

**DISEÑO DE UN VEHICULO ELECTRICO PARA TRANSPORTE DE PERSONAS  
EN CONDICIONES DE MOVILIDAD RESTRINGIDA TEMPORAL O  
PERMANENTE**

**FABIAN EDUARDO DURAN MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
ESCUELA DE INGENIERIA  
BUCARAMANGA**

**2019**

**DISEÑO DE UN VEHICULO ELECTRICO PARA TRANSPORTE DE PERSONAS  
EN CONDICIONES DE MOVILIDAD RESTRINGIDA TEMPORAL O  
PERMANENTE**

**FABIAN EDUARDO DURAN MARTINEZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO MECANICO**

**DIRECTOR:**

**MSc. JUAN MANUEL ARGUELLO ESPINOZA**

**Docente Asociado**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA**

**BUCARAMANGA**

**2019**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Bucaramanga (25 noviembre de 2019)**

## DEDICATORIA

A Dios por acompañarme en cada paso recorrido, mis padres y mis hermanos, que con amor, dedicación y paciencia acompañaron mi proceso de formación académica y de elaboración de esta tesis.

A mi familia por brindarme su apoyo incondicional, sus consejos, por cuidarme y velar por mi bienestar educativo y espiritual.

A mi hermana por creer en mí y darme ejemplo de entrega, dedicación y fortaleza.

A mi hermano por ser mi más grande ejemplo de tenacidad, por brindarme su total cariño, consejo y comprensión.

A mi madre por sus palabras de aliento y porque nunca bajo los brazos para asegurar mi formación académica.

A mi padre por ser mi brújula y mi luz en el camino.

A Dios por iluminar mi camino aún en los momentos más difíciles.

Fabián Eduardo Durán Martínez

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a Dios por la vida otorgada, por la luz en el camino y por permitirme disfrutar de mis triunfos y compartirlos con los que amo.

A mi familia por el amor recibido, por la paciencia, y dedicación recibida a lo largo de mi formación personal, académica y desarrollo de esta tesis.

A mi docente director, Msc. Juan Manuel Arguello Espinoza, quien a lo largo de mi proceso educativo puso todas sus capacidades y conocimientos para hacer de mi mejor, ser humano, estudiante, amigo y compañero.

A mis profesores, su paciencia, dedicación y respeto por la profesión motivaron mi proceso de enseñanza y dieron forma a mis expectativas profesionales.

A la Universidad Pontificia Bolivariana por abrirme sus puertas y educarme dentro de los valores cristianos con gran calidad humana.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
GLOSARIO .....	15
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. OBJETIVOS.....	6
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
4. JUSTIFICACIÓN.....	9
5. MARCO REFERENCIAL .....	10
5.1 MARCO HISTORICO .....	11
5.1.1 Historia del vehículo eléctrico.....	11
5.2 MARCO TEÓRICO .....	13
5.2.1 Por qué un vehículo eléctrico. ....	13
5.2.2 Componentes de un vehículo eléctrico. ....	18
5.2.3 Tipo de vehículos eléctricos .....	42
5.2.4 Arquitectura del vehículo eléctrico.....	45
5.2.5 Calculo dinámico de la cadena cinemática del vehículo .....	48
5.2.6 Persona de movilidad reducida (PMR).....	52
5.3 MARCO LEGAL.....	57
5.3.1 Normativa legal colombiana. ....	57
6. METODOLOGÍA.....	60
7. CONCEPTUALIZACIÓN.....	62

7.1	Parámetros, variables y restricciones de diseño.....	62
7.1.1	Parámetros de configuración general.....	62
7.1.2	Potencia y Torque. ....	63
7.1.3	Cargas vivas. ....	64
7.1.4	Cargas muertas.....	65
7.1.5	Carga por aceleración o frenado.....	65
7.1.6	Parámetros determinados por los requerimientos de accesibilidad y ergonomía.....	65
7.2	Parámetros específicos del vehículo. ....	68
7.3	Diseño conceptual. ....	69
7.4	Dimensionamiento básico.....	70
8.	DESARROLLO .....	73
8.1	Diseño estructural.....	73
8.1.1	Elementos estructurales.....	73
8.1.2	Selección de Material. ....	74
8.1.3	Bastidor Automotriz. ....	78
8.1.4	Suspensión automotriz.....	80
8.1.5	Diseño Mecánico.....	99
9.	EVALUACION.....	114
9.1	Análisis estructural.....	114
9.1.1	Consideraciones de simulación.....	115
9.1.2	Análisis del chasis.....	125
10.	MATERIALES .....	132
11.	CRONOGRAMA.....	133

12. CONCLUSIONES .....134

13. RECOMENDACIONES .....135

BIBLIOGRAFÍA.....136

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cargas Vivas estimadas para el vehículo.....	64
Tabla 2. Cargas Muertas Estimadas para el vehículo.....	65
Tabla 3. Parámetros Generales del vehículo .....	68
Tabla 4 . Distancia entre ejes para vehículos adaptables .....	71
Tabla 5. Tipos de Aceros Estructurales disponibles en el mercado local.....	76
Tabla 6 Matriz de selección de material estructural .....	76
Tabla 7. Propiedades Requeridas por el Estándar ASTM A-500 GRADO C....	77
Tabla 8 Matriz de selección para tipo de Suspensióne .....	83
Tabla 9 Matriz de Selección para tipo de suspension Independiente .....	87
Tabla 10 Especificaciones de diseño para Mangueta frontal.....	90
Tabla 11 Seleccion de Punto de apoyo Amortiguador .....	91
Tabla 12 Matriz de selección conexion conjunto muelle-amortiguador .....	91
Tabla 13 Seleccion de Punto de apoyo mordaza de freno .....	92
Tabla 14 Matriz de selección conexion mordaza del freno .....	92
Tabla 15 Seleccion de Punto de apoyo conjunto de direccion.....	93
Tabla 16 Matriz de selección para soporte de conjunto de dirección .....	93
Tabla 17 Seleccion de punto de apoyo de brazo oscilante.....	94
Tabla 18 Matriz de selección para punto de apoyo de brazo oscilante .....	94
Tabla 19 Selección de material para la mangueta.....	95
Tabla 20 Matriz de seleccion de material para la mangueta.....	96
Tabla 21 Especificaciones técnicas del conjunto motor.....	104
Tabla 22 matriz de selección para mecanismo de dirección .....	111
Tabla 23 Cargas que se aplican para la simulación de las manguetas.....	120
Tabla 24 Propiedades Físicas del material del chasis.....	125
Tabla 25. Cronograma de Actividades .....	133

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Ley de Lorentz.....	23
Ecuación 2. Fuerza de resistencia a la rodadura. ....	49
Ecuación 3. Fuerza de resistencia aerodinámica.....	50
Ecuación 4. Fuerza de resistencia en pendiente.....	51
Ecuación 5.Segunda ley de Newton.....	51
Ecuación 6. Fuerza de tracción Total.....	51

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 Imagen Satelital. Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga.....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 2 Linea de Tiempo historia del vehiculo electrico. ....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 3 Diagrama de Frenado regenerativo. ....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 4 Eficiencia comparada: batería eléctrica 73%, hidrógeno 22%, ICE 13% .....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 5 Componentes de un Vehiculo eléctrico .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 6 Esquema de funcionamiento básico del motor de corriente continua. ....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 7. Motor asincrono de rotor tipo jaula de ardilla. ....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 8. Despiece de un motor electreico sincrono de imanes permanentes. ....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 9. Esquema de funcionamiento motor brushless .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 10 Esquemas Flujo Radial y Axial en motores electricos .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 11 Modos Operativos de Carga .....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 12 Bastidor Independiente .....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 13 Bastidor Tubular .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 14 Carrocería Autoportante.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 15 Modelos de suspensión .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 16 Esquema de suspension rigida .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 17 Esquema de suspension semirigida Eje de Dion.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 18 Esquema de suspensión McPhearson.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 19 Suspensión de paralelogramo deformable.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 20 Mecanismo de dirección de tornillo sinfín.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 21 Mecanismo de dirección de cremallera. ....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 22 Tipos de vehículo eléctrico .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 23. Componentes Vehículo eléctrico ( Esquema) .....</b>	<b>45</b>

<b>Figura 24. Transmisión convencional para vehículo eléctrico .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 25. Esquema de rueda motorizada .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 26. Transmisión directa para vehículo eléctrico .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 27 Diagrama de Fuerzas sobre un vehículo en pendiente. ....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 28 Dimensiones para giro de PMR en uso de silla de ruedas.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 29 Pendiente de una carretera .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 30. Diseño antropomorfo replica tamaño real del cuerpo humano. ....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 31 Vía y batalla de un vehículo .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 32. Dimensiones generales del vehículo (Vista superior) .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 33. Elementos estructurales generales del concepto de vehículo .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 34 Esquema de diseño de Bastidor .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 35 Bastidor Preliminar .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 36 Esquema básico suspensión McPherson.....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 37 Croquis diseño preliminar suspensión delantera .....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 42 Concepto soporte eje rueda.....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 43 Modelo de Conjunto eje motor .....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 44 Croquis modelo conceptual de la Mangueta Delantera .....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 45 Proceso de modelado del concepto de la Mangueta delantera .....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 46 Ensamblaje Conjunto Llanta - concepto de mangueta delantera...98</b>	
<b>Figura 47 Proceso de modelado del concepto de la Mangueta delantera .....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 48 Ensamblaje Conjunto Llanta - concepto de mangueta delantera...99</b>	
<b>Figura 49 Geometría de ackerman para el vehículo .....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 50 Diagrama de cuerpo libre del Vehículo (Vista Lateral) .....</b>	<b>117</b>
<b>Figura 51 Análisis FEM - Condiciones de contorno- Mangueta trasera.....</b>	<b>120</b>
<b>Figura 52 Análisis FEM - Deformación de la mangueta delantera.....</b>	<b>121</b>
<b>Figura 53 Análisis FEM – Tensiones Máximas de la mangueta delantera ....</b>	<b>121</b>
<b>Figura 54 Análisis FEM – Factor de seguridad de la mangueta delantera....</b>	<b>122</b>
<b>Figura 55 Análisis FEM – Deformaciones de la mangueta Posterior .....</b>	<b>123</b>
<b>Figura 56 Análisis FEM – Tensiones máximas de la mangueta Posterior .....</b>	<b>124</b>
<b>Figura 58 Soportes fijos para análisis FEM de chasis.....</b>	<b>126</b>

<b>Figura 59 Carga sobre el chasis por PMR .....</b>	<b>127</b>
<b>Figura 60 Carga sobre el chasis por PMR .....</b>	<b>127</b>
<b>Figura 61 Cargas que se aplican sobre el chasis .....</b>	<b>127</b>
<b>Figura 62 Deformación total del chasis .....</b>	<b>129</b>
<b>Figura 63 Análisis por elementos finitos del chasis- Tensiones Máximas...</b>	<b>129</b>
<b>Figura 64 Análisis por elementos finitos del chasis- Factor de seguridad...</b>	<b>130</b>

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. VISTAS DEL VEHICULO	164
ANEXO B. ADAPTACIONES DE ACCESIBILIDAD	165
ANEXO C. PLANOS DEL CHASIS	166
ANEXO D. PLANOS DEL CONJUNTO EJE MOTOR	167
ANEXO E. PLANOS DE LA MANGUETA DELANTERA	168
ANEXO F. PLANOS DE LA MANGUETA POSTERIOR	169
ANEXO G. PLANOS DEL BRAZO OSCILANTE DELANTERO	170

## GLOSARIO

**Battery pack** : (paquete de baterías) es un conjunto de cualquier número de (preferiblemente) baterías idénticas o celdas de baterías individuales. Pueden configurarse en serie, en paralelo o en una mezcla de ambos para entregar el voltaje, la capacidad o la densidad de potencia deseada.

Habitáculo: Espacio de un vehículo destinado a ser ocupado por el conductor y los viajeros.

**Par motor**: Es la fuerza con la que gira el eje del motor. Se mide en Newton/metro (Nm)

**Percentil**: Medida de posición usada en estadística que indica que una vez ordenados los datos de menor a mayor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de observaciones en un grupo de observaciones. Por ejemplo, el percentil 20<sup>o</sup> es el valor bajo el cual se encuentran el 20 por ciento de las observaciones.

**PMR**: Una persona con movilidad reducida (PMR) es aquella persona que tiene limitadas, temporal o permanentemente, las posibilidades de desplazarse o moverse, para lo cual es dependiente de otras personas (cuidadores), de ayudas técnicas y de la supresión de barreras arquitectónicas para poder comprar bienes y contratar servicios públicos y privados.

**Régimen de giro**: Es el número de vueltas que da el eje motor por unidad de tiempo. Se mide en revoluciones por minuto (rpm).

**Potencia motora**: Es la cantidad de trabajo realizada por unidad de tiempo y se obtiene de multiplicar el par por las revoluciones.

## **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** DISEÑO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO PARA TRANSPORTE DE PERSONAS EN CONDICIONES DE MOVILIDAD RESTRINGIDA TEMPORAL O PERMANENTE

**AUTOR(ES):** FABIAN EDUARDO DURAN MARTINEZ

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR(A):** JUAN MANUEL ARGUELLO ESPINOZA

### **RESUMEN**

La movilidad dentro del campus UPB Bucaramanga presenta grandes desafíos para los miembros de la comunidad universitaria que se encuentran en condiciones de movilidad restringida temporal o permanente. La topología del terreno del campus universitario y su extensión representan dificultad y exigen grandes esfuerzos físicos para este grupo de personas. Se realizará el diseño de un medio de transporte tipo vehículo eléctrico que contará con las adaptaciones necesarias de accesibilidad para el mejoramiento del desplazamiento dentro del campus universitario.

### **PALABRAS CLAVE:**

Accesibilidad, PMR, discapacidad, inclusión, diseño, movilidad, transporte, vehículo eléctrico.

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## **GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** DESIGN OF AN ELECTRIC VEHICLE FOR TRANSPORTATION OF PERSONS IN CONDITIONS OF TEMPORARY OR PERMANENT RESTRICTED MOBILITY

**AUTHOR(S):** FABIAN EDUARDO DURAN MARTINEZ

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** JUAN MANUEL ARGUELLO ESPINOZA

### **ABSTRACT**

Mobility within the UPB Bucaramanga campus presents great challenges for members of the university community who are in conditions of temporary or permanent restricted mobility. The topology of the campus and its extension represent difficulty and require great physical efforts for this group of people. The design of a means of transport type electric vehicle will be carried out that will have the necessary adaptations of accessibility for the improvement of displacement within the university campus.

### **KEYWORDS:**

Accessibility, PMR, disability, inclusion, design, mobility, transportation, electric vehicle.

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## 1. INTRODUCCIÓN

Los miembros de la comunidad universitaria transitan por las vías del campus de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga con el fin de realizar una serie de actividades académicas, recreativas, administrativas o laborales. Este recorrido puede realizarse caminado o mediante medios motorizados (automóviles, motocicletas) que generan contaminación atmosférica y auditiva o no motorizados (bicicleta). Esta situación genera consumo de espacio, tiempo, energía y se agudiza cuando lo realizan miembros de la comunidad universitaria y visitantes que se encuentran en situación de discapacidad visual o movilidad limitada, temporal o permanente.

La Universidad Pontificia Bolivariana en el marco del proceso de proyección social contiene el programa INCLUPB que permite apoyar y contribuir en la integración de las personas en condición de inclusión realizando las labores razonables de adaptación, modificación, medida o ajuste adecuado para permitirle o facultarle a la persona con impedimento participar en la sociedad e integrarse en todos los aspectos.

Este proyecto desarrolla el proceso de diseño mecánico de medios alternativos de transporte que utilizan energía eléctrica con el fin de mejorar la movilidad y accesibilidad dentro del campus UPB Bucaramanga de los miembros de la comunidad universitaria en situación de discapacidad visual o movilidad limitada, temporal o permanente teniendo en cuenta las condiciones de diversidad funcional de las personas y adaptándose a las necesidades ergonómicas de movilidad respondiendo positivamente al enfoque de inclusión universitaria como oportunidad para el enriquecimiento de la sociedad a través de la participación activa de todos los individuos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un vehículo eléctrico para el transporte de personas en condiciones de movilidad restringida dentro del campus UPB Bucaramanga mediante el cálculo dinámico de la cadena cinemática del sistema.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir los parámetros de diseño, funcionamiento y accesibilidad del vehículo mediante el análisis en matriz de selección de criterios. Resultado: Listado de especificaciones técnicas del vehículo, lineamientos de diseño y requerimientos básicos de accesibilidad. Indicador: parámetros que definan el tipo de vehículo, características del usuario y los requerimientos básicos de funcionamiento y las adaptaciones de accesibilidad.
- Diseñar los componentes estructurales del vehículo, por medio de un modelamiento en software CAD; que permitan la adaptación del diseño conceptual a los parámetros definidos. Resultado: Planos, modelos 3d y esquemas de ensamblajes de los elementos estructurales y mecánicos mediante el software SolidWorks 2018. Indicador: Bastidor automotriz, Chasis y estructuras de soporte de elementos mecánicos y de suspensión.
- Calcular y seleccionar los elementos de tracción y control del vehículo, mediante el cálculo dinámico de la cadena cinemática de este. Indicador: Motor, sistema de transmisión, banco de baterías, controlador electrónico, sistema de dirección, frenado y suspensión. Resultado: Especificaciones técnicas del motor (potencia y par nominal). Arquitectura y características de

los elementos del sistema de transmisión. Capacidad de las baterías, tiempo de carga y autonomía estimada del vehículo. Tipo de controlador electrónico, capacidad y especificaciones técnicas. Tipo, componentes y especificaciones del sistema de dirección, frenado y suspensión vehicular.

- Determinar y analizar las tensiones, desplazamientos y deformaciones de los componentes estructurales del vehículo, mediante el método de los elementos finitos (MEF) a través del Software ANSYS v19. Indicador: Optimización del diseño estructural mediante la reducción de peso, mejora en la distribución de esfuerzos y reducción de los posibles esfuerzos mecánicos a los que se someterá en condiciones de funcionamiento. Resultado: reporte de Análisis de esfuerzos, tensiones, desplazamientos y deformaciones para situación de impacto frontal, impacto lateral, volcamiento total, esfuerzo por tracción o frenado abrupto. Materiales de fabricación, perfiles estructurales, espesores y Factor de seguridad de las estructuras.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los miembros de la comunidad universitaria transitan por las vías del campus de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga con el fin de realizar una serie de actividades académicas, recreativas, administrativas o laborales. Este recorrido puede realizarse caminado o mediante medios motorizados (automóviles, motocicletas) o no motorizados (bicicleta).

La longitud de los desplazamientos y las barreras del entorno suponen un esfuerzo físico considerable y una cantidad de tiempo que se agudiza cuando lo realizan personas con dificultades de tipo sensorial, mujeres embarazadas, adultos mayores, y en general todas aquellas que conforman el colectivo de personas con movilidad reducida temporal o permanente.

Es por esta situación que se decide realizar el diseño de un vehículo para el transporte interno dentro del campus, que permita reducir el esfuerzo físico y los tiempos de desplazamiento de personas con movilidad reducida temporal o permanente, mejorando así la accesibilidad y fortaleciendo el programa de inclusión social universitaria.

