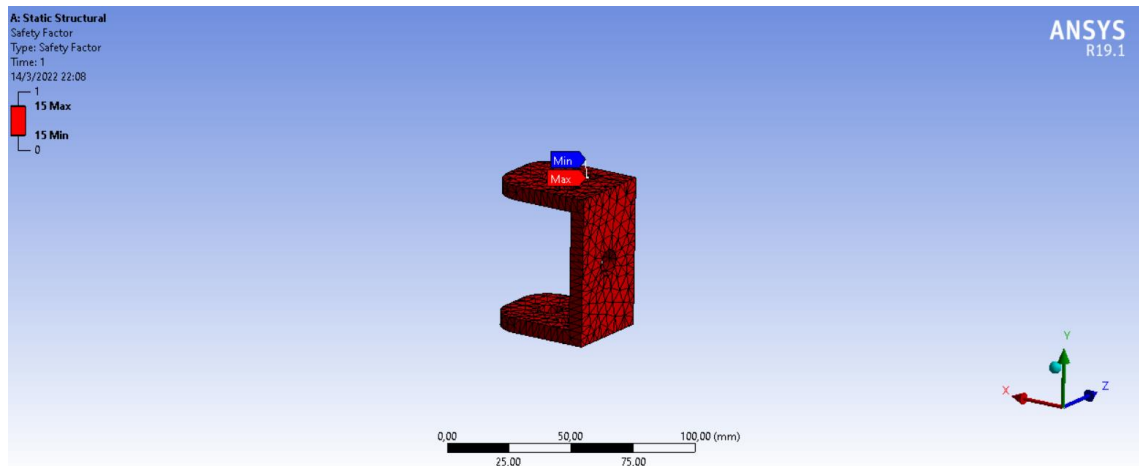
En la figura 32-3 se observa la deformación total con un valor máximo de 0.0098 mm el cual se ubica en la parte inferior y superior de la base.



**Figura 32-3:** Deformación de la base de la mangueta

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

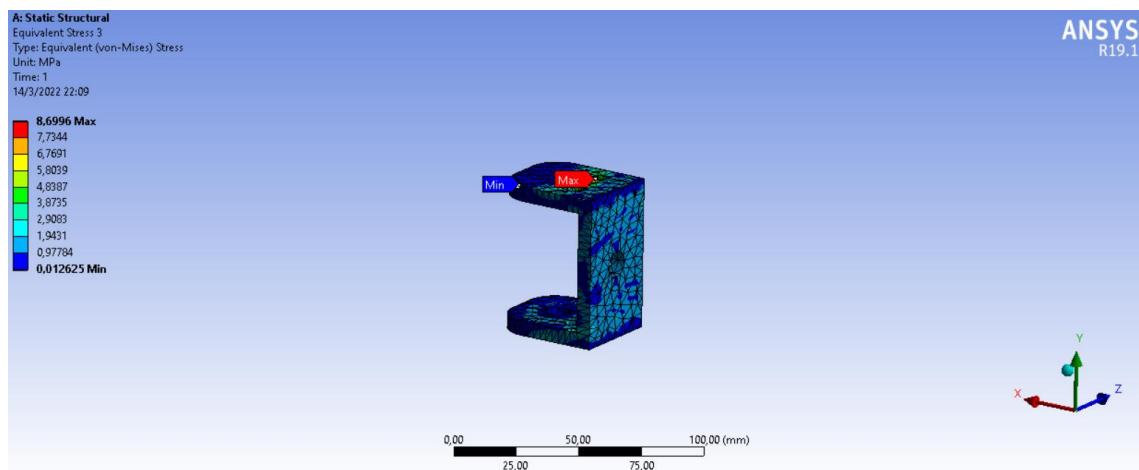
En la Figura 33-3 se muestra el factor de seguridad el cual tiene un valor mínimo y máximo de 15 en todo el elemento.



**Figura 33-3:** Factor de seguridad de la base de la mangueta

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

En la Figura 34-3 se visualiza el esfuerzo equivalente de Von-Mises el cual tiene un esfuerzo máximo de 8.7 MPa.



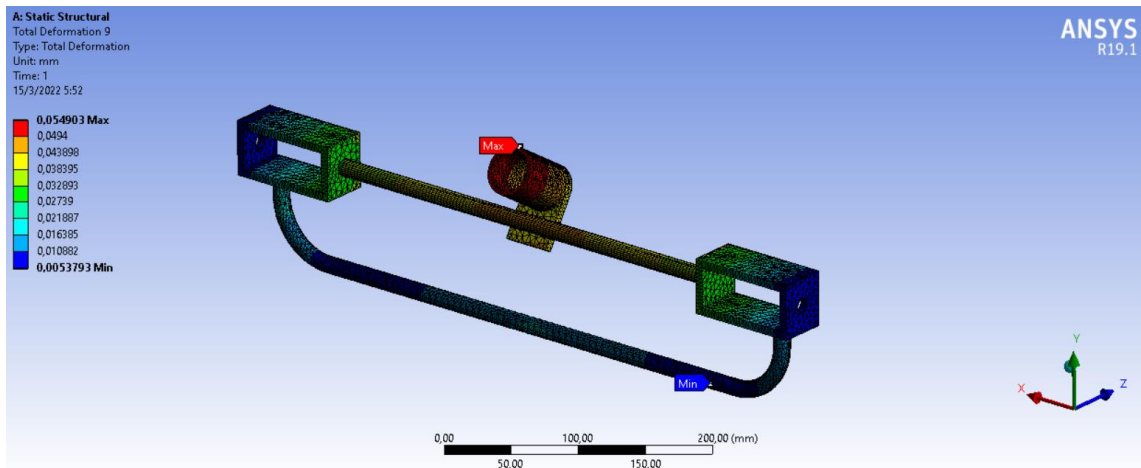
**Figura 34-3:** Esfuerzo máximo de la base de la mangueta

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

### 3.3.5.6. Análisis de esfuerzos de las partes fijas del sistema de dirección

El sistema de dirección al tener como función la orientación de las ruedas del vehículo, se compone, por elementos fijos y móviles. En el caso de los elementos fijos se realizó un análisis del conjunto de elementos y se obtuvieron los siguientes resultados.

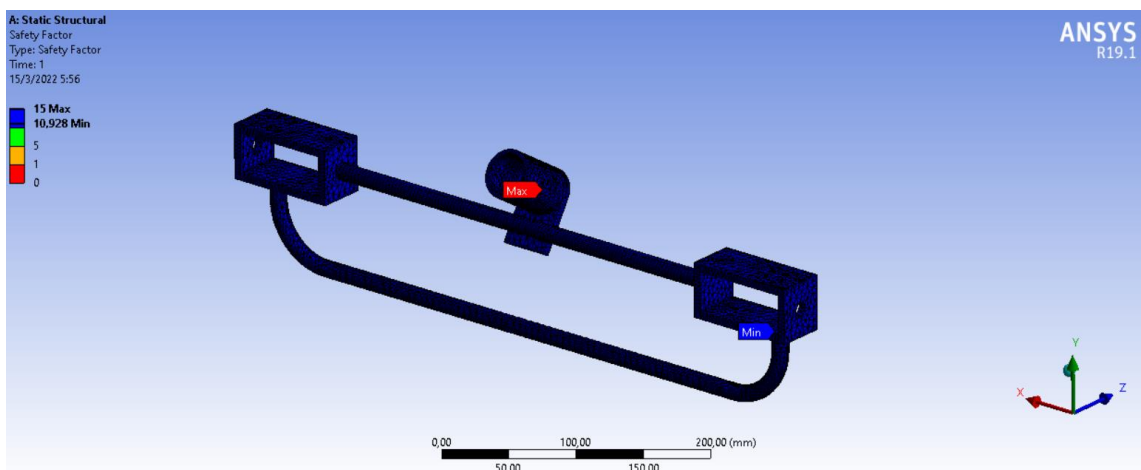
La figura 35-3 muestra la deformación total máxima de 0.055 mm en la parte intermedia de la base de la columna y como deformación mínima 0.0054 mm en los redondeos del puente inferior.