## 4. JUSTIFICACIÓN

La Universidad Pontificia Bolivariana en el marco del proceso de proyección social contiene el programa INCLUPB que permite apoyar y contribuir en la integración de las personas en condición de inclusión realizando las labores razonables de adaptación, modificación, medida o ajuste adecuado para permitirle o facultarle a la persona con impedimento participar en la sociedad e integrarse en todos los aspectos.

Aunque en el campus universitario se ha realizado eliminación de barreras físicas, adaptación del entorno e instalación de dispositivos como ascensores, rampas de acceso y puentes para conectar los edificios, la distancia entre algunas edificaciones e instalaciones y la inclinación o cambio de nivel sigue presentando un esfuerzo físico considerable para las personas con movilidad reducida.

La ingeniería mecánica nos permite analizar las necesidades del entorno y poner al servicio del ser humano los desarrollos científicos traduciéndolos en elementos, maquinas, equipos y sistemas que reducen el esfuerzo físico y dignifican la labor humana permitiendo realizar las tareas con uso eficiente de tiempo y recursos.

Este proyecto aborda el proceso de diseño mecánico de un medio alternativo de transporte que utiliza energía eléctrica con el fin de mejorar la movilidad y accesibilidad dentro del campus UPB Bucaramanga de los miembros de la comunidad universitaria en situación de discapacidad visual o movilidad limitada, temporal o permanente teniendo en cuenta las condiciones de diversidad funcional de las personas y adaptándose a las necesidades ergonómicas de movilidad respondiendo positivamente al enfoque de inclusión universitaria como oportunidad para el enriqueciendo de la sociedad a través de la participación activa de todos los individuos.

## 5. MARCO REFERENCIAL

Sobre el kilómetro 7 y situado en la ciudad de Floridablanca Santander sobre la autopista que conduce de la Ciudad de Bucaramanga a Piedecuesta se encuentra el Campus de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Posee 141.163 metros cuadrados de área construida distribuidos en más de 15 edificaciones y otros espacios que son utilizados por cerca de 5.101 miembros de la comunidad Universitaria.<sup>1</sup>

Figura 1 Imagen Satelital. Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga



Fuente: Google MyMaps [Imagen]. [Consultado: 21 de Febrero de 2019]. Dponible en internet: <http://bit.ly/2r2G5b2>

Los desplazamientos de los miembros de la población universitaria se desarrollan entre edificaciones que se encuentran separadas en un máximo recorrido de 1 kilómetro por trayecto aproximadamente, como lo es el caso del recorrido desde el edificio K hasta el Centro de Desarrollo Tecnológico, con un cambio de nivel de

---

<sup>1</sup> SNIES UPB, "Información estadística Bucaramanga - postgrado y pregrado segundo semestre de 2017". Estadísticas. UPB "en línea". Julio de 2018. "Disponible en: <https://www.upb.edu.co/es/estadisticas>".

hasta 36 metros que es la diferencia entre la elevación del terreno del edificio k con respecto a la entrada del campus. El esfuerzo máximo en pendiente lo realizan sobre la calzada que conduce al edificio k la cual registra una inclinación de 18° respecto al nivel horizontal.

## **5.1 MARCO HISTORICO <sup>2</sup>**

La historia del vehículo eléctrico antecede a su homólogo de gasolina, la experimentación con vehículos eléctricos se remonta a principios del siglo XIX en Europa, y la aparición de prototipos funcionales a finales de este. Su desarrollo estableció las bases para la industria automotriz y aunque parecía que había perdido la carrera en el desarrollo tecnológico hoy aparece y se postula como el futuro de los automóviles comerciales.

### **5.1.1 Historia del vehículo eléctrico<sup>3</sup>.**

A comienzos del siglo XIX se presentaron grandes avances en el área del electromagnetismo. Anos Jedlik en 1828 desarrolla el primer motor eléctrico formado por un estator, un rotor y un conmutador, tecnología que es aprovechada en 1834 por Thomas Davenport quien construye la primer maqueta o prototipo de vehículo eléctrico adelantándose más de 50 años a la aparición del primer motor de combustión interna. Este punto de la historia marca el inicio del desarrollo tecnológico del vehículo eléctrico iniciando con la implementación de motores eléctricos en los coches que hasta el momento se impulsaban por caballos.

En 1938 ante el auge de la motorización eléctrica, el británico Robert Anderson inventa el primer coche que funcionaba mediante pila de energía eléctrica no

---

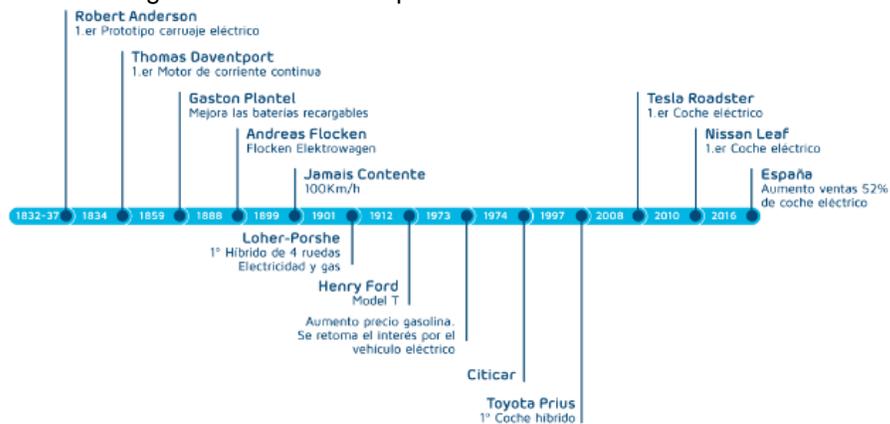
<sup>2</sup> DE LA HERRÁN, José. El auto eléctrico: una solución apremiante. En: Divulgación de la ciencia UNAM. [sitio web]. México: DGDCUNAM. [Consultado: 18 de noviembre de 2019]. Archivo pdf. Disponible en: [http://www.dgdc.unam.mx/assets/cienciaboletos/cb\\_auto\\_electrico.pdf](http://www.dgdc.unam.mx/assets/cienciaboletos/cb_auto_electrico.pdf)

<sup>3</sup> Historia del vehículo eléctrico [en línea]. Electro movilidad. [Consultado: 22 de febrero de 2019]. Disponible en: <http://electromovilidad.net/historia-del-vehiculo-electrico/>.

recargable. Años más tarde se presentan avances significativos en la tecnología de los acumuladores por medio de Gastón Plante (1865) y Camille Faure (1881) aumentando la popularidad de este tipo de vehículos considerablemente, tanto que para el año 1897 ya funcionaba una flota de taxis eléctricos en la ciudad de Nueva York y en 1900, el 28% de todos los automóviles de los Estados Unidos funcionaban con energía eléctrica.

Hacia 1912 la carrera por el desarrollo tecnológico automotriz se estremecería con el desarrollo del motor de arranque y la invención de la línea de producción en masa (Henry Ford – Modelo T), el motor a gasolina; principal competidor de la tecnología eléctrica tomaría un impulso notable que junto a los precios de la gasolina y la apertura de las carreteras al tráfico marcaron el pulso definitivo a favor de los vehículos impulsados por motores de combustión interna.

Figura 2 Línea de Tiempo historia del vehículo eléctrico.



Fuente: Alcanzia Energía. Orígenes del vehículo eléctrico [Imagen]. [Consultado: 23 de febrero de 2019]. Disponible en Internet <https://alcanzia.es/movilidad/historia-vehiculo-electrico/>.

A mediados de 1997 se observa un resurgir de la tecnología de impulsión eléctrica en los vehículos, Toyota realiza el lanzamiento del Prius, un vehículo híbrido que aprovecha las prestaciones adicionales brindadas por los adelantos tecnológicos en materia de baterías y potencia de motores eléctricos pequeños. Su éxito en ventas genera una revolución en la industria impulsando el uso de esta tecnología en

millones de vehículos. Actualmente el referente mundial en vehículos eléctricos es Tesla Motors, quien debido a la popularidad de sus productos supera en pedidos sus niveles de producción que en el 2017 superaron las cien mil unidades<sup>4</sup>.

## 5.2 MARCO TEÓRICO

### 5.2.1 Por qué un vehículo eléctrico<sup>5</sup>.

El sector transporte está ligado fuertemente al grave impacto ambiental derivado del alto consumo de combustibles fósiles. El vehículo eléctrico se presenta como una vía de solución ante la insostenibilidad energética del sector y el incumplimiento de las expectativas en las proyecciones medioambientales de los países desarrollados.

El desarrollo de la tecnología de tracción eléctrica aplicada al transporte ha sido estimulado con grandes inversiones por parte de las principales casas automotrices que, ante el impacto económico y político propiciado por la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles, la preocupación global por el cambio climático y la calidad del aire han presentado grandes avances tecnológicos que representan mejores características frente a los vehículos impulsados por motores de combustión interna.

Entre esas características y teniendo en cuenta los requerimientos del proyecto, se tiene en cuenta las siguientes consideraciones para la elección de este tipo de vehículo.

---

<sup>4</sup> (STA), Sociedad de Técnicos de Automoción. El Vehículo Eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio. Barcelona: Libbooks, 2011. ISBN 9788493891008.

<sup>5</sup> ENERGÍA Y SOCIEDAD. Energía y sociedad: Manual de la energía [Pagina Web]. Madrid: Club Español de la Energía. [Consultado: 18 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <http://energiaysociedad.es/manenergia/4-1-por-que-el-vehiculo-electrico/>.

## **Par motor, potencia y eficiencia.<sup>6</sup>**

El vehículo eléctrico ofrece ventajas significativas otorgadas por las prestaciones del tipo de motor que usa, el motor eléctrico posee ciertas características superiores tales como: mayor eficiencia energética, par elevado a bajas revoluciones, potencia constante a cualquier régimen de trabajo entre otras.

El parámetro general para evaluar el rendimiento de un vehículo es la capacidad de entregar par a cierto número de revoluciones, el motor eléctrico tiene la capacidad de desarrollar mayor par a bajas revoluciones de manera constante, se puede afirmar que el par generado desde las 0 revoluciones es el par máximo del motor eléctrico aventajando de esta forma al motor de combustión inclusive cuando estos desarrollan una mayor potencia máxima. Esto se traduce en mayor disponibilidad de potencia y respuesta inmediata a las necesidades de aceleración mejorando la experiencia de conducción.

## **Tecnología de frenado.<sup>7</sup>**

Aunque los vehículos eléctricos utilizan la misma tecnología de frenado que los vehículos de combustión interna, cabe resaltar que su uso y desgaste es mucho menor debido a la posibilidad de utilizar la tecnología de frenado regenerativo convirtiendo el motor eléctrico en un generador. Esto se traduce en mayores prestaciones en materia de autonomía, uso de frenos más pequeños y menor peso suspendido en el vehículo.

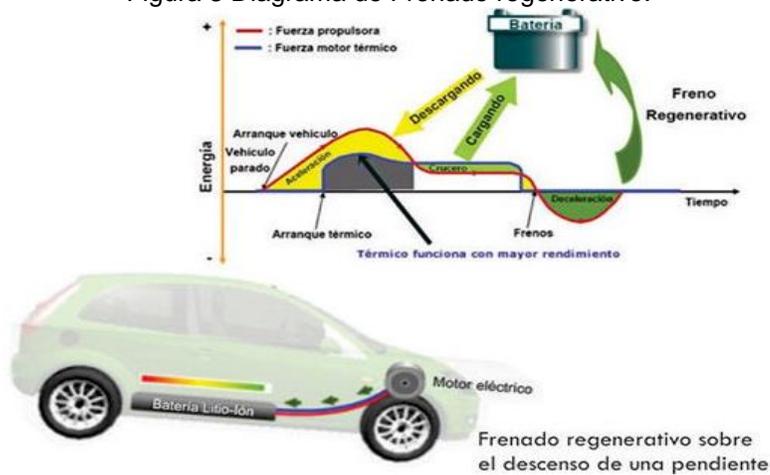
---

<sup>6</sup> RODRIGUEZ, Brais. (2011). Motor eléctrico versus motor de combustión: par, potencia y eficiencia. [en línea]. 2 de noviembre de 2011 [revisado 21 de febrero de 2019]. Disponible en: <http://forococheelectricos.com/2011/11/motor-electrico-versus-motor-de.html>

<sup>7</sup> BELTRAN, Gabriel; SANCHEZ, Abraham. Frenado regenerativo [en línea]. En: Hypatia. Revista de divulgación científico-tecnológica del gobierno del estado de Morelos. Enero- marzo, 2013, N°45. Disponible en Internet: [https://www.revistahypatia.org/~revistah/index.php?option=com\\_content&view=article&id=38&Itemid=147](https://www.revistahypatia.org/~revistah/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=147).

La tecnología de frenado regenerativo incrementa el rango de conducción del vehículo utilizando la energía cinética almacenada en las inercias rotacionales generadas en las ruedas, normalmente esta energía es disipada al ambiente al accionar el freno. Durante el proceso de frenado regenerativo el motor entra a actuar como generador absorbiendo la energía mecánica del rotor y generando un par negativo que provoca el frenado del rotor mientras la energía producida se transfiere a las baterías.

Figura 3 Diagrama de Frenado regenerativo.



Fuente: HYPATIA. Revista de divulgación científico-tecnológica del gobierno del estado de Morelos. [Imagen]. Enero- marzo, 2013, N°45

### Suavidad en la marcha y experiencia de conducción. <sup>8</sup>

Los coches eléctricos se distinguen por su tranquilidad de marcha, su sonido es prácticamente imperceptible. Poseen un motor cuya homogeneidad en el funcionamiento hace innecesario el uso de cajas de cambios o transmisiones complejas, lo que evita los típicos tirones consecuencia de los cambios de marcha. Además, los motores eléctricos entregan la potencia de forma constante en todo el

<sup>8</sup> FERNANDEZ, Sergio. ¿En qué se diferencia conducir un coche eléctrico de uno convencional? [En línea]. Circula Seguro tu publicación sobre seguridad vial. Lugar de publicación. (31 de enero de 2017). [Consultado: 23 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: <http://www.circulaseguro.com/en-que-influye-el-coche-electrico-en-la-conduccion/>.

rango de revoluciones haciendo la experiencia de conducción más confortable para el usuario.

Estas características, se traducen en una arquitectura vehicular más simple, menor peso total, menor cantidad de partes móviles y por lo tanto una mayor confiabilidad.

### **Medio Ambiente y calidad del aire. <sup>9</sup>**

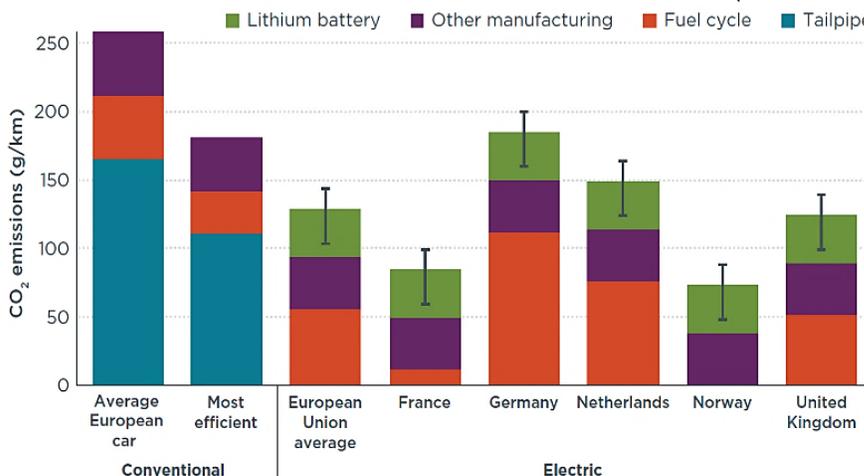
El Vehículo eléctrico no necesita del uso de combustibles fósiles para su funcionamiento durante su vida útil, utiliza energía eléctrica proveniente de la red y se desempeña realizando bajos niveles de ruido, por lo tanto, no emite gases nocivos al aire ni causa contaminación acústica, representando una opción mucho más respetuosa con el medio ambiente teniendo en cuenta la problemática de contaminación y calidad del aire actual.

Un automóvil eléctrico típico en la actualidad produce solo la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero de un automóvil de pasajeros europeo promedio. Además, un automóvil eléctrico que utiliza electricidad europea promedio es casi un 30% más limpio durante su ciclo de vida en comparación con el vehículo de motor de combustión interna más eficiente del mercado actual.

---

<sup>9</sup> HALL, Dale. LUTSEY, Nic. Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions [en línea]. En: Briefing.: Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions. Febrero, 2018, [Consultado: 25 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: [https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG\\_ICCT-Briefing\\_09022018\\_vF.pdf](https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf).

Gráfico 1 Emisiones de Gases de un iclo de vida automotriz (150.000km)



Fuente: HALL, Dale. LUTSEY, Nic. Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions [imagen]. [Consultado: 25 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: [https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG\\_ICCT-Briefing\\_09022018\\_vF.pdf](https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf).

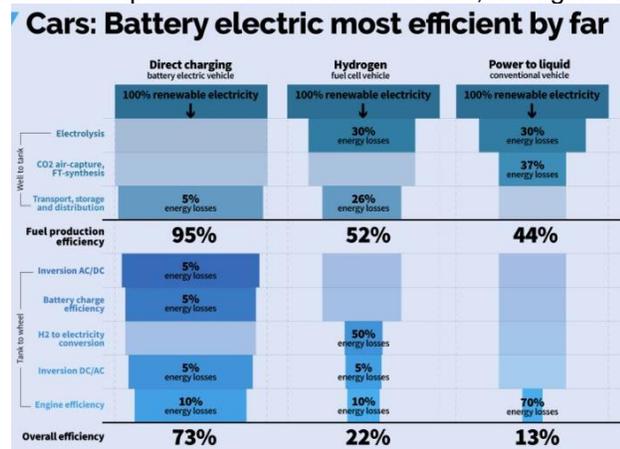
## Motores, precio y eficiencia. <sup>10</sup>

Si se comparan motores de la misma potencia nominal, eléctricos y a combustión interna, los motores eléctricos resaltan por su bajo precio y mayor confiabilidad, la ausencia de accesorios y sistemas adicionales reducen su precio y aumentan la fiabilidad en el funcionamiento.

La eficiencia de un motor eléctrico esta por alrededor del 90% frente al 30% que alcanza la mayoría de los motores de combustión interna lo que representa una ventaja absoluta en materia de utilización eficiente de la energía teniendo en cuenta el alza en los precios de los combustibles fósiles y la energía eléctrica.

<sup>10</sup> AISBL. European Federation for Transport and Environment. Efficiency Compared: Battery-Electric 73%, Hydrogen 22%, ICE 13% [En línea]. Consultado el 18 de noviembre de 2019. Disponible en: <https://insideevs.com/news/332584/efficiency-compared-battery-electric-73-hydrogen-22-ice-13/>

Figura 4 Eficiencia comparada: batería eléctrica 73%, hidrógeno 22%, ICE 13%



Fuente: European Federation for Transport and Environment AISBL [imagen]. Disponible en Internet: <https://insideevs.com/efficiency-compared-battery-electric-73-hydrogen-22-ice-13/>

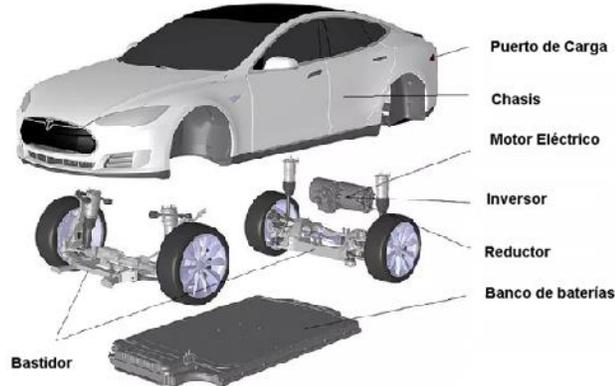
Los resultados generales muestran como los vehículos eléctricos son ampliamente más eficientes que los vehículos a combustión interna superando en 5 veces el porcentaje de eficiencia en la utilización de la energía y 3 veces la eficiencia de los vehículos impulsados por combustible de células de hidrogeno.

### 5.2.2 Componentes de un vehículo eléctrico<sup>11</sup>.

El vehículo eléctrico generalmente consta de un puerto de carga por el cual se le suministra energía eléctrica proveniente de la red para alimentar el banco de baterías o acumuladores de carga los cuales almacenan la carga en forma de energía química a un transformador de corriente que suministra a su vez al controlador de velocidad que proporcionará la potencia al motor o motores eléctricos que transformarán esta energía en energía mecánica transmitida a la cadena de tracción del vehículo.

<sup>11</sup> SIMON. El vehículo eléctrico: elementos principales y funcionamiento. [Blog]. Madrid.10 de enero de 2019. [Consultado 18 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.simonelectric.com/blog/el-vehiculo-electrico-elementos-principales-y-funcionamiento>

Figura 5 Componentes de un Vehículo eléctrico



Fuente: Autofacil.: Tesla model Simple [Imagen]. Disponible en internet: <https://www.autofacil.es/tesla/2014/05/08/probamos-tesla-model-s/18676.html>

## Baterías. <sup>12</sup>

Las baterías son uno de los componentes de mayor importancia en un vehículo eléctrico, su capacidad limita la autonomía y define el precio de este. Este dispositivo, generalmente se conforma mediante celdas agrupadas y conectadas para formar módulos, denominados “packs” o “battery packs”. Estos, se encargan de Almacenar electricidad proveniente de la red por medio del cargador, suministrar al motor de tracción la potencia y energía necesarias para generar el movimiento del vehículo bajo las condiciones nominales, recibir y almacenar la energía proveniente del sistema de frenado regenerativo.

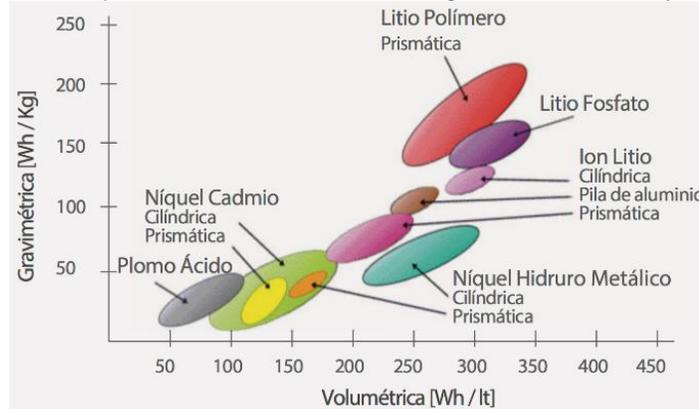
La potencia de una batería es la cantidad de amperaje que puede suministrar una celda durante el proceso de descarga, aunque las baterías poseen una menor densidad energéticas comparadas con los derivados del petróleo, poseen una capacidad muy alta para entregar grandes cantidades de corriente durante cortos

---

<sup>12</sup> AMETIC. Proyecto: Estudio de viabilidad previo al diseño de un esquema de logística, tratamiento y reciclado de baterías de vehículos eléctricos e híbridos al fin de su vida útil [en línea]. 2012. Disponible en internet: [https://ametic.es/sites/default/files//media/Anexo1\\_Estudio\\_bat\\_estado\\_arte%20%281%29.pdf](https://ametic.es/sites/default/files//media/Anexo1_Estudio_bat_estado_arte%20%281%29.pdf).

periodos de tiempo y entregar potencias muy grandes de forma puntual con gran eficiencia.<sup>13</sup>

Gráfico 2 Comparación de la densidad energética volumétrica y de peso.



Fuente: LAWSON, Barrie. Densidad energética de células secundarias [Imagen]. En: Baterías.: la segunda revolución de la energía Disponible en internet : <https://www.phineal.com/es/baterias-la-siguiente-revolucion-de-la-energia/>

La mayoría de las baterías poseen alta eficiencia energética. Las baterías de Litio-ión poseen una eficiencia de cerca del 90%, frente a un 82% de las baterías de Plomo-ácido y 70% de las de NiMH.<sup>14</sup>

La capacidad de una batería se mide en términos de densidad energética, esta medida indica la cantidad de energía que puede suministrar la batería por cada kilogramo de peso o unidad de volumen en Litros. A mayor densidad energética mayor autonomía y menor peso tendrá el vehículo. Se expresa en Watts hora/ Kg o en Watts hora/ L.<sup>15</sup>

<sup>13</sup> VEGA, Juan. Principios y aplicaciones de la energía fotovoltaica y de las baterías. Santiago de Chile: Ediciones UC, 2018. ISBN: 9789561423305.

<sup>14</sup> GONZALEZ, Cesar. Análisis técnico de los diferentes tipos de baterías comercialmente disponibles para su integración en el proyecto de una micro red aislada. [en línea] Proyecto de grado en modalidad monografía, presentada como requisito para optar el título de: Ingeniero Eléctrico. Bogotá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad De Ingeniería. 2015. 89p. [Consultado: 27 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: <http://bit.ly/358Xo94>

<sup>15</sup> ELECTROMOVILIDAD. Movilidad eléctrica: espacio sostenible. [sitio web]. Madrid; [Consultado 19 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://electromovilidad.net/contacto-electromovilidad/>.

El proceso de carga y descarga completa de una batería es denominado ciclo de vida, este término significa el número de cargas y descargas completas que puede soportar antes de perder un porcentaje de carga considerable de su capacidad nominal (valores alrededor del 80% nominal) o presentar problemas en su funcionamiento. Actualmente, los fabricantes de baterías de ion de litio para tracción de vehículos eléctricos ofrecen como garantía 3000 ciclos de carga, una vida de aproximadamente 8 años realizando una descarga diaria.<sup>16</sup>

### **Motor eléctrico.<sup>17</sup>**

Un motor eléctrico es un dispositivo que convierte energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Esta máquina eléctrica contiene un circuito magnético y dos eléctricos, uno presente en la parte fija o estator y otro en la parte móvil o rotor.

Existen diferentes tipos de motores eléctricos, dependiendo del tipo de corriente utilizada para su alimentación el motor eléctrico puede ser DC (motor de corriente continua) o AC (motor de corriente alterna), su diferencia radica en la forma de alimentación desde la batería.

Para este trabajo solo se tuvo en cuenta los tipos de motores usados comercialmente en dispositivos de tracción vehicular.

### **Motores de tracción para vehículos eléctricos<sup>18</sup>**

---

<sup>16</sup> FONSECA, Jaime H. Celdas, pilas y baterías de Ion-Litio una alternativa para...? [en línea]. En: Journal Boliviano de Ciencias, 2011, vol. 8, nº 22, pp. 40-47. Consultado [21 de febrero de 2019]. Disponible en internet: <https://es.scribd.com/document/104016334/Celdas-Baterias-y-Pilas-de-Litio>.

<sup>17</sup> CHAPMAN, Stephen. Maquinas eléctricas. 5a ed. México DF. 2012.: McGraw-Hill. ISBN: 9786071507242. Disponible en internet: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>

<sup>18</sup> EHSANI, Mehrdad.; GAO, Yimin; ALI, Emadi, A. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. Texas.: CRC Press, (2005). p.137.

El motor junto con la batería son los pilares de la arquitectura del vehículo eléctrico, son el conjunto más importante dentro de los componentes principales ya que definen directamente sus prestaciones y autonomía. Existen varios tipos de motores eléctricos para el uso en tracción vehicular, cada uno de ellos está diseñado para condiciones de desempeño específicas, por lo tanto, es necesario definir y analizar las prestaciones y limitaciones de cada uno de los tipos de motor para seleccionarlo en una aplicación que permita alcanzar las mejores condiciones de desempeño.

### **Características del motor eléctrico para tracción vehicular <sup>19</sup>**

Los requerimientos generales del motor eléctrico para la tracción de un vehículo eléctrico o híbrido son: robustez, alta densidad de par y de potencia, alto par constante en el arranque a bajas y altas revoluciones, amplio rango de velocidades, soporte frente a arranques y paradas frecuentes. bajo ruido, bajas emisiones electromagnéticas, operación en diferentes entornos y condiciones climáticas.

Existen tres tipos de motores eléctricos que son adecuados para aplicaciones de EV, HEV y FCV: motor síncrono o motores sin escobillas, los motores de inducción; y, los motores de reluctancia<sup>20</sup>.

### **Motor de corriente continua DC<sup>21</sup>**

El funcionamiento del motor DC se basa en el principio físico sobre la fuerza que se produce sobre un conductor eléctrico recorrido por una intensidad de corriente eléctrica en el seno de un campo magnético según la ley de Lorentz. Un electroimán situado en el eje del motor interactúa con un imán permanente adherido a la carcasa

---

<sup>19</sup> Ibid., p. 139.

<sup>20</sup> PROCHAZKA, Petr.; PAZDERA, Ivo.; VOREL, Pavel.; CERVINKA, Dalibor. (SPEEDAM), International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion: Design of small electric car. [en línea]. Almagu: SPEEDAM.2012.

<sup>21</sup> Principios de funcionamiento del motor de corriente continua. [en línea]. Automatismo industrial. WordPress. [Consultado 15 de marzo de 2019]. Disponible en Internet: <https://automatismoiindustrial.wordpress.com/motores/1-3-5-motores-de-corriente-continua/1-3-5-2-principios-de-funcionamiento/>

generando una repulsión magnética entre estos que se convierte en par de giro sobre el rotor.

Ecuación 1 Ley de Lorentz

$$F = B * L * I$$

En la que:

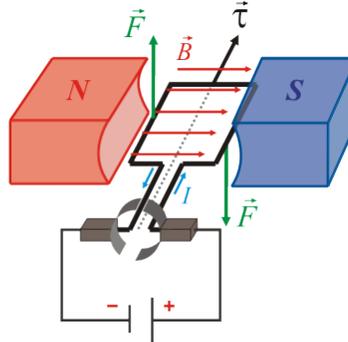
B= La inducción de campo magnético (teslas).

L= La longitud del conductor cortado por líneas de campo magnético (metros).

I =La intensidad que recorre al conductor (amperios).

F es la fuerza que se produce sobre el conductor (newton).

Figura 6 Esquema de funcionamiento básico del motor de corriente continua.



Fuente: Principios de funcionamiento del motor de corriente continua. Esquema motor de corriente continua. [Imagen]. Automatismo industrial formación para la industria. [Consultado: 15 de marzo de 2019]. Disponible en Internet: <https://automatismoindustrial.wordpress.com/motores/1-3-5-motores-de-corriente-continua/1-3-5-2-principios-de-funcionamiento/>

## Ventajas y desventajas del motor DC <sup>22</sup>

Los motores de corriente continua son máquinas fáciles de controlar con equipos electrónicos adecuados, permiten realizar control preciso sobre posición y velocidad lo que los hace los más utilizados en máquinas de par y velocidad variable. Poseen

---

<sup>22</sup> PERNIA, Marino. Conceptos Básicos de Máquinas de corriente continua. 2011 [Consultado 16 de marzo de 2019]. Disponible en Internet: [https://www.researchgate.net/profile/Marino\\_Pernia/publication/235752021\\_Conceptos\\_Basicos\\_de\\_Maquinas\\_de\\_corriente\\_continua/links/0912f5131e8e23bfa1000000/Conceptos-Basicos-de-Maquinas-de-corriente-continua.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marino_Pernia/publication/235752021_Conceptos_Basicos_de_Maquinas_de_corriente_continua/links/0912f5131e8e23bfa1000000/Conceptos-Basicos-de-Maquinas-de-corriente-continua.pdf)

un par de arranque elevado y preciso sin importar su tamaño y una amplia gama de regímenes o velocidades de giro.

Su rendimiento y eficiencia energética es mayor al 90%. Admiten inversión de giro en condiciones de carga con gran inercia devolviendo la energía a la línea actuando como generador lo que se considera un frenado especial.

Al funcionar con corriente directa se hace innecesario utilizar un inversor de corriente dentro del diseño de la arquitectura vehicular. Mantiene un rendimiento alto en un amplio margen de velocidades, lo que junto con su alta capacidad de sobrecarga lo hace más apropiado que el de corriente alterna para muchas aplicaciones.

Entre sus desventajas se puede evidenciar en el mercado que su costo es elevado frente a los precios de motores de inducción de sus mismos valores nominales, así como los elementos de control de arranque y velocidades son muy específicos y de alta complejidad, también presentan alguna inestabilidad con la variación de la carga.

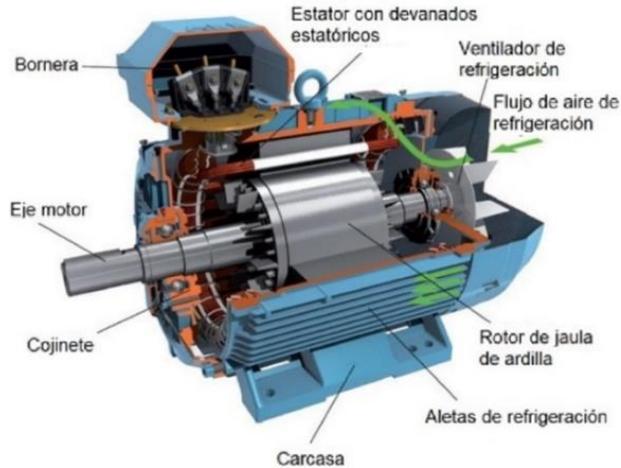
### **Motor asíncrono o de inducción <sup>23</sup>**

Los motores asíncronos o de inducción son un tipo de motor de corriente alterna en el que se utiliza la inducción electromagnética del campo magnético de la bobina del estator para producir torsión en el rotor. Debido a esta característica general de funcionamiento no es necesario realizar una conmutación mecánica como se realiza en los motores universales, motores DC y motores grandes síncronos.

---

<sup>23</sup> ROLDÁN, José. Motores eléctricos: Automatismos de control. 9ª Ed. Madrid: Paraninfo, 2008. ISBN 9788428328982.

Figura 7. Motor asincrono de rotor tipo jaula de ardilla.



Fuente: Partes del motor asincrono. [Imagen]. Maquinas Electricas. [Consultado: 1 de abril de 2019]. Disponible en Internet: <https://maquinaselectricasblog.wordpress.com/partes-del-motor-sincrono/>.

### **Ventajas y desventajas del motor de inducción<sup>24</sup>**

Su mayor ventaja radica en su robustez y simplicidad. Al poseer únicamente una parte móvil, su rotor, su mantenimiento es muy bajo, son mecánicamente fáciles de construir y por lo tanto su precio es económico frente a otros tipos de motores.

En el caso de los motores trifásicos, no necesitan arrancadores, es decir que arrancan por sí solos al ser conectados a la red trifásica de alimentación. No se ven sometidos a vibraciones por efecto de la transformación de energía eléctrica en mecánica, ya que la potencia instantánea absorbida por una carga trifásica es constante e igual a la potencia activa.

Por otro lado, hay que mencionar que entre sus desventajas resalta su bajo par de arranque, el torque de arranque generado es menor en comparación a otros motores eléctricos y presentan una zona de inestabilidad a bajas velocidades haciendo que su control eléctrico en rangos amplios sea complejo.

---

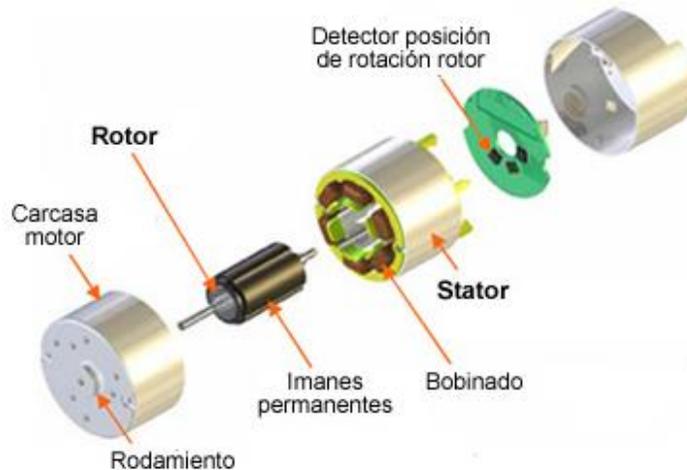
<sup>24</sup> ENRIQUEZ, Gilberto. Curso de transformadores y motores de inducción. 4ª ed. México: Limusa, 2005. ISBN: 968-18-5993-6.

## Motor síncrono de imanes permanentes<sup>25</sup>

Los motores de imanes permanentes son un desarrollo tecnológico que permite combinar la alta precisión que ofrecen los motores síncronos con la robustez y simplicidad en el diseño de los motores de inducción asincrónicos jaula de ardilla. Son máquinas eléctricas capaces de generar alto torque a baja velocidad, eliminando así la necesidad de utilizar cajas de reducción.

En su rotor poseen imanes de ferrita u otros materiales como el neodimio que optimizan el rendimiento energético y la densidad de potencia en un rango del 25% a 100% más que los motores de inducción convencionales. Adicionalmente, poseen un regulador electrónico que realiza la conmutación de la corriente, este se encarga de ajustar el par de salida y el arranque del motor agregando una función reguladora que no está presente en los motores de inducción.

Figura 8. Despiece de un motor eléctrico síncrono de imanes permanentes.



Fuente: Partes del motor síncrono de imanes permanentes . [Imagen]. Aficionados a la mecánica. [Consultado: 1 de abril de 2019]. Disponible en Internet: [http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico\\_control.htm](http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico_control.htm)

---

<sup>25</sup> FAIIE. La tecnología de los motores de imanes permanentes [en línea]. En: Revista de Ingeniería Dyna 2006. (noviembre), 2014, [Consultado: 1 de abril de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.dynapubli.com/noticias-PD/la-tecnologia-de-motores-de-imites-permanentes>.