**Figura 35-3:** Deformación del conjunto de elementos fijos

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

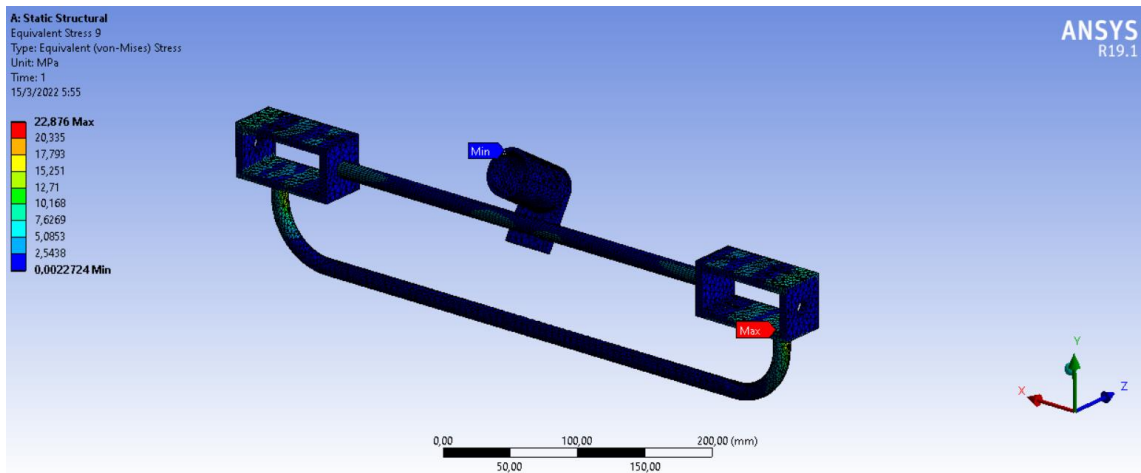
En la Figura 36-3 se indica el factor de seguridad que tiene un valor de 10.93, esto nos indica que no existirá ningún fallo.



**Figura 36-3:** Factor de seguridad del conjunto de elementos fijos

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

En la Figura 37-3 se muestra que el esfuerzo equivalente de Von-Mises tiene un valor máximo de 22.88 MPa.



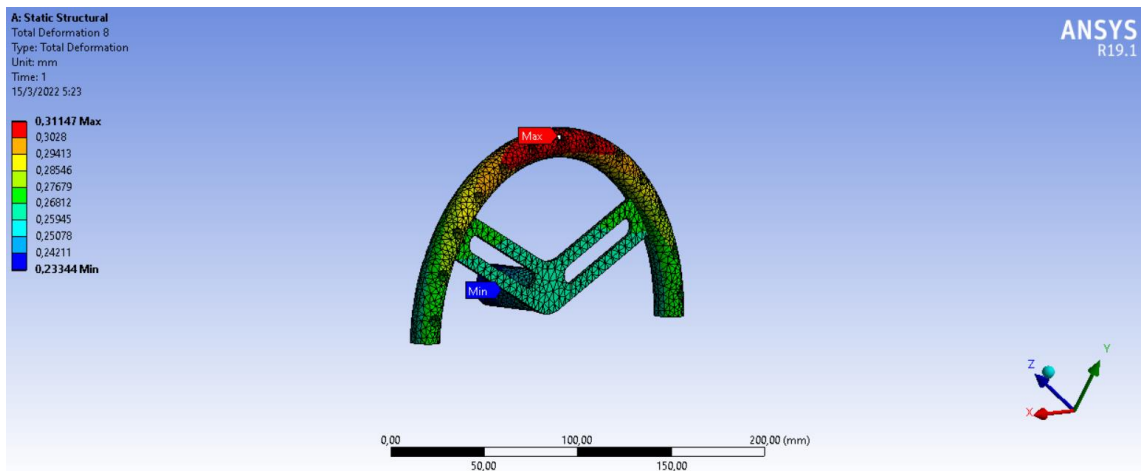
**Figura 37-3:** Esfuerzo máximo del conjunto de elementos fijos

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

### 3.3.5.7. Análisis de esfuerzos del volante

Para el análisis de esfuerzos del volante se consideró un rediseño del mismo, dado que, las pruebas de campo determinaron un peso exagerado del mismo.

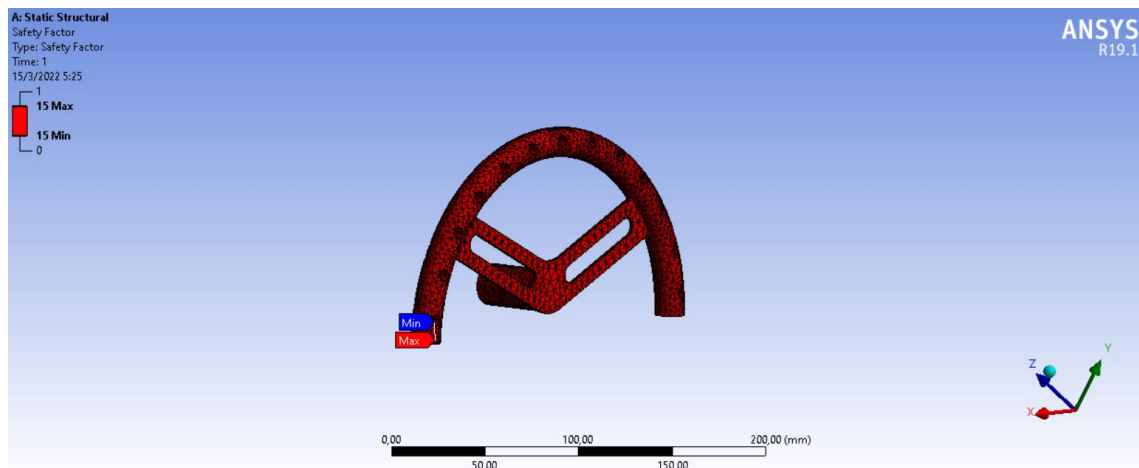
En la Figura 38-3 se visualiza la deformación total que tiene el volante el mismo que tiene como deformación máxima 0.31 mm en la parte superior.



**Figura 38-3:** Deformación del volante

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

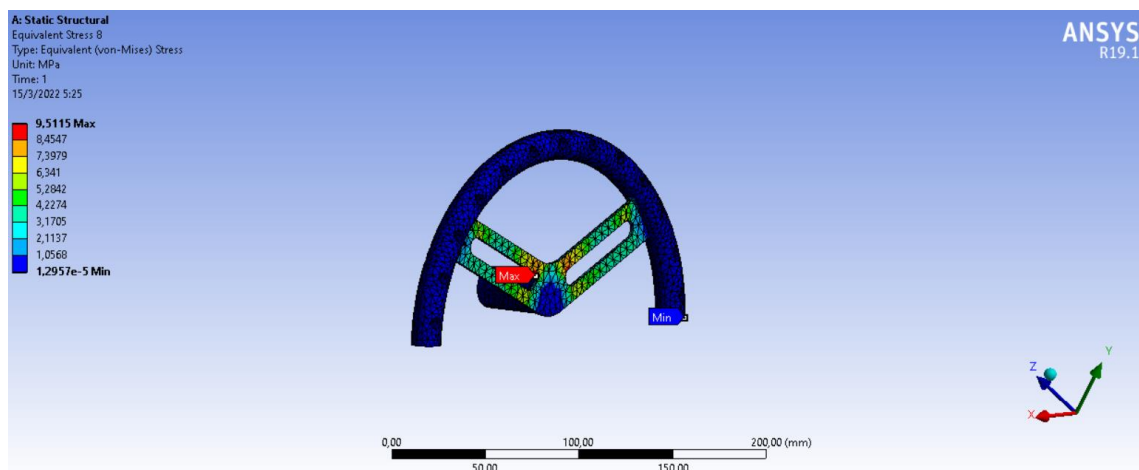
En la Figura 39-3 se muestra un factor de seguridad máximo y mínimo de 15 el cual es muy bueno ya que este elemento no realiza mucho esfuerzo.



**Figura 39-3:** Factor de seguridad del volante

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

En la figura 40-3 se observa que el valor de esfuerzo equivalente de Von-Mises tiene un valor máximo de 9.51 MPa.



**Figura 40-3:** Esfuerzo máximo del volante

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

### 3.3.6. Selección de materiales

La selección del material para las distintas piezas o componentes de un conjunto mecánico es una de las decisiones centrales del proceso de diseño, pues está estrechamente relacionado con los métodos y procesos de fabricación. En efecto, aunque un material posea las propiedades requeridas para realizar una función, debe prestarse al método de elaboración deseado (o disponible) con un coste razonable (Riba, 2008, p. 12).



Dos de los aspectos más importantes en la tarea de selección de materiales en el diseño de máquinas son: disponer de una buena información base sobre las características y propiedades de los materiales, así como, las herramientas para procesar e interpretar esta información.

En base a los estudios realizados de los materiales más usados en este tipo de prototipos, específicamente en el sistema de dirección son:

**Tabla 6-3:** Selección de materiales

Descripción	AISI 1018 (acero de transmisión)	Aluminio 7075- T6	ASTM A36
<b>Esfuerzo de fluencia</b>	440 MPa	550 MPa	250 MPa
<b>Esfuerzo de ruptura mínimo</b>	370 MPa	480 MPa	400 a 550 MPa
<b>Densidad</b>	$7.87 \frac{g}{cm^3}$	$2.8 \frac{g}{cm^3}$	$7.85 \frac{g}{cm^3}$

Realizado por: Chasi, A., 2021.

Para realizar una excelente selección de materiales se debe tener muy en cuenta las funciones que va a desempeñar cada pieza o componente y que cumpla con las características y exigencias que los mismos requieran, que se acoplen al presupuesto de la persona que esté a cargo del proyecto y que se encuentre con facilidad en el mercado nacional.

Para ello se seleccionó materiales, tal como se describe en la siguiente tabla:

**Tabla 7-3:** Asignación de materiales

MATERIAL	USO
Acero ASTM A 36	Volante de mando
Acero ASTM A 36	Columna de dirección
Acero ASTM A 36	Barras de dirección
Acero ASTM A 36	Manguetas
Perno acerado grado 8.8	Eje de ruedas
Aluminio	Manzanas de ruedas
Aluminio	Radio de aros

Realizado por: Chasi, A., 2021.

### 3.3.7. *Fabricación de piezas y ensamble*

La construcción individual de los elementos comprendió procesos de corte, desbaste, torneado, limado del material base en función de las características del diseño y en concordancia con las especificaciones estándar a nivel nacional e internacional.

En este proceso, el primer paso fue la marcación de medidas sobre los materiales metálicos y el corte de los mismo con una sierra circular de disco.



**Figura 41-3:** Corte de las platinas

Realizado por: Chasi, A., 2021.

#### 3.3.7.1. *Soporte y base de la mangueta*

La construcción de los soportes se realizó con platinas metálicas de acero de 38 mm de ancho y 6 mm de espesor y para el corte se utilizó una sierra manual.



**Figura 42-3:** Corte de las platinas para los soportes de las bases de la mangueta

Realizado por: Chasi, A., 2021.

Posteriormente se realizó el proceso de soldadura de los soportes y bases de las manguetas con una máquina de soldadura eléctrica y equipos de protección personal, principalmente protección visual mediante un vidrio oscuro.



**Figura 43-3:** Soldadura de los soportes y bases de las manguetas

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

Finalmente, para culminar el proceso de fabricación de los soportes y bases de la mangueta se retiró la escoria (limalla o restos del material base) y pulió.



**Figura 44-3:** Pulido de las piezas de la mangueta

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

A continuación, se realizó la perforación de los soportes y bases de la mangueta con un taladro de pedestal y una broca de 12 mm, a través de estas perforaciones se introducirán los pernos de sujeción.



**Figura 45-3:** Perforación de las bases de la mangueta

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

El peso de la mangueta es importante para conocer el peso total teórico y peso real tanto del sistema de dirección como del automóvil en su conjunto.



**Figura 46-3:** Peso de la base de la mangueta en gramos

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

### 3.3.7.2. Mangueta

Para la mangueta se utilizó un acero como material base y se torneó el bocín de la mangueta, en el mismo se introducirán los rodamientos.



**Figura 47-3:** Torneado de la mangueta y eje de la mangueta

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

Siguiendo el proceso de ensamblaje se señaló la ubicación del punto de fijación del perno y posteriormente se realizó el proceso de soldadura eléctrica para fijar el perno a la mangueta, y finalmente, se retiró la escoria de la soldadura.

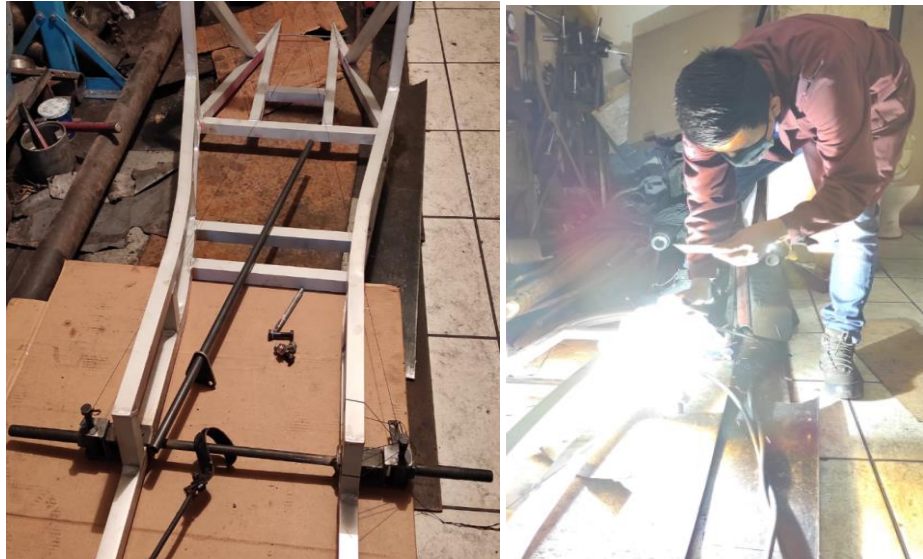


**Figura 48-3:** Señalización, punteado, soldado y pulido del perno y la mangueta

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

Para obtener los ángulos de fijación de los brazos de la mangueta mediante la utilización de una cuerda como eje referencial, dado que, el modelo de vehículo propuesta tiene dos ruedas delanteras y una trasera, el cálculo de ángulos formó un triángulo y posteriormente se soldaron los elementos.





**Figura 49-3:** Ubicación y soldadura de los brazos de la mangueta en ángulo

Realizado por: Chasi, A., 2021.

A continuación, se unieron los componentes de la mangueta y se rectificó, después, se pulió y es un componente listo para colocar los rodamientos y montarlo al sistema de dirección.



**Figura 50-3:** Mangueta

Realizado por: Chasi, A., 2021.

Al igual que con los componentes, al finalizar el proceso de fabricación de la mangueta se obtuvo un peso total de 820 gramos incluidos los rodamientos. Los rodamientos son elementos esféricos insertados dentro de cilindro hueco que y estos disminuyen el esfuerzo que el piloto debe aplicar al volante para maniobrar el vehículo.



**Figura 51-3:** Peso de la mangueta

Realizado por: Chasi, A., 2021.

### 3.3.7.3. Travesaño y puente inferior

El travesaño y puente inferior se obtuvieron de un tubo circular sólido mediante corte con sierra eléctrica circular para metal, después se limó y pulió los extremos y, se pesó. A continuación, se soldaron los componentes a la base de la mangueta procurando centrarlos, pues la posición será fija.



**Figura 52-3:** Peso del travesaño y puente inferior

Realizado por: Chasi, A., 2021.



**Figura 53-3:** Soldadura del travesaño y puente inferior

Realizado por: Chasi, A., 2021.

#### 3.3.7.4. Columna de dirección

La columna de dirección se realizó a partir de un tubo redondo de acero con diámetro  $\frac{3}{4}$  de pulgada y 1.5 mm de espesor, sobre el cual se soldó un perno M10 para sujetarlo a la base. Se realizaron pruebas de resistencia, seguridad, confort y ángulos de giro para alcanzar el radio de giro requerido en las especificaciones técnicas, de modo que el conductor pueda mantener una posición cómoda durante la conducción.

Al finalizar el ensamble de los componentes de la columna de dirección, se pesó el conjunto obteniendo un valor de 403 gramos.



**Figura 54-3:** Construcción y posicionamiento de la columna de dirección

Realizado por: Chasi, A., 2021.



**Figura 55-3:** Peso de la columna de dirección

Realizado por: Chasi, A., 2021.



### 3.3.7.5. Barra de dirección y terminales

Teniendo en cuenta que uno de los objetivos dentro de la formación académica y la investigación es la reutilización de materiales, la barra de dirección y terminales se obtuvieron de un vehículo tipo cuadrón. Después se adaptaron cortando los extremos y manteniendo los roscados estandarizados para no perjudicar el ajuste, y, se soldaron las partes.



**Figura 56-3:** Corte de los extremos de la barra de dirección

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

La adaptación de la barra de dirección se hizo mediante un torno para lograr una unión de forma uniforme y recta, los dos componentes se soldaron y se pulió el cordón de suelda hasta obtener el diámetro del tubo inicial. Así también, se pesó el elemento obteniendo un valor de 311 gramos.