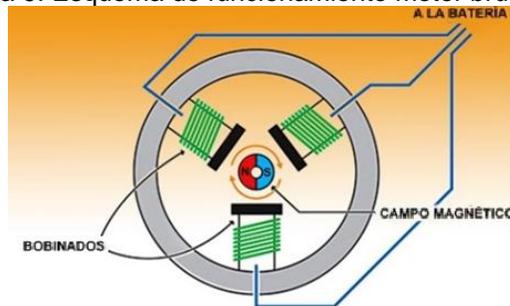
## Ventajas y desventajas de un motor síncrono de imanes permanentes<sup>26</sup>

Entre las ventajas del motor síncrono de imanes permanentes se destacan: par suave, bajo nivel de ruido y vibraciones, operan a cualquier velocidad sin ventilación independiente, sincronismo preciso que permite la regulación y control de precisa de la velocidad, densidad de potencia elevada, menor pérdida energética (entre 15% y 20% menor que las del motor de inducción), su tamaño en comparación con sus homólogos de inducción es un 46% menor y su peso se reduce hasta en 36%.

## Motores eléctricos sin escobillas (Brushless)<sup>27</sup>

Los motores brushless son máquinas eléctricas que no emplean escobillas durante el cambio de polaridad en el rotor, en su parte móvil denominada rotor se encuentran adheridos imanes permanentes y en su parte fija o estator se encuentra el bobinado o electroimán.

Figura 9. Esquema de funcionamiento motor brushless



Fuente: Tecnología brushless . [Imagen]. De máquinas y herramientas. [Consultado: 1 de abril de 2019]. Disponible en Internet: <http://bit.ly/2QyfpJL>

El motor sin escobillas funciona de manera similar a los motores que las incluyen, cuando el devanado del motor se energiza, se genera un campo magnético

<sup>26</sup> *Electro industria: Soluciones tecnológicas para la minería, Energía e Industria*. Santiago de Chile: Microbyte, Enero, 2008. [Consultado: día 19 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=885l>. ISSN: 0718-3445.

<sup>27</sup> MCMA. What is a Brushless DC Motor and How Does It Work? [ blog]. Motion control & motors. Ann Arbor: 20 de Marzo de 2018. [Consultado: 19 de noviembre de 2019].

perpendicular al campo generado por los imanes permanentes. Como resultado de esta interacción magnética se genera la rotación del eje accionando el motor, en ese instante la corriente es dirigida hacia los grupos de devanado manteniendo, por lo tanto, la atracción y repulsión electromotriz que mantiene el movimiento continuo de rotación en el eje. La conmutación se realiza mediante la acción de un circuito electrónico y un grupo de sensores que dentro del motor suministran energía a los devanados en función de la posición del eje.

### **Ventajas y desventajas de los motores brushless<sup>28</sup>**

Los motores brushless en comparación a los motores con carbonillos son silenciosos, livianos, compactos, potentes y de mayor velocidad de trabajo. No presentan las caídas de voltaje lo que alarga su vida útil. Poseen mayor eficiencia energética debido a sus mínimas pérdidas de calor, su relación par motor/velocidad es casi una constante, no posee limitaciones mecánicas por lo tanto presenta rangos elevados de velocidades, menor ruido electrónico.

Como desventaja cabe resaltar su costo elevado y su complejo control electrónico, que en la mayoría de las ocasiones duplica el costo del motor.

### **Motores de flujo axial<sup>29</sup>**

En este tipo de motor el flujo no es rotatorio radial sino axial, un campo magnético es generado por el devanado inductor de forma paralela al eje de giro del motor, este campo magnético, rota de forma concéntrica a su eje.

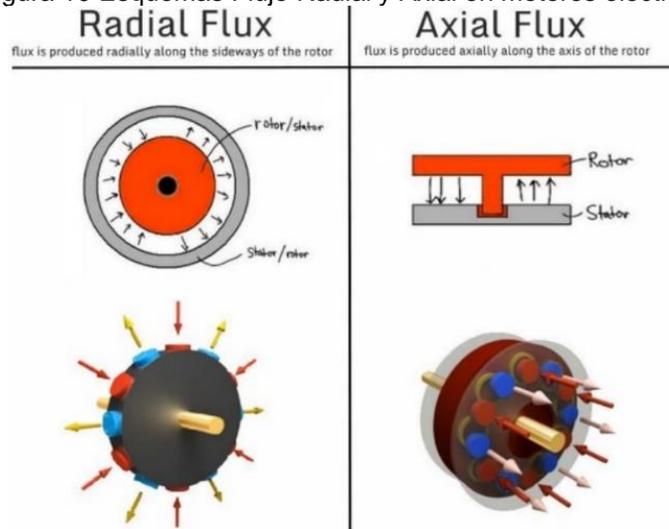
---

<sup>28</sup> GONZALES, Luis. Motores eléctricos de inducción vs motores de corriente continua. [En línea]. Foro coches eléctricos. Madrid. (14 de Marzo de 2014). [Consultado 19 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://forococheselectricos.com/2014/03/motores-electricos-de-induccion-vs-motores-de-corriente-continua.html>

<sup>29</sup> MOREELS, Daan; LEIJNEN, Peter. High efficiency axial flux machines: Why Axial Flux Motor and Generator Technology Will Drive the Next Generation of Electric Machines. En: Magnax. [sitio web]. Cortrique: Magnax. 12 de Noviembre de 2018. [Consultado: 19 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://bit.ly/2NZR4ei>.

En los motores axiales el estator posee forma de anillo y el rotor o rotores se ensamblan en forma de discos paralelos. Su geometría permite distribuir mejor la cantidad de la sección de bobinado activo, el cobre utilizado en los bobinados es de sección rectangular y únicamente un 10% del interior sin cobre cuando en un motor de tipo radial generalmente un 50% del cobre se encuentra inactivo.

Figura 10 Esquemas Flujo Radial y Axial en motores electricos



Fuente: Flujo Axial vs flujo Radial. [Imagen]. De Magnax technology. [Consultado: 1 de abril de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.magnax.com/magnax-blog/axial-flux-vs-radial-flux.-4-reasons-why-does-axial-flux-machines-deliver-a-higher-power-density>

### Ventajas y desventajas de motores de flujo axial <sup>30</sup>

En los motores de flujo axial se destacan: su alta densidades de par motor a bajas revoluciones, alta eficiencia energética (alrededor del 96%), integración directa a la rueda motriz del vehículo optimizando el espacio y simplificando los acoplamientos mecánicos entre el motor y la rueda, tamaño reducido en comparación con otro tipo de motores que poseen el mismo rendimiento.

<sup>30</sup> Motor eléctrico de flujo axial Magnax más potencia menor tamaño. [en línea]. Electro movilidad. [Consultado: 22 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: <http://electromovilidad.net/motor-electrico-de-flujo-axial-magnax-mas-potencia-menor-tamano/>

Entre las desventajas está la generación de esfuerzos radiales sobre los cojinetes del eje, aunque esto ha sido solucionado por una nueva tecnología que ubica dos rotores opuestos que anulan estos esfuerzos. Sus costos son mucho más altos que otros tipos de motores. Al tratarse de una tecnología relativamente nueva se espera que su masificación baje los costos de producción.

### **Cargador.<sup>31</sup>**

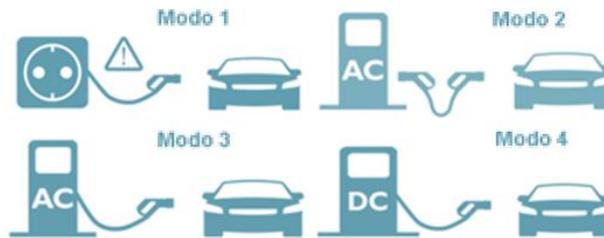
El cargador o transformador convertidor es un elemento que toma la electricidad de forma alterna directamente desde la red y la transforma en corriente continua transfiriéndola así a la batería principal. Existen múltiples opciones de carga y se tiene normativa de la (IEC) La Comisión Electrotécnica Internacional 62196 para estos dispositivos, estándar internacional para el conjunto de conectores eléctricos y los modos de carga para vehículos eléctricos, e IEC 61851, estándar internacional para el sistema de carga conductiva del vehículo eléctrico.

Las baterías de un vehículo eléctrico tienen cuatro modos operativos de carga: tres en corriente alterna (AC) y uno en corriente continua (DC). Para poder seleccionar el tipo de cargador es necesario comprender y establecer el modo operativo de carga óptimo, habiendo normalizados modos de carga para corriente alterna y uno para corriente continua.

---

<sup>31</sup> DE ARAGON, Esther. Modos y tipos de carga de un vehículo eléctrico [en línea]. Movilidad Eléctrica. Madrid. (27 de Julio de 2018), [Consultado: 2 de abril de 2018]. Disponible en Internet: <https://movilidadelectrica.com/modos-y-tipos-de-carga-de-un-vehiculo-electrico/>.

Figura 11 Modos Operativos de Carga



Fuente: Modos operativos de carga. [Imagen]. De Movilidad eléctrica. [Consultado: 2 de abril de 2019]. Disponible en Internet: <https://movilidadelectrica.com/modos-y-tipos-de-carga-de-un-vehiculo-electrico/>

Los modos de carga se subdividen por tipo de corriente de alimentación y capacidad de carga. En corriente alterna se encuentra el conector tipo 1; un dispositivo enchufable normalizado a la red doméstica (16 Amperios y hasta 250 voltios) que ofrece en acometida monofásica 3,7kW de potencia de entrega y en red trifásica hasta 11kW. Luego se establece un nivel intermedio de carga en el cual se utiliza un conector tipo 2 (Mennekes o ChadeMo) que contiene un elemento de seguridad a la descarga y entrega una intensidad de 16 hasta 32 amperios. Por último, se encuentra un modo operativo de carga semi - rápida, encontrado comúnmente en coches eléctricos comerciales, la intensidad normal de este modo es de 32 amperios -aunque permite hasta 63 y la potencia normal es de entre 8 y 14 kW en red monofásica y una intensidad es de 63 amperios y de entre 22 y 43 kW.

El modo de carga en corriente continua es llamado comúnmente “electrolinera”, debido a las cargas elevadas que se transfieren. La intensidad y el voltaje eléctricos que se obtiene en estos sistemas están desde los 600 voltios y de hasta 400 amperios la y potencia máxima es de entre 125 y 240 kW. Este tipo de carga necesita la adecuación de la red eléctrica existente, por lo que los tipos de infraestructuras para el mismo, de momento, resultan muy costosas.

## **Chasis.<sup>32</sup>**

Es un componente estructural del vehículo, regularmente se denomina bastidor automotriz y está compuesto por un marco o armazón metálico generalmente hecho de hierro, acero u otros metales y aleaciones de altas prestaciones en términos de dureza y resistencia ), sobre este se enlazan los principales sistemas y elementos del vehículo como el sistema de tracción, frenado y control brindando rigidez y soporte, generalmente está constituido por dos elementos de alta resistencia llamados largueros y varios travesaños asegurados transversalmente. El chasis hace sostén de la mayor parte del vehículo, la masa suspendida, (motor, transmisión, carrocería, dirección) entre otros.

Además de su función de soporte, el chasis debe ofrecer seguridad evitando en condiciones de impacto deformaciones que pongan en riesgo la integridad de los ocupantes del vehículo absorbiendo la mayor cantidad de energía posible protegiendo el habitáculo.

Teniendo en cuenta su clasificación general; cuando el chasis hace parte de la carrocería se denomina monocasco o chasis auto portante, cuando está compuesta sólo por secciones de tubería unidas, se denomina tubular o independiente sobre bastidores.

## **Bastidor independiente<sup>33</sup>**

El bastidor independiente se conforma por secciones longitudinales de acero que se denominan largueros unidas con secciones más cortas denominadas travesaños

---

<sup>32</sup> TIXCE, Christian. El chasis automotriz y su evolución; Conozca los diferentes tipos de bastidores y su uso en la actualidad. [en línea]. Motor y Racing. Ciudad de México. 02 de julio de 2017, [Consultado: 4 de abril de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.motoryracing.com/coches/noticias/chasis-automotriz-y-su-evolucion>

<sup>33</sup> RODRIGUEZ, Hermenegildo, El Bastidor de los Vehículos [en línea]. Inge mecánica. Sevilla. [Consultado: 13 de abril de 2019]. Disponible en Internet: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn69.html>.

mediante pernos o soldadura brindando alta rigidez, resistencia y una base para la incorporación de los elementos mecánicos del vehículo, su carrocería a medida que absorbe los esfuerzos transmitidos por la marcha o movimiento del vehículo.

El bastidor independiente es diseñado de acuerdo con la tipología y función de uso requerido, debe poseer alta resistencia, soportar distribuciones especiales de carga, así como cumplir con las distribuciones de espacio propias de cada tipo de vehículo. De estas especificaciones se derivan otros tipos de bastidores ya establecidos por la industria.

Figura 12 Bastidor Independiente



Fuente: MORALES, Tomás; NAVARRO, José Martín; AGUEDA, Eduardo; GARCIA, Jose Luis,. Conjunto de carrocería y chasis separados [Imagen]. Estructuras del vehículo. 2da Edición. Madrid: Ediciones Paraninfo . 2011.

### **Bastidor Tubular<sup>34</sup>**

El bastidor tubular es básicamente un entramado estructural de barras o elementos tubulares de secciones que pueden ser circulares, ovaladas o cuadradas entre otras. Su diseño está encaminado a aligerar el peso del vehículo y brindar protección contra choques debido a su rigidez estructural.

---

<sup>34</sup> *Ibíd.*, p. 35.

Su construcción es generalmente realizada a partir de tubos en forma de jaula, a los cuales se anclan directamente los elementos del automóvil a través de un sub-bastidor.

Figura 13 Bastidor Tubular



Fuente: RODRIGUEZ, Hermenegildo. Bastidor Tubular [imagen]. Ingemecanica:. [Consultado: 5 de mayo de 2019]. Disponible en Internet:<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn69.html>

### **Carrocería autoportante<sup>35</sup>**

La carrocería autoportante es el tipo más usado actualmente por los fabricantes automotrices ya que permite la producción económica en serie, es conformada por una sola pieza que contiene la estructura y bastidor. Se genera a partir de la unión de diferentes elementos de tipo chapa metálica unidos por soldadura en forma de caja proporcionando gran rigidez, bajo centro de gravedad, ligereza y estabilidad.

Figura 14 Carrocería Autoportante



Fuente: RODRIGUEZ, Hermenegildo. Carrocería Autoportante [imagen]. Ingemecanica:. [Consultado: 5 de mayo de 2019]. Disponible en internet:<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn69.html>

---

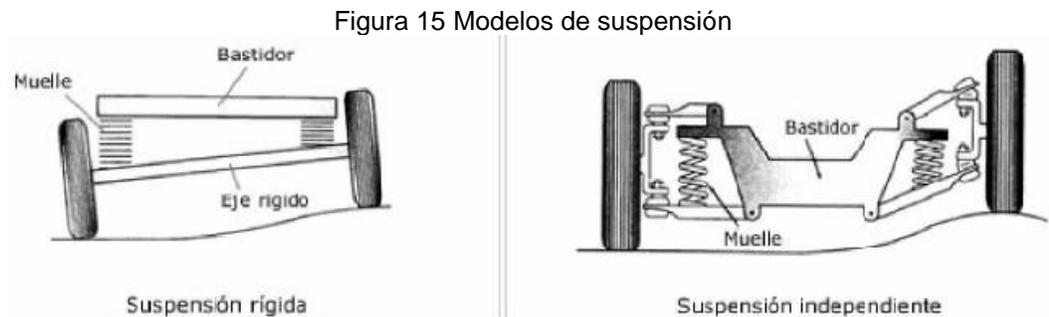
<sup>35</sup> Ibíd., p. 37.

## Suspensión automotriz.<sup>36</sup>

La suspensión automotriz es el conjunto de elementos que mitiga las reacciones producidas en las ruedas por los cambios de nivel y forma del terreno transitado, asegurando el confort del conductor y pasajeros del vehículo. Adicionalmente la suspensión vehicular debe poder transmitir y resistir las reacciones de aceleración y frenado de las ruedas al bastidor, controlar los efectos de las curvas conservando la dirección y balance del vehículo en el camino soportando las cargas sobre este.

## Clasificación de las suspensiones.<sup>37</sup>

Las suspensiones vehiculares se clasifican según permitan el movimiento relativo o independiente de sus llantas, es así como se pueden dividir en tres grupos: suspensiones rígidas, suspensiones semirrígidas y suspensiones independientes.



<sup>36</sup> Luque, Pablo; et al. Ingeniería del automóvil. sistemas y comportamiento dinámico. Madrid: Paraninfo S.A., 2012. p 101.

<sup>37</sup> ARELLANO, Claudio. Manual Modulo A-5: Sistemas de suspensión y dirección del automóvil. Talca: Centro educativo Salesianos Talca. 2012.p 22.

## Suspensiones rígidas<sup>38</sup>

La suspensión rígida une las ruedas en conjunto a través de un eje rígido. Esto provoca que las vibraciones y cambios de nivel transmitidos por las ruedas se manifiesten de un lado al otro del eje. Aunque el diseño de sus ejes es muy sencillo posee un gran peso debido a su tamaño y dimensiones del diferencial automotriz del eje de tracción.

El uso de esta suspensión generalmente se destina a, autobuses, camiones y vehículos todo terreno o de carga.



Fuente: ARELLANO, Claudio. Suspension de eje rigido propulsor. [imagen]. Sistemas de suspensión y dirección del automóvil.

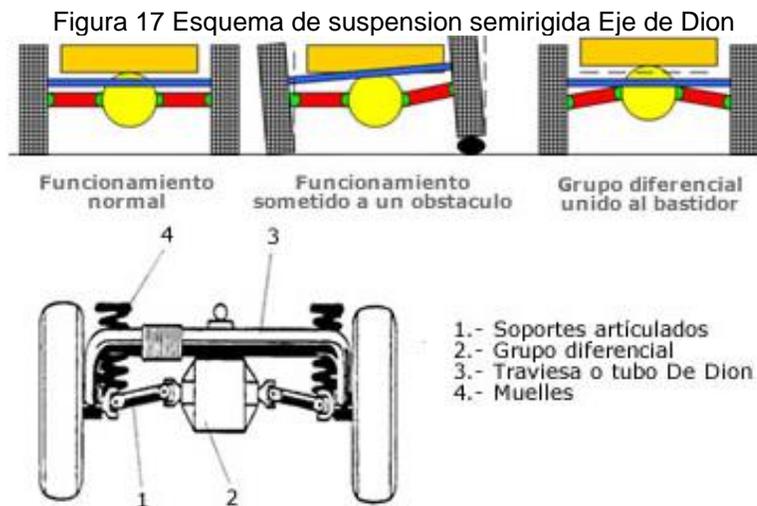
## Suspensiones semirrígidas<sup>39</sup>

Las suspensiones semirrígidas presentan gran similitud con su homologas de eje rígido, se diferencian principalmente en que transmiten de forma parcial las vibraciones y cambios de nivel de las ruedas. Es decir, no se trata de una suspensión rígida pero tampoco de una independiente. El componente motriz es independiente a la suspensión por lo que diferencial está conectado al bastidor y no es soportado por la suspensión.

---

<sup>38</sup> *Ibíd.*, p. 23.

<sup>39</sup> *Ibíd.*, p. 24.



Fuente: ARELLANO, Claudio. Suspensión Semirrigida. [imagen]. Sistemas de suspensión y dirección del automóvil.