**Figura 57-3:** Adaptación para formar una sola barra de dirección

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

### 3.3.7.6. Volante

El volante se realizó con un tubo redondo de diámetro 5/8 y espesor de 1.5mm para lo cual se lo doblo de manera circular obteniendo un diámetro de 22 centímetros para el volante y posteriormente se soldó una platina de acero en la base para el soporte de la columna de dirección.



**Figura 58-3:** Construcción del volante

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

### 3.3.7.7. Acoples giratorios y barras

Estos elementos son utilizados para transmitir el movimiento desde el volante hasta la barra de dirección y por consiguiente hasta las ruedas.



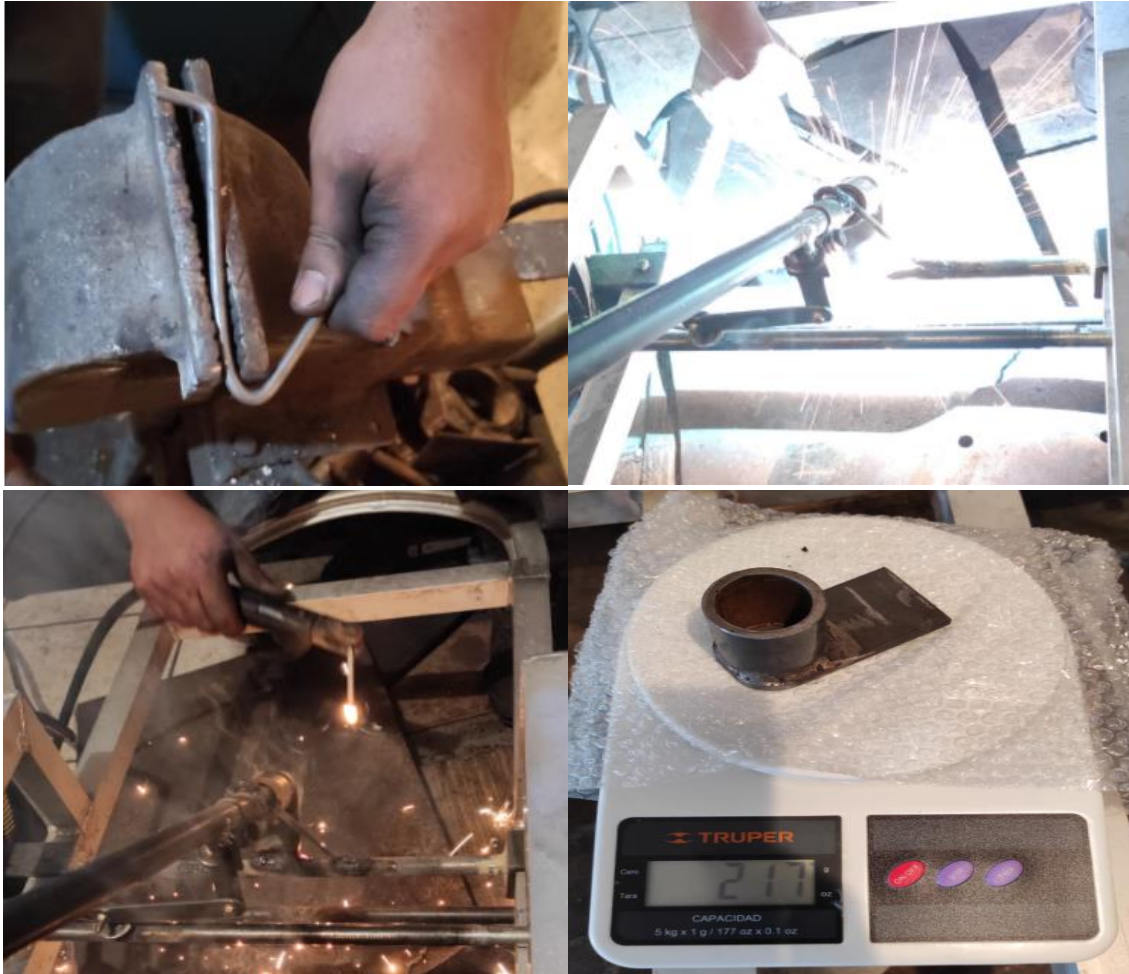
**Figura 59-3:** Acoples giratorios y barras

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

### 3.3.7.8. Soportes de la columna de dirección

A continuación, se muestra la fabricación de los soportes que fijarían la columna de dirección a una altura y ángulo previsto en el diseño, unión efectuada mediante un proceso de soldadura eléctrica.





**Figura 60-3:** Soportes de la columna de dirección

Realizado por: Chasi, A., 2021.

### 3.3.7.9. Eje posterior

El eje posterior se construyó a partir de un eje de transmisión que se acople a la medida de la manzana y posteriormente se torneó el roscado de los extremos.



**Figura 61-3:** Construcción del eje posterior

Realizado por: Chasi, A., 2021.

### 3.3.7.10. Ensamblaje del vehículo

Para el ensamblaje del prototipo de vehículo monoplaza se utilizó una escuadra magnética para ubicar y sujetar los componentes metálicos y realizar el proceso de suelda para su fijación.



**Figura 62-3:** Ubicación de los elementos

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

Una característica importante sobre la ubicación de la columna de dirección radica en la comodidad y facilidad de movimiento del conductor, por lo tanto, se realizaron una serie de pruebas mecánicas con distintos conductores a fin de establecer el punto, altura, ángulo y distancia en el que no exista interrupciones o interferencias durante la conducción.



**Figura 63-3:** Fijación de la columna de dirección

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.





**Figura 64-3:** Soldadura de los elementos fijos

Realizado por: Chasi, A., 2021.

Después de haber fijado todos los elementos se realizó el proceso de pulido o retiro de residuos, lo cual se hizo con una amoladora eléctrica y una lija para los lugares difíciles de tratar con la máquina y finalmente se aplicó una capa de pintura a todos los componentes del sistema de dirección con fines estéticos y mecánicos, pues, la pintura utilizada cumple la función de anticorrosivo, es decir, resistencia a la oxidación.



**Figura 65-3:** Retiro de residuos del sistema de dirección

Realizado por: Chasi, A., 2021.



**Figura 66-3:** Recubrimiento de los elementos con una capa de pintura

Realizado por: Chasi, A., 2021.

Una vez ensamblado el sistema de dirección, se colocaron las llantas o neumáticos, pues, estos son los elementos que reaccionarán frente a la manipulación del sistema desarrollado.





**Figura 67-3:** Sistema de dirección sin optimización

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

#### *3.3.7.11. Optimización del sistema*

Se realizó perforaciones consecutivas para reducir peso en el volante como se puede apreciar en la figura 68-3.

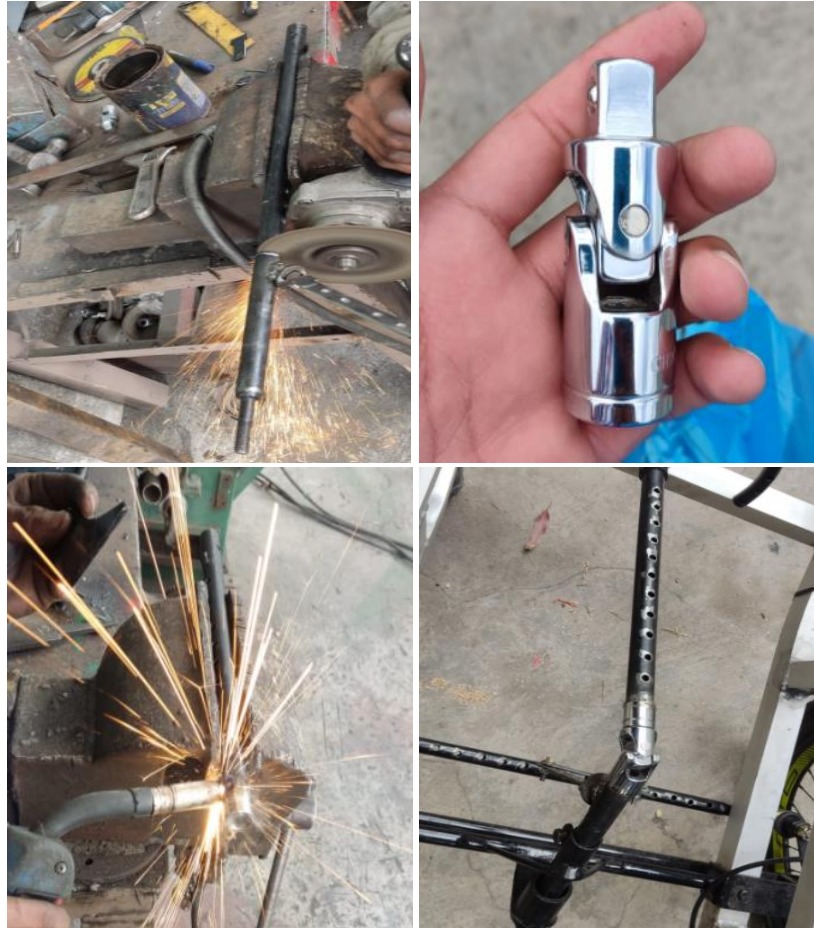




**Figura 68-3:** Optimización del volante para reducir su peso

Realizado por: Chasi, A., 2021.