En la configuración de este tipo de suspensión se unen las ruedas mediante soportes articulados al diferencial automotriz haciéndose parte de la masa suspendida, es decir, el conjunto se ancla al bastidor transmitiendo el par motor a las ruedas a través de dos semiejes (palieres) de igual manera que en las suspensiones independientes. Adicionalmente se conectan las ruedas a través de un tubo De Dion que las une con rigidez permitiendo el movimiento longitudinal.

### Suspensiones independientes <sup>40</sup>

La suspensión independiente es la de mayor uso en la actualidad. su confort, estabilidad, y capacidad de absorber de forma independiente las vibraciones sin transmitir las de una rueda a otra del mismo eje la convierten en la mejor opción para el vehículo comercial. Su principal ventaja radica en que posee un menor peso no suspendido, minimizando las cargas transmitidas al bastidor o carrocería.

<sup>40</sup> LUQUE, Op. cit., p. 124.

Existen variados modelos de suspensiones independientes, para el diseño del vehículo se exploran las dos opciones de mayor facilidad de construcción y uso común en la industria:

- Suspensión McPherson.
- Suspensión de paralelogramo deformable.

### **Suspensión McPherson<sup>41</sup>**

La suspensión tipo McPherson es el sistema más popular para ejes delanteros de vehículos comerciales. Su diseño simple permite procesos de fabricación y mantenimiento de bajo coste lo que ha popularizado su uso en la industria. Se conforma a partir de un mecanismo de triángulo articulado formado por el conjunto muelle-amortiguador, brazo inferior y el propio chasis.

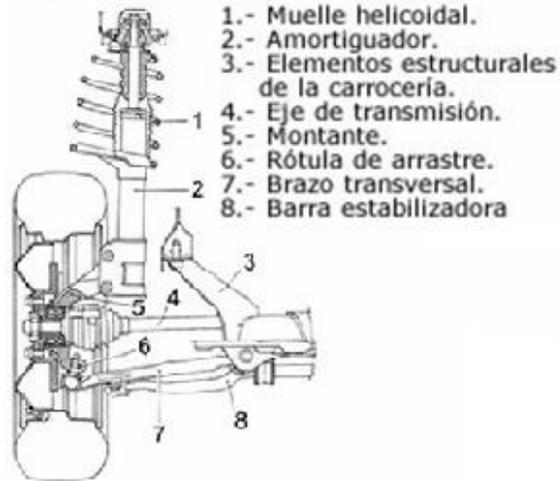
El componente muelle-amortiguador es un elemento de compresión libre con un grado de libertad definido por el movimiento en tracción o compresión de los elementos elásticos y amortiguador y todos sus esfuerzos son transmitidos únicamente a la carrocería por lo cual es necesario un dimensionado más rígido de los puntos de apoyo de esta.

Existen elementos que complementan la suspensión McPherson, es común encontrar una barra estabilizadora unida al brazo inferior mediante una bieleta y al bastidor mediante un casquillo.

---

<sup>41</sup> ARELLANO, Op. cit., p. 52.

Figura 18 Esquema de suspensión McPhearson

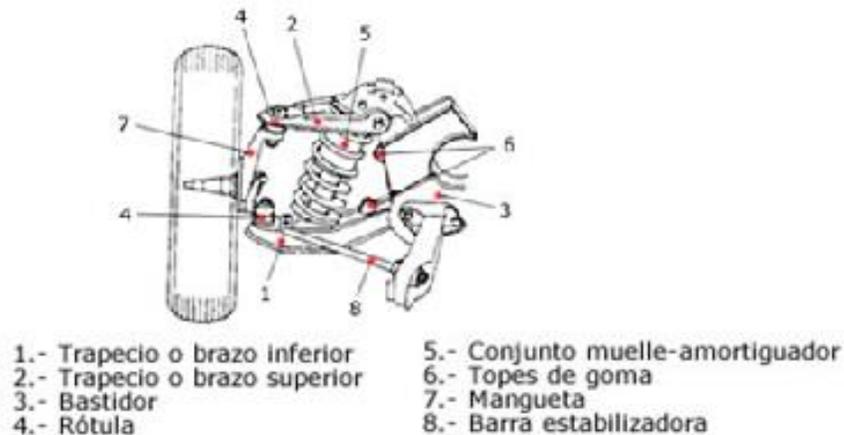


Fuente: ARELLANO, Claudio. Esquema de suspension Mcphearson. [imagen]. Sistemas de suspensión y dirección del automóvil.

## Suspensión de paralelogramo deformable<sup>42</sup>

La suspensión de paralelogramo deformable es también conocida como suspensión por trapecio articulado o suspensión de triángulos superpuestos.

Figura 19 Suspensión de paralelogramo deformable



Fuente: ARELLANO, Claudio. Esquema de suspension paralelograma deformable. [imagen]. Sistemas de suspensión y dirección del automóvil.

<sup>42</sup> LUQUE, Op. cit., p. 137.

Se conforma a partir de un par de brazos (inferior y superior) que, se conectan por medio de pivotes, completando un paralelogramo entre el chasis y la mangueta de la rueda. La conexión entre la mangueta y los brazos se realiza mediante punteras tipo rotula permitiendo la orientación de la rueda. El componente elástico del sistema suele ser un amortiguador coaxial con muelle helicoidal y telescopio hidráulico y su desplazamiento es limitado por unos topes o estabilizadores que impiden sobrepasar su límite elástico.

### **Sistema de dirección.** <sup>43</sup>

El sistema de dirección del vehículo permite que el conductor dirija y controle de manera precisa el movimiento de las ruedas directrices durante los desplazamientos. Esto se logra generalmente por medio de un conjunto de mecanismos (eje volante, palanca y barras), enlazados entre el volante y las ruedas.

Existen dos disposiciones generales para el sistema de dirección; uno para eje delantero rígido y otro para el tren delantero de suspensión independiente. Sin embargo, para el diseño del vehículo sólo se abordará el sistema de eje independiente ya que el sistema de dirección de eje rígido solo está destinado a vehículos de gran capacidad de carga.

### **Sistema de dirección para tren delantero de suspensión independiente**<sup>44</sup>

En un vehículo que porta una suspensión independiente, se presenta la necesidad de mantener la dirección de las ruedas siempre en el rumbo correcto sin importar si se presentan irregularidades en el terreno. Para conseguirlo, un engranaje interno en la barra hace desplazar transversalmente un brazo conectado a una palanca

---

<sup>43</sup> ARELLANO, Op. cit., p.74.

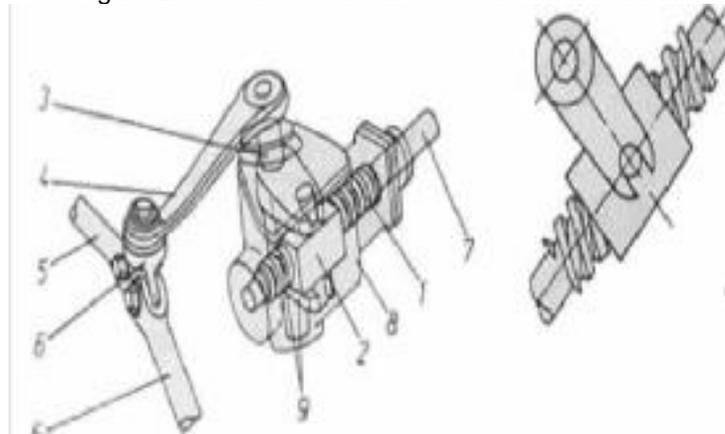
<sup>44</sup> ARELLANO, Op. cit., p.77.

oscilante situado en el bastidor a su vez el giro del volante de la dirección es realizado y transferido por un mecanismo presente en la caja de dirección efectuando una desmultiplicación del giro recibido, esto con el fin de orientar las ruedas con un pequeño esfuerzo sobre el volante. Existen varios mecanismos para transmitir este giro y entre los principales se encuentra el mecanismo tornillo sin fin y la conexión piñón cremallera.

### **Mecanismo de dirección de Tornillo sinfín <sup>45</sup>**

Este mecanismo de dirección se conforma a partir de un tornillo engranado a una rueda dentada unida al volante por medio de la columna de dirección, y a las ruedas mediante el brazo de mando. A través de este conjunto de mecanismos el giro del volante se transforma en un ángulo de giro de la rueda permitiendo la orientación del vehículo.

Figura 20 Mecanismo de dirección de tornillo sinfín.



Fuente: ARELLANO, Claudio. Mecanismos de dirección de tornillo sinfín. [imagen]. Sistemas de suspensión y dirección del automóvil.

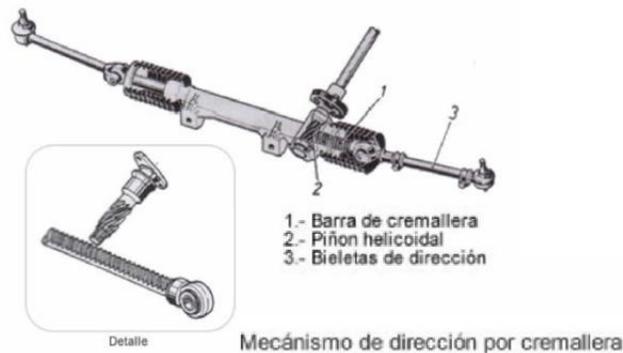
---

<sup>45</sup> ARELLANO, Op. cit., p.78.

## Mecanismo de dirección de cremallera<sup>46</sup>

La dirección de cremallera es un mecanismo desmultiplicador sencillo. Se constituye de una barra en forma de cremallera accionada por un piñón helicoidal montado sobre el árbol del volante. La barra se desplaza lateralmente dentro de una carcasa por acción del giro del piñón.

Figura 21 Mecanismo de dirección de cremallera.



Fuente: ARELLANO, Claudio. Mecanismo de dirección de cremallera. [imagen]. Sistemas de suspensión y dirección del automóvil.

Su diseño compacto, alto rendimiento mecánico y facilidad de montaje lo han convertido en la opción más implementada en vehículos comerciales. Posee alta precisión en el movimiento angular de las ruedas y disminuye notablemente los esfuerzos en el volante. Proporciona una conducción suave en condiciones de giro y se recupera rápidamente de giro abrupto proporcionando estabilidad y seguridad.

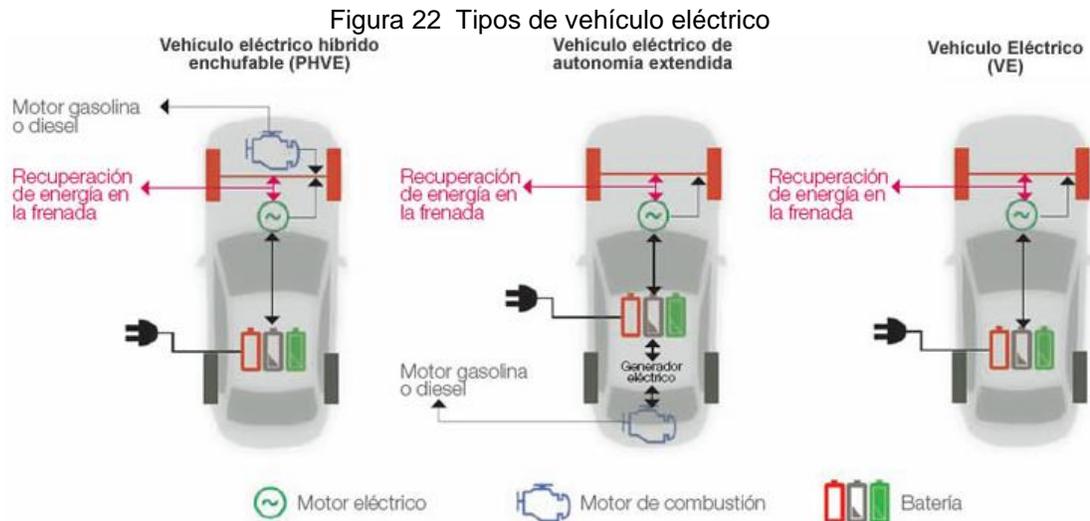
### 5.2.3 Tipo de vehículos eléctricos<sup>47</sup>

El vehículo eléctrico se concibe como aquel propulsado por un motor alimentado por energía eléctrica, sin embargo, no se incluyen en esta categoría los vehículos

<sup>46</sup> ARELLANO, Op. cit., p.79.

<sup>47</sup>Tipos de vehículo eléctrico [blog]. Movilidad eléctrica. Barcelona. 16 de febrero de 2017. [Consultado: 19 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.factorenergia.com/es/blog/movilidad-electrica/tipos-de-vehiculo-electrico/>.

alimentados por fuentes externas cómo trenes o tranvías. Según la configuración u orden de los elementos del vehículo se establecen 3 grupos.



Fuente: CETELEM. Coches Eléctricos : Principio de funcionamiento. [imagen]. El Observatorio Cetelem. [Consultado: 24 de julio de 2019]. Disponible en internet: <https://elobservatoriocetelem.es/como-funciona-el-coche-electrico/>

### Coche eléctrico de autonomía extendida.<sup>48</sup>

Estos vehículos poseen dos motores, uno eléctrico y otro de combustión interna. Su diferencia con los vehículos híbridos está en que el único motor que realiza fuerza de tracción motora es el eléctrico. Poseen las mismas partes que un VEB con la adición al sistema de un motor a combustión cuya única función es la de generar energía eléctrica para alimentar las baterías del sistema.

<sup>48</sup> MURIAS, Daniel. Por qué los coches eléctricos de autonomía extendida pueden tener futuro en Europa. En: Motor pasión. [sitio web]. Madrid. 6 de mayo de 2019. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/industria/que-electricos-autonomia-extendida-pueden-tener-futuro-europa>.

### **Coches eléctricos a baterías.<sup>49</sup>**

El Vehículo eléctrico de batería (VEB) es también conocido como el coche totalmente eléctrico. Es un vehículo que utiliza exclusivamente la energía química almacenada en una o más baterías recargables para posteriormente proporcionar energía eléctrica a su motor, la energía en las baterías proviene de una red eléctrica a la cual se conecta cuando se encuentra estacionado.

### **Coches híbridos enchufables.<sup>50</sup>**

Este vehículo posee dos motores y su funcionamiento se basa en la sinergia entre el motor eléctrico y el de combustión interna. Ambos motores pueden realizar tracción motora de manera independiente o trabajar en conjunto. Este vehículo recarga sus baterías tanto del motor a combustión como conectándolo a una red eléctrica.

### **Coche eléctrico de autonomía extendida.<sup>51</sup>**

Estos vehículos poseen dos motores, uno eléctrico y otro de combustión interna. Su diferencia con los vehículos híbridos está en que el único motor que realiza fuerza de tracción motora es el eléctrico. Poseen las mismas partes que un VEB con la adición al sistema de un motor a combustión cuya única función es la de generar energía eléctrica para alimentar las baterías del sistema.

---

49 IBERDROLA. El vehículo eléctrico: Tipología y principales características. En: Iberdrola. [sitio web]. Bilbao: Iberdrola. [Consultado: 19 de noviembre de 2019]. Archivo pdf. Disponible en: [https://www.iberdrola.com/wcorp/gc/prod/es\\_ES/sostenibilidad/docs/Vehiculo\\_tipologia\\_caracteristicas.pdf](https://www.iberdrola.com/wcorp/gc/prod/es_ES/sostenibilidad/docs/Vehiculo_tipologia_caracteristicas.pdf)

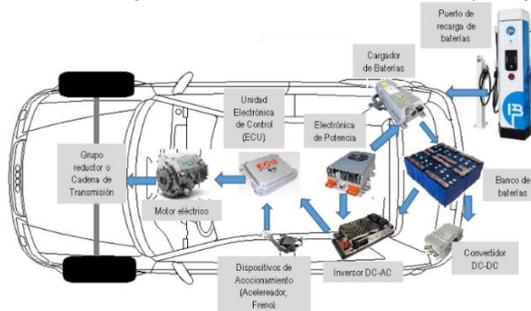
<sup>50</sup> EHSANI Op. Cit et al., p. 117.

<sup>51</sup> MURIAS, Daniel. Por qué los coches eléctricos de autonomía extendida pueden tener futuro en Europa. En: Motor pasión. [sitio web]. Madrid. 6 de mayo de 2019. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/industria/que-electricos-autonomia-extendida-pueden-tener-futuro-europa>.

## 5.2.4 Arquitectura del vehículo eléctrico<sup>52</sup>

El vehículo eléctrico funciona con baterías recargables en un proceso de funcionamiento similar al que ya conocemos en nuestros dispositivos como teléfonos móviles u ordenadores portátiles. Generalmente la energía de las baterías es suministrada a un motor eléctrico que su par motor a las ruedas mediante un sistema de caja reductora con diferencial. No obstante, el ordenamiento y la forma de transmisión de par motor a las ruedas define la arquitectura vehicular y da lugar para clasificar el coche eléctrico.

Figura 23. Componentes Vehículo eléctrico ( Esquema)



Fuente: Autor del proyecto.

## Transmisión en los vehículos eléctricos.<sup>53</sup>

El elemento diferenciador en la arquitectura del vehículo eléctrico es la cadena de transmisión de par motor, este especifica los elementos que interactúan en la conversión de energía eléctrica a energía mecánica en forma de rotación a las ruedas y el orden o disposición de estos en el sistema.

Los motores eléctricos son máquinas que poseen par elevado lo que simplifica la transmisión, adicionalmente operan en un rango de revoluciones altas (0 a 12.000

<sup>52</sup> NPTEL. Electrical Engineering: Introduction to Hybrid and Electric Vehicles. En: National Programme on Technology Enhanced Learning. [sitio web]. Disponible en: <https://nptel.ac.in/content/storage2/courses/108103009/download/M3.pdf>.p.34.

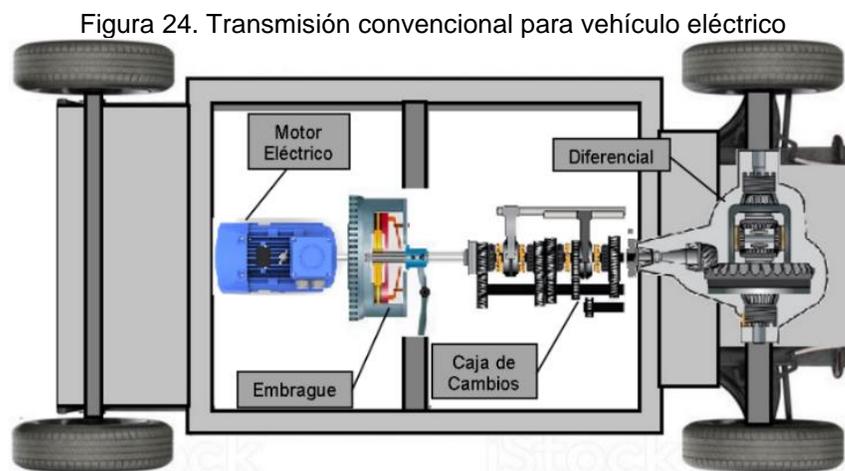
<sup>53</sup> NPTEL. Ibíd., p. 36.

rpm) lo que permite con facilidad la puesta en marcha del vehículo sin necesidad de realizar cambios de marcha durante todo el rango de revoluciones como lo exige el motor de combustión.

Aunque existen variados de los sistemas de transmisión actualmente para los vehículos eléctricos, se destacan 3 por su simplicidad en el diseño y factibilidad económica para su implementación.

### **Modelo de transmisión convencional.** <sup>54</sup>

En este sistema el motor eléctrico proporciona el par mediante un embrague conectado a una caja de cambios que ajusta la velocidad de giro transmitida al diferencial conectado al eje de las ruedas motoras.



Fuente: Autor del proyecto.

Se utiliza generalmente en los vehículos que han realizado un cambio o conversión a eléctrico y su principal desventaja radica en el número de componentes de la

---

<sup>54</sup> WARNER, Mark. The Electric Vehicle Conversion Handbook: How to Convert Cars, Trucks, Motorcycles, and Bicycles Includes EV Components, Kits, and Project Vehicles. New York: HPBooks (ISBN: 9781557885685).

cadena de tracción, su peso y el rendimiento global aproximado (0,8 en marcha directa y 0,85 a velocidades intermedias).

### **Modelo de transmisión por rueda motorizada.<sup>55</sup>**

Este sistema elimina todos los elementos de transmisión. El vehículo posee un motor por cada rueda tractora eliminando el uso del diferencial, el grupo reductor se encuentra incorporado dentro de la llanta en el lugar donde generalmente se encuentra la campana del freno. Dentro de la rueda un motor síncrono de imanes permanentes integrado en el eje de la rueda es controlado por una unidad electrónica de potencia y control digital.



Fuente: Protean electric. Protean Electric drivetrain. [imagen]. [Consultado:30 de julio de 2019]. <https://www.proteanelectric.com/technology/#overview>

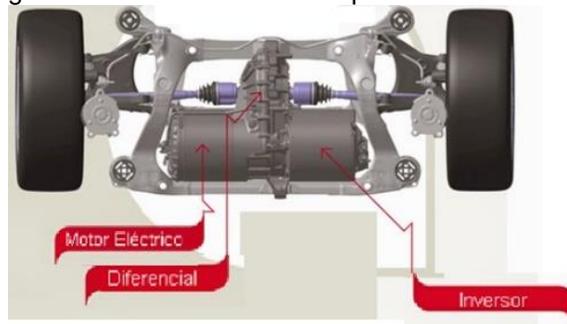
---

<sup>55</sup> C, Chan; K, Chau. Modern Electric Vehicle Technology. New York: Oxford University Press, 2001. ISBN: 0198504160.

## Modelo de transmisión directa.<sup>56</sup>

Es el sistema más utilizado actualmente por los fabricantes de los vehículos eléctricos. Los avances tecnológicos de los motores eléctricos y su control electrónico permiten la transmisión directa del motor al grupo reductor y diferencial mediante el control electrónico del par y potencia sin necesidad de embrague ni caja de cambios en el sistema.

Figura 26. Transmisión directa para vehículo eléctrico



Fuente: Tesla Cars. Chassis Tesla model S. [imagen]. [Consultado: 7 de julio de 2018]. Disponible en internet <https://www.tesla.com/models>

El motor de este tipo de vehículo es diseñado exclusivamente para el modelo eléctrico, en la salida del motor se incorpora un grupo reductor que a su vez mueve el diferencial generalmente una relación de 5:1 maximizando las prestaciones del motor eléctrico.

### 5.2.5 Cálculo dinámico de la cadena cinemática del vehículo <sup>57</sup>

El primer paso en el modelado del rendimiento del vehículo es producir una ecuación para el esfuerzo de tracción. Esta es la fuerza que impulsa el vehículo hacia delante, transmitido al suelo a través de las ruedas motrices. Considere un

---

<sup>56</sup> NPTL, Op. cit., p.37.

<sup>57</sup> LARMINIE, James; LOWRY, John. Electric Vehicle Technology Explained. New York.: John Wiley & Sons, Ltd.2003. ISBN 0-470-85163-5. p.183.

vehículo de masa  $m$ , que avanza a una velocidad  $v$ , arriba de una pendiente de ángulo  $\psi$ .

La fuerza que impulsa el vehículo hacia adelante, el esfuerzo de tracción tiene que lograr lo siguiente:

- Superar la resistencia a la rodadura.
- Superar la resistencia aerodinámica.
- Proporcionar la fuerza necesaria para superar la actuación de la componente del peso del vehículo sobre la pendiente.
- Acelerar el vehículo, si la velocidad no es constante.

### **Fuerza de resistencia a la rodadura<sup>58</sup>.**

La resistencia a la rodadura se debe principalmente a la fricción del neumático del vehículo en la carretera. La resistencia a la rodadura es aproximadamente constante y apenas depende de la velocidad del vehículo.

Ecuación 2. Fuerza de resistencia a la rodadura.

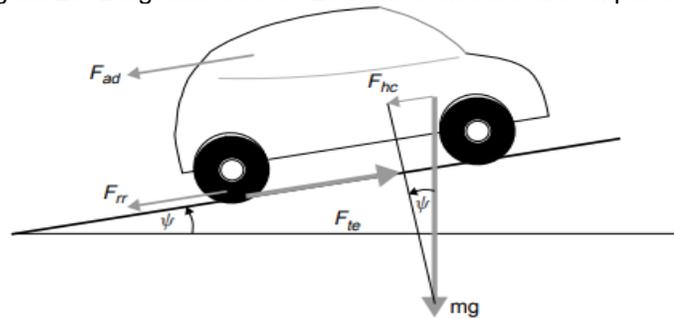
$$F_{rr} = \mu_{rr}mg$$

Donde  $\mu_{rr}$  es el coeficiente de resistencia a la rodadura. Los principales factores que controlan  $\mu_{rr}$  son el tipo de neumático y la presión de los neumáticos.

---

<sup>58</sup> LARMINIE, *Ibíd.*, p. 183.

Figura 27 Diagrama de Fuerzas sobre un vehículo en pendiente.



Fuente: LARMINIE, James; LOWRY, Jhon. Electric Vehicle Technology Explained. New York.: Jhon Wiley & Sons, Ltd.2003. p184. ISBN 0-470-85163-5.

### Resistencia aerodinámica<sup>59</sup>.

Esta parte de la fuerza se debe a la fricción de la carrocería del vehículo que se mueve a través del aire. Es una función del área frontal, la forma, las protuberancias, como los espejos laterales, los conductos y conductos de aire, los deflectores y muchos otros factores.

Ecuación 3. Fuerza de resistencia aerodinámica.

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2$$

Donde  $\rho$  es la densidad del aire,  $A$  es el área frontal, y  $v$  es la velocidad.  $C_d$  es una constante llamada coeficiente de arrastre.

### Grado de resistencia a la pendiente<sup>60</sup>.

La fuerza necesaria para conducir el vehículo cuesta arriba es la más fácil de encontrar, es simplemente el componente del peso del vehículo que actúa a lo largo de la pendiente.

---

<sup>59</sup> LARMINIE, Ibíd., p. 185.

<sup>60</sup> LARMINIE, Ibíd., p. 185.

Ecuación 4. Fuerza de resistencia en pendiente.

$$F_{hc} = mgsin\psi$$

### **Fuerza de aceleración<sup>61</sup>.**

Si la velocidad del vehículo está cambiando, entonces claramente se necesitará aplicar una fuerza además de las fuerzas que se muestran en la ilustración 3. Esta fuerza proporcionará la aceleración lineal del vehículo.

Ecuación 5. Segunda ley de Newton.

$$F_{la} = ma$$

Sin embargo, para obtener una imagen más precisa de la fuerza necesaria para acelerar el vehículo, también debemos considerar la fuerza necesaria para que las piezas giratorias giren más rápido. En otras palabras, debemos considerar la aceleración rotacional, así como la aceleración lineal. El problema principal aquí es el motor eléctrico, no necesariamente debido a su momento de inercia particularmente alto, sino debido a sus mayores velocidades angulares.

### **Esfuerzo de tracción total<sup>62</sup>.**

El esfuerzo de tracción total es la suma de todas estas fuerzas:

Ecuación 6. Fuerza de tracción Total.

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{wa}$$

---

<sup>61</sup> LARMINIE, *Ibíd.*, p. 185.

<sup>62</sup> LARMINIE, *Ibíd.*, p. 187.

## 5.2.6 Persona de movilidad reducida (PMR)<sup>63</sup>

Se reconoce una persona con movilidad reducida como, aquella que tiene temporal o permanentemente limitada la capacidad de moverse o desplazarse sin ayuda externa.

Es un término muy utilizado en accesibilidad, pues brinda una visión más amplia que la consideración de discapacidad. Las personas con movilidad reducida comprenden un grupo de discapacidades de movilidad (paraplejía, tetraplejía, problemas óseos, etc.) y dificultades (ancianos, embarazadas, personas con niños pequeños, etc.), siendo la paraplejía la condición seleccionada sobre la que se establecen los parámetros de accesibilidad teniendo en cuenta que es la restricción de movimiento que más necesidades de accesibilidad genera para el desplazamiento dentro del campus.

### **Personas en situación de movilidad reducida temporal<sup>64</sup>.**

Son producidos cuando la persona pierde su movilidad física normal por un cierto periodo de tiempo (determinado). Esta se produce por distintos factores, en la mayoría de los casos por accidentes que generan lesiones menores, como: esguinces, fracturas, desgarros, enfermedades etc.

Ejemplos:

- Persona que transporta a su hijo en un coche o mujeres embarazadas.
- Personas que dependan de una silla de ruedas para poder movilizarse (periodo de su recuperación).

---

<sup>63</sup> SETRAM. Estudio de accesibilidad en transporte público para personas con movilidad reducida (PMR): Organización de consumidores y usuarios. Santiago de Chile 2015. [en línea], octubre 2016 [revisado 21 febrero 2019]. Disponible en Internet: <http://bit.ly/37nqG5z.p.7>.

<sup>64</sup> SETRAM. *Ibíd.*, p. 11.

- Personas convalecientes o intervenidas quirúrgicamente.
- Personas que producto de una fractura tengan alguna de sus extremidades inmovilizadas.

### **Paraplejia<sup>65</sup>.**

La paraplejia se define como la parálisis de las extremidades inferiores, que por lo general afecta los nervios que controlan la función vesical e intestinal. A menudo es el resultado de daño a la médula espinal por traumatismo, pero también se debe a esclerosis múltiple o tumores.

### **La paraplejia causas y efectos<sup>66</sup>.**

La paraplejia suele darse a menudo como resultado de un trauma (lesión medular grave seccionamiento o compresión de la médula espinal, usualmente por fragmentos de hueso de una fractura vertebral o un traumatismo obstétrico en los niños o una bala, por ejemplo), de tumores (compresión crónica de la médula), o tras padecer de mielitis transversa y esclerosis múltiple, entre otros. También puede generarse como resultado del Mal de Pott.

### **Capacidad de movilidad de una persona en condición de paraplejia<sup>67</sup>.**

La capacidad de movilidad se determina a partir del análisis de movimientos y actividades que puede realizar la persona en condición de paraplejia usando los

---

<sup>65</sup> BROOKER, Christine. Diccionario médico. México, D.F.: Manual Moderno.2010. p. 86

<sup>66</sup> CLINICA MAYO. Lesiones de la médula espinal.: Síntomas y causas [en línea]. (19 de diciembre de 2017), [Consultado: 21 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/spinal-cord-injury/symptoms-causes/syc-20377890>.

<sup>67</sup> Taller nacional sobre rehabilitación de lesiones medulares. En (3:5 2003: la Habana, Cuba). Actividades de la vida actividades de la vida diaria en pacientes con lesiones con lesiones medulares. La Habana.2003. [Consultado: noviembre 7 de 2016]. Disponible en Internet: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-doc/actividadesvidadiaria.pdf>

miembros no paralizados y la asistencia mediante mecanismos o adaptaciones que brinden o restituyan aquellos impedimentos al desarrollo normal de las actividades cotidianas.

Las personas con paraplejía que han recibido entrenamiento y rehabilitación tienen la capacidad motora de: Utilizar sus brazos para levantarse con la fuerza de estos, cambiarse de posición, girar en ambos sentidos, mantener postura erguida en la posición sentado, alcanzar objetos de las mesas, combinar las capacidades físicas residuales y la percepción, aprendizaje de habilidades motoras, equilibrio, coordinación, y deslizamiento en superficies planas entre otras.

La movilidad en las personas con lesión medular es uno de los problemas más evidentes, si bien en ocasiones no es el más complejo, ni el más incapacitante. La mayoría de las personas con lesión medular tendrán que utilizar una silla de ruedas, al menos para trayectos largos o en exteriores.

Existe una multitud de dispositivos que brindan ayuda técnica a la persona en condiciones de movilidad reducida, en este trabajo abordamos la silla de ruedas como elemento principal de la PMR.

### **Silla de ruedas <sup>68</sup>.**

La silla de ruedas es una técnica que facilita la reintegración y posibilita la movilidad más allá de lo que permite la lesión que imposibilita ponerse de pie, flexionar la columna o usar las piernas. Algunos usuarios de silla de ruedas la utilizan para solventar la necesidad de desplazamiento en las distancias que se les dificulta con bastones o muletas. La silla es prescrita por un médico en concordancia con el visto

---

<sup>68</sup> MARTIN, Susana. Guía Práctica para lesionados Medulares. Madrid: ASPAYM Madrid, 2002. ISBN: 84-607-4869-3. 114 p. [Consultado 21 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: <http://sid.usal.es/libros/discapacidad/6559/8-1/guia-practica-para-lesionados-medulares.aspx>

de un equipo rehabilitador y teniendo en cuenta las características de cada paciente, sus medidas personales y sus capacidades.

Se deben hacer cambios que faciliten la maniobrabilidad de la silla en la vivienda, así como la seguridad del paciente, y que disminuya el esfuerzo requerido para desplazarse. Hay que hacer accesible para el paciente en silla de ruedas la mayor parte de su domicilio, o todo él, si es posible.

### **Percentiles <sup>69</sup>.**

Los datos antropométricos se expresan generalmente en percentiles. Un percentil expresa el porcentaje de individuos de una población dada con una dimensión corporal igual o menor a un determinado valor. El percentil es una medida de posición y por eso decimos es que por debajo de ese valor se encuentra la mitad de la población, mientras que cuando hablamos del P95, se está diciendo que por debajo de este punto está situado el 95% de la población, es decir, casi toda la población.

Los percentiles más empleados en diseño ergonómico son el P5 y el P95, es decir, que se proyecta para un 90% de los usuarios. Sin embargo, cuando se trata de garantizar la seguridad del usuario, se emplean los P1 y P99 que cubren a la mayor parte de la población (sólo deja fuera un 2%).

Normalmente se utiliza el P 5 para los alcances y dimensiones externas, mientras que para las dimensiones internas se emplea el P 95 (con la finalidad de que quepan las personas de mayor tamaño).

---

<sup>69</sup> CABELLO, Esperanza V. Antropometría. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Centro de Nuevas Tecnologías, 2008.

## Requerimientos de espacio para el desplazamiento de una PMR<sup>70</sup>.

Las personas en situación de movilidad restringida presentan características antropométricas especiales y además utilizan ayudas técnicas como lo son muletas, bastones, caminadores y sillas de ruedas entre otros. Además, necesitan mayores espacios para realizar los desplazamientos con los dispositivos que les surten la ayuda biomecánica y de desplazamiento.

Por ejemplo, una persona con discapacidad física que usa muletas o bastones requiere un espacio de entre 90 centímetros y 1,2 metros de ancho para poder desplazarse cómodamente y para una condición de giro el espacio requerido se determina con una circunferencia de 1,6 metros. El espacio varía dependiendo del pivote seleccionado por el usuario al realizar el giro de 360 grados como la situación de libre movilidad del usuario.

Figura 28 Dimensiones para giro de PMR en uso de silla de ruedas.



Fuente: PANERO, Julius; ZELNIK, Martin. Las dimensiones humanas en los espacios interiores. Barcelona.: G. Gili.

<sup>70</sup> HUERTA, Jaime. Discapacidad y Diseño Accesible: Diseño Urbano Arquitectónico para personas con discapacidad. Lima. 2007.

Las puertas y entradas en interiores no deben tener menos de 85 centímetros, la manija de una puerta debe ser anatómica (forma de palanca) y estar situada a una altura de 95cm del piso y los movimientos del usuario al utilizar el vehículo deben poder ser realizados de manera independiente por el mismo, el ingreso, giro y descenso debe poder ser realizado fácilmente y esta será la consideración de diseño que establecerá las dimensiones mínimas de cabina del vehículo y su respectiva área de ingreso.

Se recomienda que la inclinación de una rampa no sea mayor a 10%. Todas las rampas deben contar con pasamanos situados a 80 centímetros del nivel del piso y 3,5 cm de la pared. Así mismo se recomienda que el diámetro de las barandas y pasamanos esté entre 3 y 4 centímetros.<sup>71</sup>

### **5.3 MARCO LEGAL**

#### **5.3.1 Normativa legal colombiana.**

##### **Accesibilidad física al medio <sup>72</sup>.**

Colombia cuenta actualmente con la Norma Técnica Colombiana de accesibilidad NTC 6047 de 2013. Es una Norma Técnica Colombiana que establece los criterios y requisitos generales de accesibilidad y señalización al medio físico requeridos en los espacios de acceso al ciudadano, en especial, a aquellos puntos presenciales

---

<sup>71</sup> : HUERTA, Jaime. Discapacidad y Diseño Accesible: Diseño Urbano Arquitectónico para personas con discapacidad. Lima. 2007. Pag47

<sup>72</sup> DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION. Soluciones para la inclusión Social: directorio de soluciones para un servicio incluyente [en línea]. Bogotá. (2 de mayo de 2016). [Consultado: 21 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.dnp.gov.co/programa-nacional-del-servicio-al-ciudadano/Herramientas-Servicio/Soluciones%20para%20la%20inclusion%20social/Paginas/Canal-Presencial.aspx>

destinados a brindar atención al ciudadano, en construcciones nuevas y adecuaciones.

La norma brinda con claridad las especificaciones técnicas requeridas para hacer accesibles e incluyentes los espacios de atención presencial al ciudadano.

Para su implementación es preciso llevar a cabo un diagnóstico que le permita a las entidades identificar los puntos que serán objeto de construcción y/o adecuación del espacio físico, para que posteriormente, se inicien todos los trámites internos necesarios (presupuestales, contractuales y de talento humano, entre otros) para su ejecución.

### **Accesibilidad al transporte público.**

La ley 361 de 1997, estableció mecanismos de integración social de las personas con limitación y se dictaron disposiciones relacionadas con el acceso al servicio de transporte y su infraestructura.<sup>73</sup>

El artículo 13 del decreto 1660 el 16 de junio de 2003, dispuso que el ministerio de transporte, mediante acto administrativo, creará los parámetros mínimos que debería poseer un vehículo de transporte colectivo terrestre automotor de pasajeros, para ser considerado como accesible para las personas con movilidad reducida.<sup>74</sup>

---

<sup>73</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 361 (7, febrero, 1997). Por la cual se establecen mecanismos de integración social de las personas con limitación y se dictan otras disposiciones. [en línea]. Diario Oficial No. 42978 de febrero 11 de 1997. Bogotá, [Consultado: 21 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: [http://www.defensoria.gov.co/public/Normograma%202013\\_html/Normas/Ley\\_361\\_1997.pdf](http://www.defensoria.gov.co/public/Normograma%202013_html/Normas/Ley_361_1997.pdf).