En la figura 69-3 se puede apreciar la implementación de una junta cardan en la columna de dirección para que se pueda regular a la altura que requiera y también para facilitar la salida o ingreso del piloto.



**Figura 69-3:** Acoplamiento de la junta cardán en la columna

Realizado por: Chasi, A., 2021.

La optimización de la barra de dirección ayudo significativamente en la reducción de su peso como se observa en la figura 70-3.



**Figura 70-3:** Optimización de la barra de dirección

Realizado por: Chasi, A., 2021



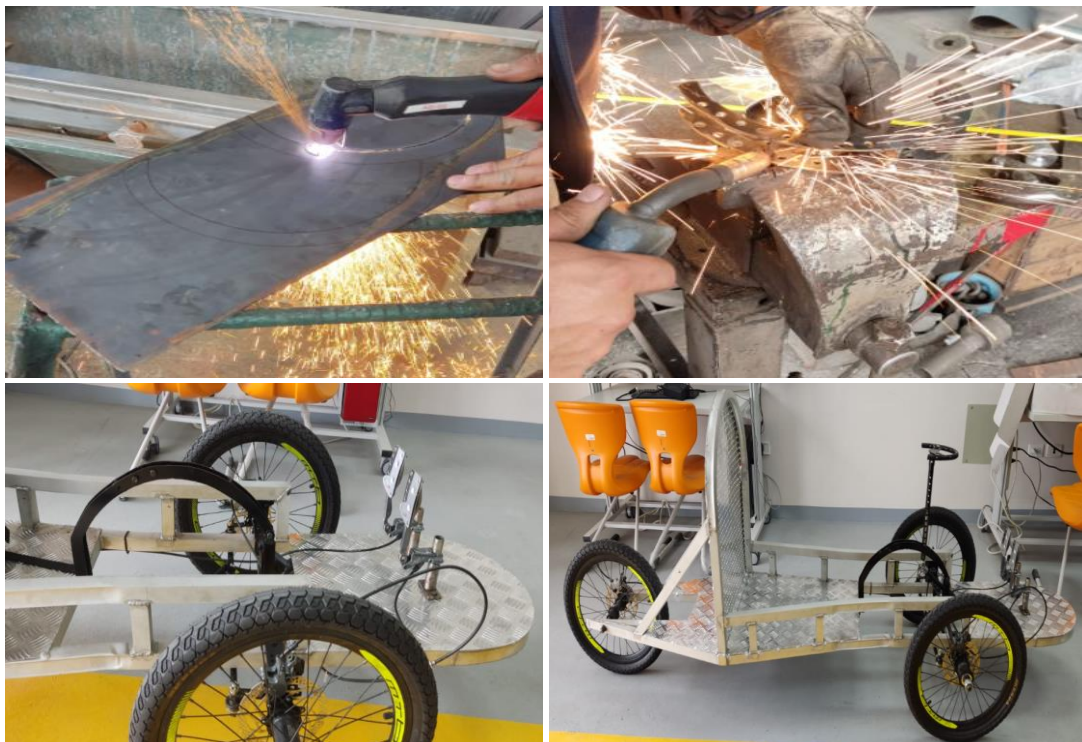
En la figura 71-3 se puede visualizar que el peso de la mangueta después de la optimización es de 766 gramos.



**Figura 71-3:** Optimización de la mangueta o manzana

**Realizado por:** Chasi, A., 2021

En la figura 72-3, se puede observar el proceso de construcción del regulador de altura de la columna de dirección para el cual se utilizó una plancha de acero de 3mm de espesor para poderle dar una forma circular, luego se procedió a realizar los agujeros que servirían como topes para que la columna se encuentre fija y finalmente se le pulió para poder colocarle en el prototipo.



**Figura 72-3:** Regulador de altura de columna de dirección

**Realizado por:** Chasi, A., 2021



**Figura 73-3:** Sistema de dirección optimizado

Realizado por: Chasi, A., 2021

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

Al finalizar los procesos de diseño y construcción del sistema de dirección se obtuvo una serie de resultados en función de las características físicas y mecánicas.

#### 4.1. Análisis de esfuerzos

En la tabla 1-4, se puede apreciar de manera sintetizada los resultados obtenidos mediante el análisis de esfuerzos en el software ANSYS lo cual nos indica que los elementos están dentro de un rango moderado y no existirá fallos durante su funcionamiento.

**Tabla 1-4:** Análisis de esfuerzos de los elementos del sistema de dirección

<b>Elemento</b>	<b>Deformación mínima (mm)</b>	<b>Factor de seguridad</b>	<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>
Sistema de dirección	0.31	6.14	40.73
Base de la mangueta	0.0098	15	8.7
Mangueta	0.009	13.84	12.47
Columna de dirección	0.26	13.82	18.09
Barra de dirección	0.044	15	7.94
Partes fijas	0.055	10.93	22.88
Volante	0.036	15	0.032

Realizado por: Chasi, A., 2021.

#### 4.2. Resistencia y giro

##### 4.2.1. Resistencia

La resistencia de los materiales empleados en los diferentes componentes del vehículo se calculó desde la simulación en el software de dibujo mecánico, para validar la información proporcionada por el programa al finalizar la construcción y ensamble del vehículo, este fue sometido a fuerzas



reales, es decir, la mayor fuerza que deberá soportar el vehículo comprende el peso del conductor y asegurar el funcionamiento adecuado de los sistemas.



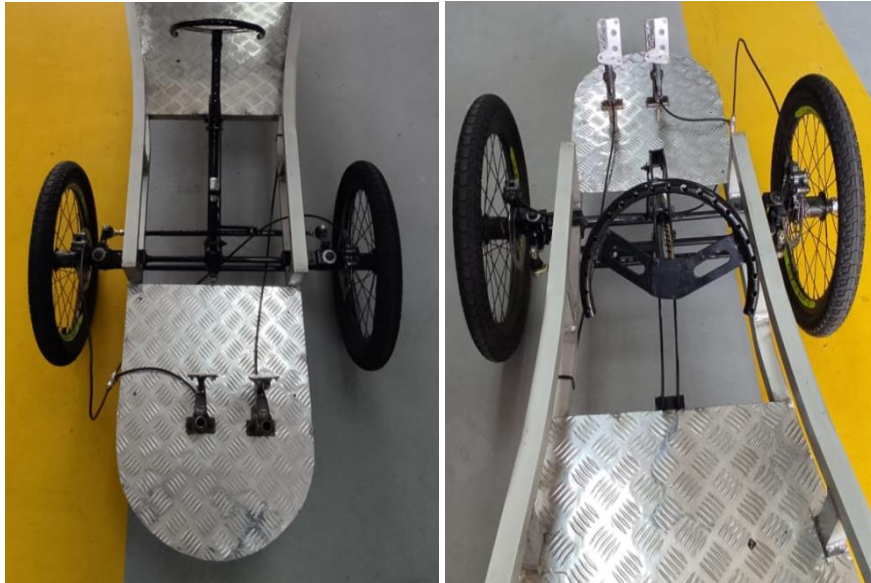
**Figura 1-4:** Prueba de resistencia

Realizado por: Chasi, A., 2021.

#### 4.2.1.1. Ángulo de giro neutro

El sistema de dirección del vehículo tiene un ángulo de giro de  $0^\circ$  o neutro como se observa en la figura 2-4.

Los ángulos de caída y avance es  $0^\circ$ , estos valores se establecieron a fin de mejorar el rendimiento del automotor.



**Figura 2-4:** Ángulo de giro neutro

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

#### *4.2.1.2. Ángulo de giro a la derecha e izquierda*

El radio de giro establecido para el vehículo es de cinco metros, por lo tanto, se comprobó la factibilidad de giro de las ruedas, y, esto se evidencia en la figura 3-4.