<sup>74</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Decreto 1660 (18, junio, 2003). Por el cual se reglamenta la accesibilidad a los modos de transporte de la población en general y en especial de las personas con discapacidad. [en línea]. Diario Oficial No. 45.222, de 18 de junio de 2003. Bogotá, [Consultado: 21 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=197>

A través de resolución 3636 del 14 de noviembre de 2005 “por la cual se establecen parámetros mínimos para vehículos de transporte colectivo terrestre automotor de pasajeros que permita la accesibilidad de personas con movilidad reducida”, se adoptaron las especificaciones técnicas contenidas en los numerales del 4.2 al 4.10 de la Norma Técnica Colombiana, NTC 4407, como parámetros técnicos mínimos que debe poseer un vehículo de transporte colectivo terrestre automotor para ser considerado accesible.<sup>75</sup>

### **Normativa técnica colombiana para vehículo de transporte de pasajeros<sup>76</sup>.**

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas desarrolló las siguientes normas técnicas para los equipos de transporte terrestre de pasajeros:

**NTC 4901-1:2009.** Vehículos para el transporte urbano masivo de pasajeros.

**Parte 1.** Autobús Articulados

**NTC 4901-2:2009.** Vehículos para el transporte urbano masivo de pasajeros.

**Parte 2.** Métodos de Ensayo

**NTC 4901-3:2007.** Vehículos para el transporte urbano masivo de pasajeros.

Parte 3. Autobuses Convencionales

**NTC 5206:2009** Vehículos para el transporte terrestre publico colectivo y especial de pasajeros. Requisitos y métodos de ensayo.

**NTC 5701:2009.** Vehículos accesibles con características para el transporte urbano de personas, incluidas aquellas con movilidad y/o comunicación reducida. Capacidad mínima de nueve pasajeros más conductor.

---

75 COLOMBIA. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Norma Técnica Colombiana 4407. (1998). Vehículos automotores.: vehículos para el transporte público colectivo de todas las personas, incluidas aquellas con movilidad reducida.  
76 COLOMBIA. Ministerio de Transporte. Resolución 3753 (6 de octubre de 2015). Expide el reglamento técnico para vehículos de servicio público de pasajeros. Bogotá, [Consultado: 21 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: [http://legal.legis.com.co/document/Index?obra=legcol&document=legcol\\_310399ab8a384d1fa308558e9eeb25d6](http://legal.legis.com.co/document/Index?obra=legcol&document=legcol_310399ab8a384d1fa308558e9eeb25d6)

## 6. METODOLOGÍA

El diseño en ingeniería es concebido como una serie de procedimientos de naturaleza cíclica orientados a organizar, comprender y desarrollar elementos y procesos que permitan brindar soluciones a necesidades determinadas. La inventiva y el ingenio se combinan con las capacidades y conocimientos técnicos con el fin de plantear y desarrollar alternativas de solución a los desafíos tecnológicos presentes teniendo en cuenta los parámetros de diseño establecidos.

La propuesta metodología para implementada sigue una serie de pasos estructurados dentro de unas etapas claves del proceso en donde el enfoque está destinado al cumplimiento de los objetivos específicos propuestos.

Para seleccionar del tipo de elemento o material para el diseño, se destacan y evalúan las características más importantes de los conceptos preseleccionados o preconcebidos de acuerdo con previa investigación de los antecedentes tecnológicos y uso en la industria. Se le asigna una calificación numerada de 0 a 5 al ítem preseleccionado teniendo en cuenta el nivel de cumplimiento con los parámetros específicos más relevantes para el diseño cómo lo son:

- Estabilidad
- Confort
- Peso
- Espacio disponible
- Complejidad
- Propiedades físicas.
- Costo
- Accesibilidad
- Soldabilidad

Dentro de la propuesta metodológica se estableció el siguiente procedimiento de diseño:

#### CARACTERIZACIÓN

- Investigación de conceptos básicos. (Marco histórico, Teórico y legal).
- Definición del usuario, limitaciones y necesidades de accesibilidad.

#### CONCEPTUALIZACIÓN

- Establecimiento de Parámetros Básicos de diseño. (Variables y Restricciones)
- Diseño Conceptual.
- Selección del tipo de arquitectura vehicular.
- Dimensionamiento Básico.

#### DESARROLLO

- Diseño estructural. (Desarrollo basado en accesibilidad y ergonomía)
- Diseño Mecánico. (Selección y dimensionamiento de los sistemas de la cadena cinemática y de control).
- Modelado CAD.

#### EVALUACION

- Análisis estructural. (Análisis mediante software de elementos finitos).

## **7. CONCEPTUALIZACIÓN**

### **7.1 Parámetros, variables y restricciones de diseño.**

En el cálculo y análisis de la dinámica de un vehículo hay ciertas variables de tipo dimensional como la altura base sobre el suelo, el ancho entre ejes y el ancho total de la cabina que influyen directamente sobre otras variables de tipo operacional tales como: el peso total del vehículo, el radio de giro, la maniobrabilidad y la velocidad máxima. Estas variables a su vez representan las prestaciones generales del vehículo y en conjunto proporcionan la potencia necesaria para la selección del motor o motores de tracción.

#### **7.1.1 Parámetros de configuración general.**

El uso del vehículo está destinado hacia la población en condiciones de restricción de movimiento y que necesitan de ayudas técnicas para la movilidad por lo que el tipo de vehículo será UTV (Utility Task Vehicle, Vehículo Utilitario para Tareas/Trabajo). El diseño debe estar proyectado en función de cumplir con las necesidades básicas de este tipo de población entre las cuales se destacan: la accesibilidad, ergonomía, confort y habitabilidad garantizando a la vez seguridad de los ocupantes en el transporte y la estética visual del vehículo.

El diseño debe estar proyectado como una solución viable para el transporte interno y realizable dentro del campus, esto implica que los materiales, maquinas, herramientas y tecnologías estén disponibles y sean aplicables teniendo en cuenta el nivel tecnológico y la capacidad de los procesos de manufactura disponibles, es ahí donde la simplicidad y funcionalidad debe ser la constante para la selección o diseño de piezas.

El vehículo debe tener la capacidad de transporte para 3 personas, (1) conductor, (1) un usuario en silla de ruedas y (1) una persona en uso de ayudas técnicas para la movilidad tales como: muletas, caminador, etc.

Debe poseer una estructura protectora que encierre el vehículo evitando cualquier contacto de los usuarios con objetos o estructuras del entorno exterior.

Sus dimensiones deben permitir el fácil acceso a los diferentes bloques del campus universitario.

Debe contar con cuatro ruedas que permanezcan en contacto todo el tiempo con el suelo y la propulsión vehicular debe ser única y exclusivamente alimentada por energía eléctrica.

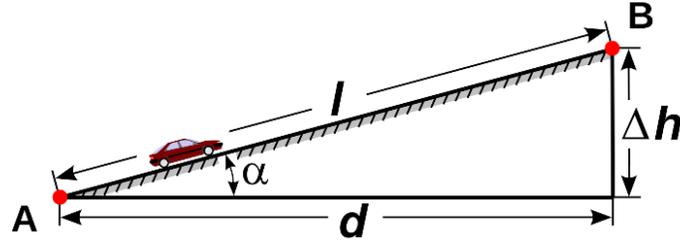
### **7.1.2 Potencia y Torque.**

La cadena de tracción del vehículo debe proporcionar el torque y la potencia significativa para iniciar y mantener la marcha en las condiciones de inclinación y obstáculos propios del terreno.

El torque y potencia necesaria para el motor será directamente proporcional al peso del vehículo más la carga transportada y la máxima inclinación o pendiente presente en las vías del campus universitario ( $18^{\circ}$ ) considerando la pendiente como un factor constante que garantice la parada y posterior arranque en pendiente, así mismo el vehículo debe tener la capacidad de sortear baches, escalones, desniveles en el terreno y reductores de velocidad con alturas no mayores a 10 centímetros.

La velocidad máxima del vehículo está determinada por el límite establecido para el tránsito de vehículos dentro del campus o velocidad límite en espacio residencial (30km/h).

Figura 29 Pendiente de una carretera



Fuente: Madcap. Pendiente de una carretera [Imagen]. Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Grade\\_dimension.svg#/media/File:Track\\_gradient.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Grade_dimension.svg#/media/File:Track_gradient.svg)

El ángulo representado en la figura se conoce como ángulo de inclinación, la tangente trigonométrica del ángulo es la pendiente dada por:

$$\text{Pendiente} (\%) = \tan(\alpha) * 100$$

Por lo tanto:

$$\text{Pendiente}(\%) = \tan(18) * 100$$

$$\text{Pendiente}(\%) = 32,49\%$$

### 7.1.3 Cargas vivas.

Existen elementos que actúan como cargas sobre la estructura y afectan la distribución de peso y centro por lo tanto el centro de masa del vehículo, los componentes eléctricos (motor, banco de baterías, controlador), pasajeros y conductor, carga (accesorios, silla de ruedas).

Se determina el peso final del vehículo realizando una sumatoria de los valores correspondientes a los elementos listados en la Tabla 1.

Tabla 1. Cargas Vivas estimadas para el vehículo.

Número de personas	1 conductor 2 Pasajeros
Peso promedio por persona	70-90 [kg] Total= 270 [kg]
Equipajes ocupantes + Silla de Ruedas	50 [kg]
Total	330[kg]

Fuente: El autor del proyecto.

#### 7.1.4 Cargas muertas.

Se consideran los elementos estructurales y no estructurales que conforman el vehículo en condiciones operativas. Entre estos se encuentra la carrocería, chasis, sistemas de tracción, estabilidad, frenado, suspensión, control electrónico y de giro. Los valores son estimados y los cálculos se someten a procesos de corrección según indiquen los avances del proceso de modelado y selección de materiales y componentes.

Tabla 2. Cargas Muertas Estimadas para el vehículo.

Elemento	Masa
Masa de la estructura superior (Reporte ANSYS v17).	50[kg]
Masa del chasis (Reporte ANSYS v17).	100[kg]
Masa de los sistemas del vehículo (Motor, suspensión, baterías, controles, frenos).	150[Kg]
Accesorios y elementos de sujeción.	50[kg]
Total	350[kg]

Fuente: El autor del proyecto.

#### 7.1.5 Carga por aceleración o frenado.

El accionamiento de los sistemas de tracción y frenado del vehículo inducen una carga sobre los elementos estructurales y dinámicos del mismo, en los parámetros de diseño se ha establecido el uso del vehículo como transporte interno dentro del campus con una velocidad máxima de 30 [km/h], con lo que establecemos una fuerza de frenado de  $4[m/s^2]$ .

#### 7.1.6 Parámetros determinados por los requerimientos de accesibilidad y ergonomía.

El diseño del componente estructural del vehículo se desarrollará en función del cumplimiento de las normativas básicas de accesibilidad para usuarios en silla de ruedas, los componentes estructurales serán dimensionados en pro de garantizar: volúmenes mínimos del acceso a la carrocería, sistemas de asistencia ergonómicos

(Manijas, puntos de agarre, Pasamanos, rampa de acceso desplegable, accionamiento asistido de puertas y sistema de anclaje para silla de ruedas).

Los volúmenes interiores están determinados por las condiciones especiales de los usuarios, las dimensiones antropométricas aplicadas a los modelos tridimensionales en sus posiciones ergonómicas y las necesidades en torno a la usabilidad del vehículo establecen los espacios necesarios dentro de la estructura. Estos volúmenes proporcionarán espacios y dimensiones mínimas fijas y serán punto de partida para el diseño estructural.

### **Dimensiones antropométricas del usuario.**

Las características especiales de las personas con movilidad reducida y en especial las personas en silla de ruedas exigen consideraciones de espacio y herramientas de adaptación para el uso del vehículo y sus elementos. El diseño ergonómico y accesible requiere que las dimensiones de la cabina, el tamaño, forma y ubicación de las ayudas técnicas instaladas sean incorporadas al vehículo teniendo en cuenta las dimensiones, alcance y movilidad del usuario.

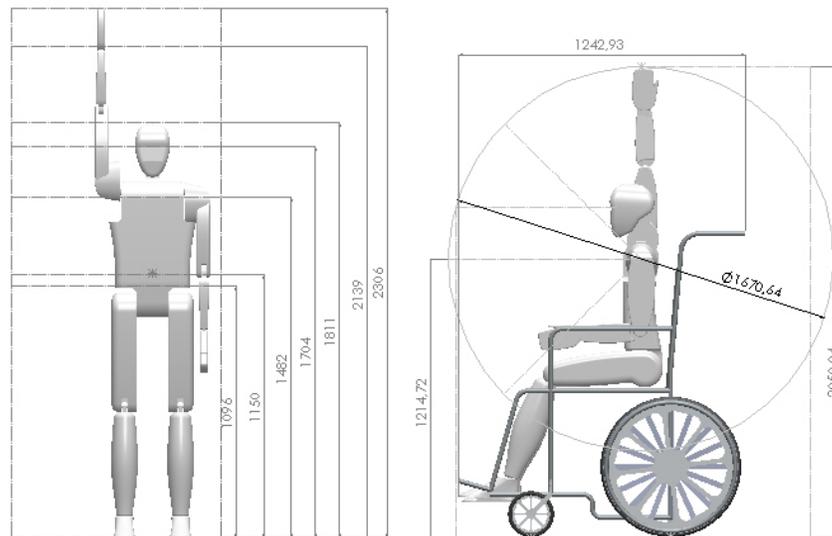
Se realizó el modelo 3D de los 3 usuarios comunes para los cuales se ha concebido el diseño del vehículo, (conductor, PMR Y PMR en silla de ruedas). Para este modelo se consideró acertado ajustar las dimensiones antropométricas de cada uno de los usuarios a los valores promedio correspondientes al percentil 95 de la población latinoamericana (población laboral colombiana, sexo masculino, edad de 20-39 años).

El modelo antropomorfo tridimensional diseñado, emula una replica a escala natural de una persona y permite replicar las posiciones ideales de manejo y uso del vehículo, así como la comprobación del dimensionamiento óptimo del

componente estructural y la posición de los instrumentos y demás elementos de control y acceso al vehículo.

Se realizó la selección del modelo de silla de ruedas teniendo en cuenta el percentil obtenido para el dimensionamiento del usuario. Al obtener las dimensiones de la silla de ruedas se hace necesario determinar los espacios o áreas de acción y movilidad, el alcance de los miembros superiores y las distancias óptimas a las adaptaciones de accesibilidad, así se establece el volumen de cabina y de acceso necesario para garantizar el confort y accesibilidad del usuario.

Figura 30. Diseño antropomorfo replica tamaño real del cuerpo humano.



Fuente: Autor del proyecto.

Entre las consideraciones de diseño se estableció brindar fácil acceso, suplir las dificultades de maniobra, superar desniveles y obstáculos con control y acceso confortable al entorno.

El diseño tuvo en cuenta las características antropométricas de las personas en situación de discapacidad identificadas previamente.

## 7.2 Parámetros específicos del vehículo.

Se definen y tabulan de manera específica las prestaciones del vehículo, los parámetros definidos de funcionamiento, las limitaciones técnicas y se justifican la selección de los valores tabulados.

Tabla 3. Parámetros Generales del vehículo

Parámetro	Valor	Justificación
<b>Número De plazas</b>	3	El vehículo se plantea como la solución al transporte de personas con movilidad restringida, estas pueden presentar necesidad de transporte para silla de ruedas o desplazamiento con otras ayudas de movilidad por lo cual se hace necesario instalar dos plazas, la tercera plaza es la designada para el conductor del vehículo.
<b>Tipo de Batería</b>	Ion de litio	Las baterías de este tipo presentan la mejor relación para densidad de carga, ofreciendo la autonomía deseada con un peso relativamente bajo en comparación de las otras alternativas comerciales.
<b>Capacidad de la Batería</b>	100Ah, 96V	Entregan la potencia suficiente durante el tiempo necesario para cumplir con la autonomía establecida.
<b>Peso Total</b>	800 [kg]	Valor promedio de vehículos utilitarios adaptados de igual capacidad de transporte.
<b>Velocidad Máxima</b>	30km/h	Valor máximo establecido para la conducción segura dentro del campus universitario.
<b>Tipo de Motor</b>	BLDC HUB Motor	Único tipo de desarrollo tecnológico que posibilita el desarrollo de la arquitectura vehicular planteada.
<b>Potencia del Motor</b>	16Kw	Potencia mínima calculada para la carga y condiciones de desplazamientos establecidos en los parámetros básicos.
<b>Tipo de Chasis</b>	Tubular	Construcción fácil, económica y de gran rigidez estructural.
<b>Tipo de suspensión</b>	Independiente	Garantiza el movimiento relativo de las ruedas sin afectar considerablemente el nivel del vehículo garantizado la seguridad y confort en el transporte de la PMR.
<b>Altura Base</b>	15cm	Altura que garantiza las condiciones necesarias de accesibilidad en rampa de acceso.
<b>Distancia entre ejes</b>	2,5m	Espacio interior suficiente para el uso inclusivo del medio de transporte.
<b>Ancho de Vías</b>	1,8m	Espacio interior suficiente para el uso inclusivo del medio de transporte.
<b>Radio de Giro</b>	8m	Ancho de la vía principal del campus.
<b>Distribución de peso</b>	60/40	Garantiza la tracción constante sobre las ruedas motrices y se balancea con el peso de las baterías.
<b>Sistema de Frenos</b>	Disco hidráulico	Sistema seguro, de fácil montaje diseñado y especificado por el fabricante del conjunto motor para vehículos de condiciones de carga y velocidad similares.
<b>Autonomía</b>	50 km	Distancia aproximada para un rango de 40 a 50 recorridos desde el punto más lejano del campus en una sola carga.

<b>Dimensiones Totales</b>	3mX1,8mx 2m	Condiciones de accesibilidad y confort vehicular garantizadas.
<b>Arquitectura Vehicular</b>	Electric Pure Hubless Car Motor	Sistema compacto, menor cantidad de partes y subsistemas, menor mantenimiento y fácil manejo.

Fuente: Autor del proyecto.

### 7.3 Diseño conceptual.

En el proceso de diseño se debe plantear el concepto del vehículo, establecer los parámetros generales de funcionamiento, las variables y restricciones técnicas o económicas del proyecto. Habiendo definido estos ítems, el vehículo deberá ser desarrollado estrictamente bajo los lineamientos establecidos. A mayor nivel de detalle de estos ítems, menor será el número de dudas e imprevistos en el proyecto.

#### Concepto del vehículo.

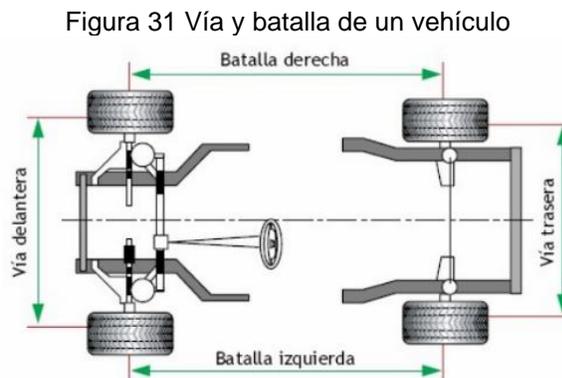
El medio de transporte a diseñar es un vehículo 100% eléctrico, de tamaño compacto y capacidad de transportar a 3 personas (Conductor, PMR, PMR en silla de ruedas). El diseño debe garantizar la maniobrabilidad del vehículo, facilidad de construcción y bajo costo de construcción.