**Figura 3-4:** Giro del sistema de dirección a la derecha e izquierda

Realizado por: Chasi, A., 2021.

La selección de materiales y construcción del vehículo se realizó en concordancia con lo indicado por las normas técnicas vigentes. Los resultados obtenidos después del ensamblaje corresponden a los radios de giro interno y externo. Es importante recalcar que según el principio de Ackerman, quien indica que al girar sea a la derecha o a la izquierda, siempre existirá una diferencia de ángulo de giro entre la una rueda y la otra.

**Tabla 2-4:** Resultados de los ángulos de giro

$\delta_e$	0°	5°	10°	15°	17.02°
$\delta_i$	0°	5,196°	10,806°	16,86°	19.44°

Realizado por: Chasi, A., 2021.



El sistema de dirección utilizó reguladores en los brazos de las manguetas a fin de modificar el ajuste del ángulo y radio de giro en caso de requerirlo o para que el sistema tenga mejor desempeño y el piloto se sienta cómodo.



**Figura 4-4:** Reguladores del ángulo y radio de giro

Realizado por: Chasi, A., 2021.

El ángulo de avance y caída que se utilizó es de cero grados ya que mediante las pruebas realizadas con esos ángulos se obtuvo un mejor rendimiento del sistema de dirección y una mejor maniobrabilidad por parte del piloto.

**Tabla 3-4:** Ángulo y radio de giro

Descripción	Valor
Radio de giro	5 metros
Ángulo de avance	0°
Ángulo de caída	0°

Realizado por: Chasi, A., 2021.

### 4.3. Confort y seguridad

El confort y la seguridad para el piloto es una parte fundamental que no se debe pasar por alto, es por ello que se colocó una junta cardan o cruceta de dirección junto con el regulador de altura del volante, se realizó varias pruebas de campo y de esta manera se constató que el piloto para ingresar o salir del prototipo ya no requiere hacer mucho esfuerzo ya que la columna de dirección es regulable y a la vez desmontable. También quedó comprobado que el piloto necesita solamente 6 segundos para salir del prototipo.



**Figura 5-4:** Prueba de salida del prototipo

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

#### **4.4. Resultados de la optimización**

Posteriormente a la realización de la simulación en el software ANSYS y mediante la realización de pruebas de esfuerzos con pesos reales, se determinó que el peso neto de ciertos elementos del sistema de dirección era demasiado elevado en relación con el peso de la estructura del vehículo, por lo tanto, se realizó un proceso de perforación secuencial a fin de retirar material y reducir su peso, en las piezas como barra, columna de dirección y volante.



**Figura 6-4:** Diseño mecánico final optimizado del sistema de dirección

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

En la siguiente tabla se puede observar el peso que se ha disminuido con la optimización de ciertos componentes la cantidad de 0.38 Kg, esto es de gran ayuda ya que representa un ahorro energético y una mejor eficiencia.

**Tabla 4-4:** Valores de la optimización de las piezas o elementos del sistema

Descripción	Sin optimizar	Optimizado	Valor total
Volante	632g	404g	228g
Barra de dirección	625g	593g	32g
Manguetas o manzanas	820g	766g	54g
Columna de dirección	661g	593g	68g
<b>TOTAL</b>			<b>380g (0.38Kg)</b>

**Realizado por:** Chasi, A., 2021.

Finalmente se puede apreciar en la figura 7-4, la presentación final del sistema de dirección ensamblado en el chasis.



**Figura 7-4:** Presentación final del sistema de dirección

Realizado por: Chasi, A., 2021.

## CONCLUSIONES

- El diseño del sistema de dirección se realizó mediante el software de dibujo asistido por computadora, SOLIDWORKS, estableciendo un prototipo de chasis para sobre esta estructura aplicar la geometría de Ackerman, misma que dio como resultado un radio de giro de 5 metros.
- La construcción de los elementos del sistema de dirección y su ensamble tuvo base sobre los planos estructurales del diseño mecánico, mediante la utilización de máquinas y herramientas de corte, torneado, pulido, perforación y otras; el proceso de fabricación se realizó en un taller especializado con todas las medidas de protección personal y colectiva.
- El análisis de esfuerzos permitió identificar por anticipado si los materiales determinados para la construcción de los elementos del sistema de dirección soportarían las cargas y esfuerzos que actuarían sobre el sistema de dirección y de esta forma optimizar la selección del material en función de sus propiedades mecánicas. Los resultados de las deformaciones totales que se obtuvo en el sistema y cada uno de sus componentes fueron más que satisfactorios.
- Las pruebas de ángulo de giro realizadas mediante ensayos de campo con la conducción del vehículo determinaron el funcionamiento adecuado del sistema de dirección y de esta forma se garantiza la seguridad del piloto.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda tanto en el diseño como en la fabricación tener como base las medidas y dimensiones estandarizadas de los elementos de cada uno de los sistemas del vehículo a fin de que el reemplazo en caso de avería no resulta difícil y costoso para el propietario.
- Revisar antes de cada prueba o competencia que todos los componentes del sistema de dirección estén correctamente ajustados para que no exista ningún daño o accidente.
- Utilizar el prototipo de vehículo diseñado en este trabajo de investigación para futuros estudios y mejoras a fin de optimizar características de tamaño, peso, versatilidad y costos de producción en masa.
- Promover la utilización de vehículos eléctricos monoplaza, dado que, estos tienen ventajas significativas tanto para la conservación del medio ambiente como para la economía individual del propietario.

## **GLOSARIO**

**Mangueta:** Elemento que realiza funciones de apoyo de las ruedas y por el cual se transfiere el movimiento para el giro de las mismas, también se lo conoce como manzanas.

**CAD:** Diseño asistido por computadora.

**Plano:** Representación gráfica realizada con medio técnico de una superficie sin realizar proyección.

**Ensamblaje:** Unión de varios elementos para formar una sola estructura o sistema.

**Escoria:** Desperdicio que resulta después de haber realizado un proceso de soldadura.

**Acople:** Elemento con el cual se junta o combina dos o más elementos.

**Travesaño:** Elemento o pieza que atraviesa de una parte a otra.



## BIBLIOGRAFÍA

**AGUIRRE CÁRDENAS, Paúl Sebastián., HIDALGO OJEDA, David Santiago., PANAMÁ CHICA, José Alejandro., PADILLA URGILES, Juan Diego & VEINTIMILLA DUQUE, Darío Fernando.** Diseño de un vehículo eléctrico prototipo monoplace para una persona parapléjica y construcción de su chasis (Trabajo de tesis) (Pregrado) [en línea]. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca – Ecuador. 2014, p. 321. [Consulta: 15 enero 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10466>

**ÁLVAREZ MANTARAS, Daniel., LUQUE RODRÍGUEZ, Pablo & VERA, Carlos.** *Ingeniería del automóvil. Sistemas y comportamiento dinámico.* Madrid – España: Paraninfo. 2004, pp. 252-273.

**CALVO MARTÍN, Jesús & MIRAVETE DE MRCO, Antonio.** *Mecánica del automóvil actualizada.* Barcelona, España: Antonio Miravete de Marco. 1997, p. 168.

**CANTO, Jesús.** *Dirección por bolas* [blog]. España, s.f. [Consulta: 15 marzo 2021]. Disponible en: <https://helloauto.com/glosario/direccion-por-bolas#:~:text=Significado%20de%20direcci%C3%B3n%20por%20bolas,es%20transmitido%20a%20las%20ruedas.>

**CHAMBA OCHOA, Jhefferson Daniel & JARAMILLO RIVERA, Diego Fernando.** Sistema de dirección y frenos para vehículo de competencia Shell Eco-Marathon (Tesis) (Pregrado) [en línea]. Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca – Ecuador. 2016, p. xiii. [Consulta: 14 enero 2021]. Disponible: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6227/1/12438.pdf>

**DÁVILA PURUNCAJAS, Edison Roberto.** Diseño y construcción de un prototipo de vehículo eléctrico monoplace alimentado por energía solar mediante paneles solares (Trabajo) (Pregrado) [en línea]. Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias, Carrera de Ingeniería Automotriz. Quito – Ecuador, 2016, p. ix. [Consulta: 26 febrero 2021]. Disponible en: [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14093/1/65647\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14093/1/65647_1.pdf)

**DE MIGUEL, Carlos & TAVARES, Marcia.** *El desafío de la sostenibilidad ambiental en América Latina y el Caribe* [en línea]. Santiago de Chile – Chile: Comisión Económica para América Latina, 2015, pp. 43—48. SBN 978-92-1-057087-9 [Consulta: 15 enero 2021].



Disponible en: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37791/LCM23\\_es.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37791/LCM23_es.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

**FINCH DOMENECH, Carlos.** Diseño, cálculo, fabricación y puesta en servicio del sistema de dirección para un vehículo Shell Eco-Marathon. (Memoria) (Pregrado) [en línea]. Universitat Politècnica de Valencia. 2019, p. 2. [Consulta: 25 enero 2021]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/129276/Finch%20-%20DISE%20C3%91O,%20CALCULO,%20FABRICACI%20C3%93N%20Y%20PUSTA%20EN%20SERVICIO%20DE%20NUEVA%20DIRECCI%20C3%93N%20PARA%20VEH%20CULO%20SHELL%20....pdf?sequence=1>

**FUENTES DEL TORO, Sergio.** Diseño y cálculo del bastidor trasero y sistema de dirección del prototipo destinado a participar en la competición Shell Eco-Marathon. (Proyecto Fin de Carrera) (Pregrado) [en línea]. Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Ingeniería Mecánica. 2011, p. 153. [Consulta: 30 enero 2021]. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/11776?show=full>

**MARTÍN GARCÍA, Carlos & MOCHOLÍ ÁLVAREZ, Rafael.** Diseño y optimización del chasis de un vehículo eléctrico autónomo (Tesis) (Pregrado) [en línea]. Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech. [Consulta: 03 marzo 2021]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/81577596.pdf>

**GRANDES ANALUISA, José Luis & TOTOY MONTERO, Paúl Hernán.** "Diseño y construcción de un vehículo con motor de combustión interna mediante el análisis CAE para la competencia Shell Eco-Marathon" (Tesis) (Pregrado) [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, carrera de Ingeniería Automotriz. Riobamba Ecuador. 2019, p. 17. [Consulta: 12 febrero 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10129/1/65T00295.pdf>

**LLIVISACA AUCAPIÑA, Carlos Alfredo.** "Diseño y construcción del sistema de dirección de un vehículo de competencia fórmula SAE eléctrico" (Tesis) (Pregrado) [en línea]. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca – Ecuador, 2018, p. vi. [Consulta: 02 febrero 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15520/1/UPS-CT007621.pdf>

**PACHAR JIMÉNEZ, Galo Javier.** Diseño y cálculo de la carrocería de un vehículo monoplaza para personas con paraplejía. (Tesis) (Pregrado) [en línea]. Universidad Politécnica Salesiana

Sede Cuenca, Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca – Ecuador. 2012, p. 10.  
[Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3211>

**RIBA ROMEVA, Carles.** Selección de materiales en el diseño de máquinas. 2008, p.12.  
Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36844/9788498804065.pdf>

**SHELL ECO-MARATHON.** *Shell Eco-Marathon 2021 Official Rulers Chapter 1.* 2021, p. 23.  
Disponible en: [https://base.makethefuture.shell/en\\_gb/service/api/home/shell-eco-marathon/global-rules/\\_jcr\\_content/root/content/document\\_listing/items/download.stream/1598906823204/311003400ef3284afdeb403265a7b6001dfb9b7b/shell-eco-marathon-2021-official-rules-chapter-I.pdf](https://base.makethefuture.shell/en_gb/service/api/home/shell-eco-marathon/global-rules/_jcr_content/root/content/document_listing/items/download.stream/1598906823204/311003400ef3284afdeb403265a7b6001dfb9b7b/shell-eco-marathon-2021-official-rules-chapter-I.pdf)

## **ANEXOS**

### **ANEXO A: REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 040**

#### **Campo de aplicación**

El presente reglamento se aplica al personal, materiales, procedimientos y procesos a seguirse para la soldadura de estructuras de acero, en las fases de diseño, fabricación y montaje de edificios, galpones, naves industriales. Este, no se aplica para soldadura de tanques, recipientes a presión y tuberías de conducción de fluidos. Los electrodos, material de aporte y fundentes relacionados con el presente reglamento se encuentran comprendidos en la siguiente clasificación arancelaria (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009, p. 2).

#### **Requisitos específicos**

El reglamento en cuestión especifica una serie de requisitos según la ocupación de las personas involucradas en el proyecto tales como fiscalizador, inspectores de soldadura, personal de ensayos no destructivos, operarios, etc.

##### *Personal de ensayos no destructivos*

Los profesionales dedicados a los ensayos no destructivos deberán estar calificados sobre la base de la norma técnica ecuatoriana NTE INEN-ISO 9712 vigente por un organismo legalmente acreditado.

##### *Soldadores, operarios de soldadura y soldadores punteadores*

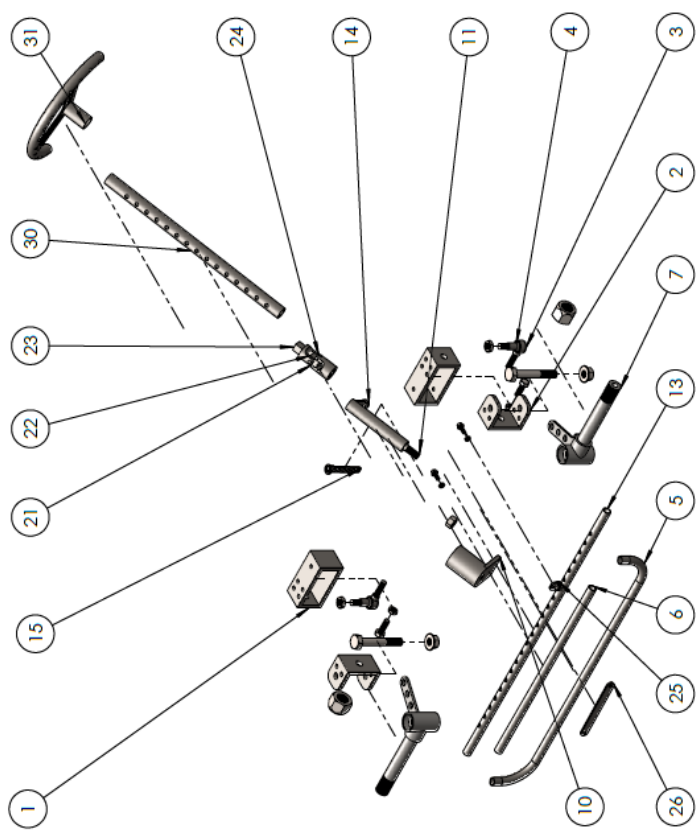
Los trabajadores u operarios de soldadura deberán ser calificados por el inspector de soldadura antes de iniciar la manipulación de máquinas y herramientas en la construcción.

#### **Demostración del cumplimiento con el reglamento técnico ecuatoriano**

El personal, productos y materiales a los que se refiere el presente Reglamento Técnico Ecuatoriano deben cumplir con lo dispuesto en este documento y con las demás disposiciones establecidas en otras leyes y reglamentos vigentes aplicables (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009, p. 11). La demostración de la conformidad debe realizarse mediante la presentación de un certificado de conformidad, de acuerdo con lo establecido por el Consejo Nacional de la Calidad, CONCAL.


- La demostración de la conformidad de los materiales base, materiales de aporte y/o electrodos y fundentes, en donde los certificados de conformidad podrán ser emitidos por un organismo acreditado en el territorio nacional fundamentados en las normas respectivas aplicables (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009, p. 11).
- Los metales de aporte y/o electrodos y fundentes utilizados en la fabricación de estructuras de acero soldadas serán verificados de acuerdo a lo indicado en los Códigos AWS referenciados en el capítulo 5 del Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 040 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009, p. 11).
- La inspección visual de la soldadura debe ser el principal método utilizado para confirmar que los procedimientos, materiales y mano de obra involucrados en la construcción de una estructura de acero soldada; son los que han sido especificados y aprobados para el proyecto. Un procedimiento básico con requerimientos mínimos de inspección de la soldadura de estructuras de acero diseñadas bajo criterios sismo-resistentes (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009, p. 11).
- Todas las juntas soldadas deben ser inspeccionadas visualmente. Los criterios de aceptación y rechazo de las soldaduras están determinados por los requisitos indicados en los Códigos AWS referenciados en el capítulo 5 del RTE INEN 040 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009, p. 11).
- Los procedimientos de END deben realizarse según lo indicado en los Códigos AWS referenciados en el capítulo 5 del RTE INEN 040 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009, p. 11).
- Muestreo de soldaduras. El porcentaje de soldaduras a ensayarse por procedimientos de END debe determinarse según lo establecido en los Códigos AWS referenciados en el Capítulo 5 del presente Reglamento Técnico Ecuatoriano y según lo establecido contractualmente (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009, p. 11).

## ANEXO B: PLANOS DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN

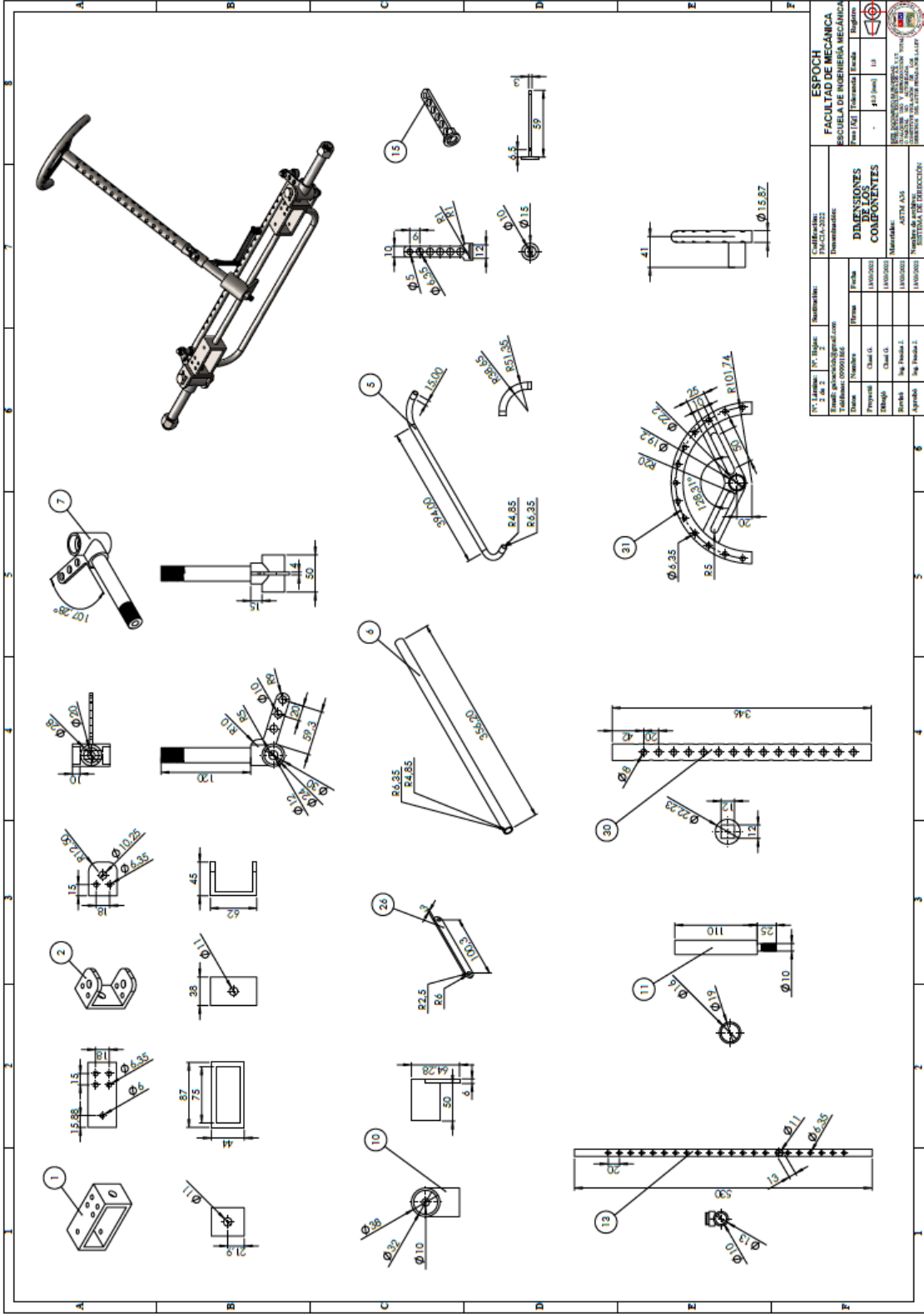
1	2	3	4	5	6	7	8																																																															
A							A																																																															
B	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">N.º DE ELEMENTO</th> <th style="width: 50%;">N.º DE PIEZA</th> <th style="width: 40%;">CANTIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Soporte base mangueta</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>Base mangueta</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>rotula</td><td>2</td></tr> <tr><td>4</td><td>buje terminal</td><td>2</td></tr> <tr><td>5</td><td>Puente</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>travesaño</td><td>1</td></tr> <tr><td>7</td><td>Mangueta</td><td>2</td></tr> <tr><td>10</td><td>Base columna dirección</td><td>1</td></tr> <tr><td>11</td><td>Columna de dirección</td><td>1</td></tr> <tr><td>13</td><td>Barra de dirección</td><td>1</td></tr> <tr><td>14</td><td>Acople columna</td><td>1</td></tr> <tr><td>15</td><td>Acople giratorio columna</td><td>1</td></tr> <tr><td>21</td><td>cruceta 1</td><td>1</td></tr> <tr><td>22</td><td>cruceta</td><td>1</td></tr> <tr><td>23</td><td>cruceta 2</td><td>1</td></tr> <tr><td>24</td><td>pin cruceta</td><td>2</td></tr> <tr><td>25</td><td>Acople giratorio</td><td>1</td></tr> <tr><td>26</td><td>Union barra columna</td><td>1</td></tr> <tr><td>30</td><td>columna de dirección superior</td><td>1</td></tr> <tr><td>31</td><td>Volante</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>						N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD	1	Soporte base mangueta	2	2	Base mangueta	2	3	rotula	2	4	buje terminal	2	5	Puente	1	6	travesaño	1	7	Mangueta	2	10	Base columna dirección	1	11	Columna de dirección	1	13	Barra de dirección	1	14	Acople columna	1	15	Acople giratorio columna	1	21	cruceta 1	1	22	cruceta	1	23	cruceta 2	1	24	pin cruceta	2	25	Acople giratorio	1	26	Union barra columna	1	30	columna de dirección superior	1	31	Volante	1	B
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD																																																																				
1	Soporte base mangueta	2																																																																				
2	Base mangueta	2																																																																				
3	rotula	2																																																																				
4	buje terminal	2																																																																				
5	Puente	1																																																																				
6	travesaño	1																																																																				
7	Mangueta	2																																																																				
10	Base columna dirección	1																																																																				
11	Columna de dirección	1																																																																				
13	Barra de dirección	1																																																																				
14	Acople columna	1																																																																				
15	Acople giratorio columna	1																																																																				
21	cruceta 1	1																																																																				
22	cruceta	1																																																																				
23	cruceta 2	1																																																																				
24	pin cruceta	2																																																																				
25	Acople giratorio	1																																																																				
26	Union barra columna	1																																																																				
30	columna de dirección superior	1																																																																				
31	Volante	1																																																																				
C							C																																																															
D							D																																																															
E							E																																																															
F							F																																																															

N.º Lámina: 1 de 2	N.º Hojas: 1	Sustitución:	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>
Email: gbaonach@gmail.com	RS-CIA-2022	Identificación:	<b>CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ</b> Fece [Kg] Tolerancia Escala Registro
Telefono: 0999091866	Denominación:	<b>VISTA EXPLOSIONADA DEL SISTEMA DE DIRECCION</b>	
Datos	Nombre	Fecha	Registro
Proyectó	Chasi G.	13/02/2022	1:7
Dibujó	Chasi G.	13/02/2022	±0.3 (mm)
Revisó	Ing. Pancha J.	13/02/2022	
Aprobó	Ing. Pancha J.	13/02/2022	
Materiales:		ASTM A36	
Número de archivo:		SISTEMA DE DIRECCION	



SITE DOCUMENTO DE INGENIERIA  
 INGENIERIA EN INGENIERIA AUTOMOTRIZ  
 CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ  
 O PAQUETE DE AUTOMOTRIZACION  
 DIRECTOR DEL AUTOR INGENIERIA AUTOMOTRIZ



<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		Códigos: 1001 Fecha: 10/01/2022 Dimensiones: 100x150x100	Fecha: 10/01/2022 Nombre: [Blank] Curso: 4º Materia: [Blank]	Escala: 1:1 Hoja: 1 de 1
<b>DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES</b>		Autor: [Blank] Revisor: [Blank] Aprobado: [Blank]		