El vehículo no operará a una velocidad mayor a la permitida para espacios residenciales (30km/h). Contará con dirección de sistema de piñón cremallera, suspensión de brazo independiente para las llantas traseras, y suspensión de eje rígido para el conjunto de llantas traseras.

## 7.4 Dimensionamiento básico.

### Distancia entre ejes.

La distancia entre ejes como su nombre indica, es la medida de la distancia a la que se separan los ejes del vehículo. Su importancia radica en que la estabilidad es directamente proporcional al tamaño de la batalla, una batalla corta se traduce en inestabilidad en el viraje.



Fuente: Macmillan Profesional. Batalla (Distancia entre los dos ejes de un vehículo). [Imagen]. Circuitos de fluidos, suspensión y dirección.

El ángulo establecido para los brazos del acoplamiento es función de la batalla y vía de los ejes, de esta forma se determina el radio de giro máximo del coche, generalmente se establece que su magnitud debe ser tal que el diámetro de giro del vehículo sea cuatro veces mayor que la batalla del vehículo haciendo más fácil el viraje en conducción.<sup>77</sup>

Para definir la distancia entre ejes se evaluaron las batallas de los modelos vehiculares adaptables o que cumplen la función de transporte para PMR en silla de ruedas.

<sup>77</sup> PEREZ, Alfonso. Técnicas del automóvil. Chasis. Editorial Paraninfo. Madrid. Octava.2008. p.53.

Tabla 4 . Distancia entre ejes para vehículos adaptables

Modelo	Tipo	Número de plazas	Distancia entre Ejes [mm]	Ancho de vías [mm]	Altura base [mm]
<b>Kia Soul Emotion</b>	Compacto Adaptado	2 plazas + 1PMR	2570	Delantero 1560 Trasero 1573	151
<b>Volkswagen Caddy</b>	Furgoneta adaptada	5 plazas + 1PMR	2682	Delantero 1537 Trasero 1544	153
<b>Citroën Berlingo</b>	Furgoneta adaptada	4 plazas + 1PMR	2780	Delantero 1505 Trasero 1554	165
<b>Renault Kangoo</b>	Furgoneta adaptada	4 plazas + 1 PMR	2600	Delantero 1519 Trasero 1533	187

Fuente: Autor del proyecto

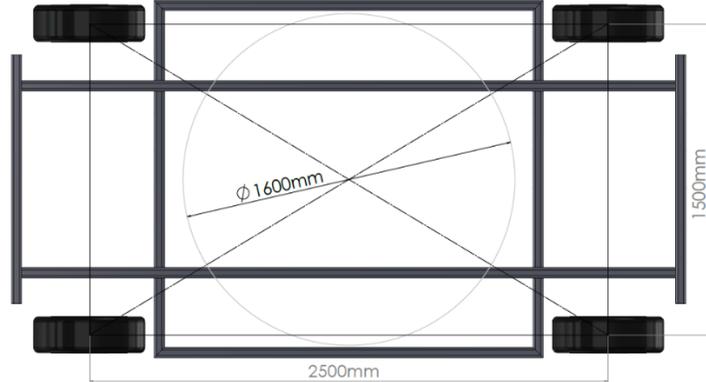
Teniendo en cuenta los vehículos estudiados, las similitudes entre las necesidades de adaptación y accesibilidad del vehículo a diseñar se estima una distancia máxima entre ejes de 2600 milímetros para configurar el número de plazas dentro del sistema y los diferentes componentes.

### **Ancho de vías.**

El ancho de vías se define como como la medida entre las ruedas de un eje. Cuando se cuenta con una distancia entre vías más ancha se incrementa la estabilidad en el viraje y la adherencia de las llantas. Todo esto, debido a la transferencia de cargas que ocurre entre los ejes cuando ocurre una aceleración o un paso por curva.

El ancho de vías promedio entre los vehículos estudiados es de aproximadamente 1550mm, valor que se asigna como máximo para el diseño ya que proporciona suficiente espacio para instalar los componentes de la dirección, sin embargo, ninguno de los vehículos usados actualmente en el transporte de PMR permite el espacio de giro libre para la accesibilidad de la PMR en silla de ruedas por lo tanto se hace necesario implementar un ancho de vías de 1600mm. Al tratarse de un vehículo que transitará a bajas velocidades se hace innecesario usar un ancho diferente de vías para estabilizar en curvas.

Figura 32. Dimensiones generales del vehículo (Vista superior)



Fuente: Autor del proyecto

### **Altura base de la plataforma vehicular sobre el suelo.**

Está determinada por la distancia entre la superficie de reposo de las llantas y el punto más bajo de la plataforma o bastidor vehicular. Su altura al nivel del suelo permite al vehículo sortear obstáculos (andenes, reductores de velocidad, huecos o piedras). Por otro lado, al estar determinada por la posición del bastidor que es el elemento de mayor tamaño en el vehículo incide directamente en la estabilidad modificando la posición del centro de masa.

Adicionalmente por condiciones de accesibilidad se debe tener en cuenta que el vehículo cuenta con una rampa de acceso, la cual a mayor altura del bastidor representará mayor esfuerzo para el acceso y mayor tamaño de la plataforma.

La distancia promedio entre los vehículos tabulados es de 150 milímetros, altura seleccionada que permite un óptimo desempeño sobre los obstáculos del campus universitario y simplifica el diseño de la rampa de acceso para la PMR en silla de ruedas.

## **8. DESARROLLO**

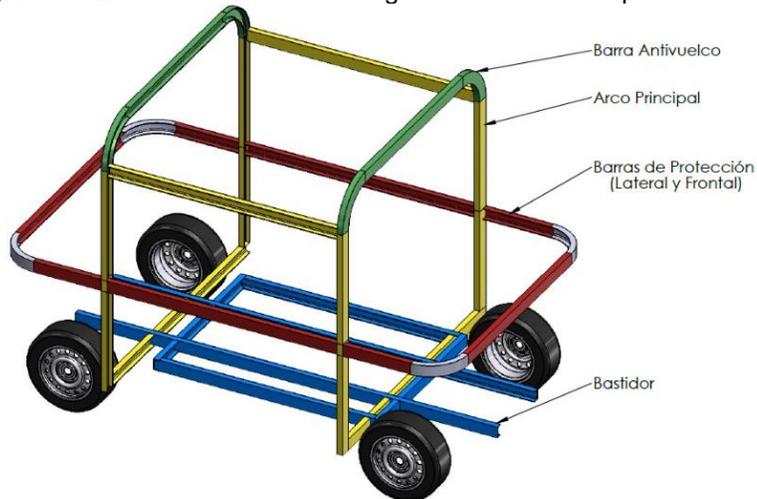
### **8.1 Diseño estructural.**

#### **8.1.1 Elementos estructurales.**

La estructura superior tiene como función principal aislar a los ocupantes del contacto con cualquier elemento o superficie durante los desplazamientos, debe proteger en caso de impacto o volcadura, la cabeza y extremidades superiores de los ocupantes, así como de conservar la integridad estructural del vehículo impidiendo que las deformaciones superen la distancia de 80mm al someter la misma a una carga correspondiente al 250% de la carga máxima del vehículo como criterio de seguridad.

El peso del vehículo es un parámetro general que afecta considerablemente las prestaciones de este, la necesidad de crear una estructura ligera, fácil de construir y de gran rigidez hace de la estructura de tipo tubular metálica la mejor opción. El componente estructural del vehículo debe poseer elementos de protección necesarios para resguardar a los ocupantes en caso de accidentes como choques o volcadura además de soportar todos y cada uno de los componentes del sistema con la rigidez suficiente para mantener la integridad total en condiciones de carga estáticas y dinámicas.

Figura 33. Elementos estructurales generales del concepto de vehículo



Fuente: Autor del Proyecto

Los elementos estructurales considerados para el diseño son:

**Bastidor:** Soporte de las cargas dinámicas y estáticas del vehículo, punto de anclaje para componentes estructurales y funcionales del sistema.

**Barras de Protección lateral y frontal:** Atenuantes de impacto, brindan rigidez y garantizan la integridad estructural en volcadura o choque.

**Arco principal:** Provee puntos de sujeción entre elementos de control, bastidor y estructura superior.

**Arco contra vuelco:** Protege el componente estructural en su parte superior.

### 8.1.2 Selección de Material.

Teniendo en cuenta como principal función soportar las cargas y esfuerzos sobre el vehículo y los parámetros de diseño preestablecidos, el componente estructural debe ser fabricado en un material que posea las siguientes propiedades: Buena ductilidad, módulo de elasticidad alto, bajo costo y fácil suministro en el mercado colombiano.

El acero es un material que cumple los requerimientos, además de ser un metal fácil de soldar, cortar, doblar o maquinar y ampliamente utilizado en la industria metalmeccánica local.

El mercado colombiano no cuenta con una gama amplia de aceros disponibles, sin embargo, se encuentran aceros de tipo estructural y de bajo coste que se utilizan en la fabricación de chasis o carrocerías para vehículos de tipo industrial, y aunque en Colombia no existe una normativa vigente para estructuras vehiculares de tipo tubular, se toma como referencia las normativas vigentes en la construcción de carrocerías para vehículos de transporte de pasajeros tipo bus conforme a lo dictado por la Organización de las Naciones Unidas en su Reglamento No. 66 disposiciones uniformes relativas a la aprobación de vehículos de pasajeros grandes con respecto a la fortaleza de su superestructura.

La estructura de la carrocería deberá incorporar materiales metálicos tales como el acero o metales ligeros, sin perjuicio de lo cual podrán construirse estructuras mixtas utilizando otros materiales cuyas características ofrezcan resistencia, duración y seguridad igual o superior a la obtenida con los materiales metálicos.<sup>78</sup>

Los perfiles estructurales en Colombia se fabrican de acuerdo con la norma ASTM A-500 con las dimensiones reales indicadas en las tablas del fabricante, y se comercializan según las dimensiones nominales de común manejo.

En la tabla 9 se listan los tipos de aceros que corresponden a los perfiles estructurales ofrecidos por el mercado local para la aplicación en la fabricación de elementos estructurales para vehículos industriales (carrocerías, bastidores, súper estructuras).

---

<sup>78</sup> ONU, Regulation No 66: Uniform Provisions concerning the approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of the Superstructure. (1 de diciembre 1986). [en línea]. Disponible en: [https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg\\_no=XI-B-16-66&chapter=11&clang=\\_en](https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XI-B-16-66&chapter=11&clang=_en).

Tabla 5. Tipos de Aceros Estructurales disponibles en el mercado local.

DESIGNACIÓN		PROPIEDADES MECÁNICAS			
Aplicaciones	ASTM	Resistencia a la Tracción	Límite Elástico	Alargamiento %	
				200mm	50mm
Estructuras en General	A-36	41-56kg/mm <sup>2</sup> 400 - 550 Mpa.	23-25kg/mm <sup>2</sup> 250 Mpa.	20	23
Tanques almacenamiento	A-283 Gr.C	390 - 460 Mpa. 39-46 kg/mm <sup>2</sup> 380 - 515 Mpa.	210 Mpa. 21kg/mm <sup>2</sup> 205 Mpa.	20	23
Construcción naval en general	A-131 Gr.A	41-50 kg/mm <sup>2</sup>	23kg/mm <sup>2</sup>	21	24
Recipientes a presión para servicios a temperatura intermedia y alta.	A-516 Gr.70	490 - 630 Mpa. 49-63 kg/mm <sup>2</sup> 485 - 620 Mpa.	265 Mpa. 26.5kg/mm <sup>2</sup> 260 Mpa.	17	21
Lámina de alto límite elástico (Maxdur A-690)	A-514 Gr. Q	78-96 kg/mm <sup>2</sup> 780 - 960 Mpa.	100 Ksi 71 Kg/mm <sup>2</sup> 690 Mpa.	14	
Bastidores, chasis de máquinas, camas bajas, puentes, tanques, estructuras, vigas, entre otros.	A-572 Gr 50	49 kg/mm <sup>2</sup> 490 Mpa.	35kg/mm <sup>2</sup> 350 Mpa.	18	21
Bastidores, Tanques estructurales, Vigas y puentes.	A - 588 Gr A	49 Kg/mm <sup>2</sup> 485 Mpa.	35 Kg/mm <sup>2</sup> 350 Mpa.	18	21

Fuente: Catalogo para acero estructural compañía general de aceros.

Se realiza la matriz de selección con los parámetros más significativos para la selección del material.

Tabla 6 Matriz de selección de material estructural

Acero	Costo		Soldabilidad		Propiedades Físicas		Disponibilidad		Total
<b>A36</b>	Bajo	5	Alta	4.5	Media	3.5	Alta	4.0	4.3
<b>A283 Gr. C</b>	Bajo	4.5	Alta	4.5	Bajo	3.5	Media	3.5	4.0
<b>A131 Gr. A</b>	Medio	3.5	Alta	4.5	Bajo	3.5	Alta	3.5	3.8
<b>A516 Gr. 70</b>	Alto	2.5	Alta	4.5	Media	3.5	Media	3.5	3.5
<b>A514 Gr. Q</b>	Alto	2.5	Alta	4.5	Alto	4.5	Media	3.5	3.8
<b>A572 Gr. 50</b>	Bajo	5.0	Alta	4.5	Medio	4.0	Alta	4.5	4.5
<b>A588 Gr. A</b>	Bajo	4.0	Alta	4.0	Alto	4.0	Media	4.0	4

Fuente: autor del proyecto

Analizando la información posterior y teniendo en consideración que el tipo de chasis preseleccionado es el tubular y que el acero estructural bajo el estándar ASTM A572 Grado 50 es el que nos ofrece mejores propiedades mecánicas y mayor oferta de dimensiones para la forma tubular de secciones cuadradas, circulares o especiales en el mercado local se selecciona como material de bastidor y estructura vehicular.

## Características del Acero bajo norma ASTM A500 <sup>79</sup>.

Los perfiles estructurales se fabrican partiendo de bandas de acero laminado en caliente, que al pasar por una serie de rodillos sufren un proceso de formado en frío dando la geometría de cada perfil. El cerrado se hace mediante soldadura por inducción con alta frecuencia (electro fusión ERW). La longitud normal de fabricación es de 6.00 m con posibilidad de solicitar al fabricante longitudes mayores.

El acero se somete a pruebas de:

**Torsión:** Según norma ASTM A-500 - NTC 4526

**Aplastamiento:** Según norma ASTM A-500

**Abocardado:** Según norma NTC-103

**Espesor de capa:** Según norma ASTM A-53 (para tubos galvanizados).

Tabla 7. Propiedades Requeridas por el Estándar ASTM A-500 GRADO C.

PROPIEDADES MECÁNICAS REQUERIDAS POR ASTM A-500 GRADO C		
ESFUERZOS	REDONDOS	CUADRADOS Y RECTANGULARES
Fluencia Fy	3,241 kg/cm <sup>2</sup>	3,522 kg/cm <sup>2</sup>
Último Fu	4,348 kg/cm <sup>2</sup>	4,368 kg/cm <sup>2</sup>
Elongación en 2"	21%	21%

Fuente: Consorcio Metalúrgico Nacional Ltda. Aceros Colmena. Catálogo de producto.

El esfuerzo mínimo de fluencia del acero es de 3.241 kg/cm<sup>2</sup> (46.000 psi), para tubos redondos y 3500 kg/cm<sup>2</sup> (50.000psi) para tubos cuadrados y rectangulares. La relación entre esfuerzo último y esfuerzo de fluencia está entre 1.25 y 1.3 satisfaciendo la relación mínima recomendada para formado en frío de 1.2.

---

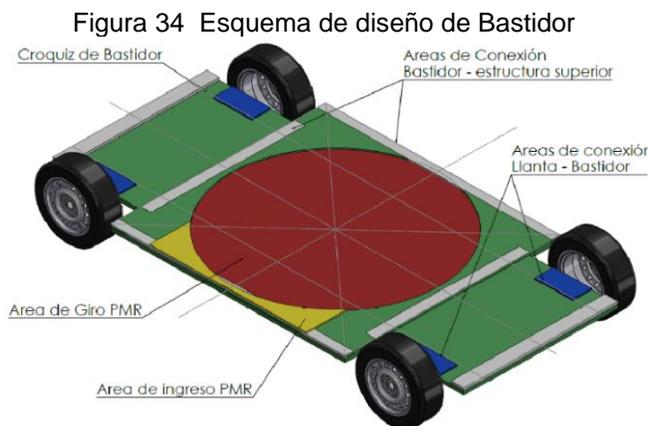
<sup>79</sup>ACEROS COLMENA. Consorcio Metalúrgico Nacional Ltda. Perfil estructural Tubular Negro y Galvanizado ASTM A500. [en línea]. Disponible en internet: <http://tuboscolmena.com/colmena/wp-content/uploads/2015/02/Estructural.pdf>.

Los perfiles de tipo cerrado ofrecen una mejor relación peso-longitud que los perfiles abiertos, adicionalmente tiene un mejor comportamiento frente a esfuerzos de torsión y una mejor resistencia al pandeo. El armado o montaje con este tipo de perfiles se puede realizar de una manera muy sencilla mediante soldadura evitando el cálculo de uniones pernadas o atornilladas.

El perfil rectangular ofrece mejores propiedades mecánicas en cuanto al esfuerzo de fluencia frente al perfil circular lo cual lo hace mejor elección para el bastidor, no obstante, el perfil circular presenta mejor tolerancia al proceso de doblaje lo que lo selecciona para la estructura superior.

### 8.1.3 Bastidor Automotriz.

En el diseño del principal elemento estructural del vehículo, se realiza la identificación de áreas de apoyo y conexión necesarias en el plano delimitado por las dimensiones especificadas del ancho de vía y distancia entre ejes. Sobre ellas se establece el número de elementos y las dimensiones óptimas que garantizan accesibilidad del usuario PMR.



Fuente: Autor del Proyecto

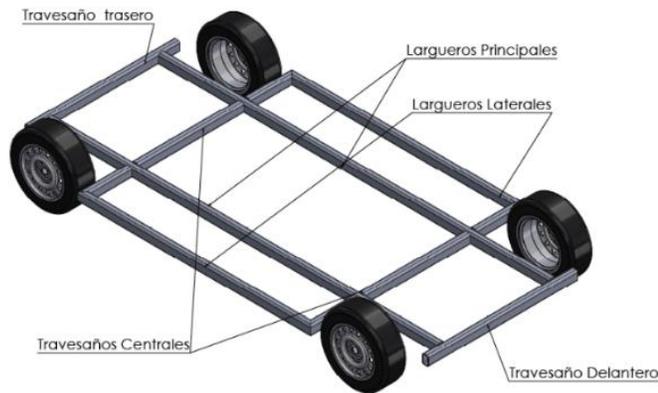
El croquis que representa los elementos o perfiles estructurales se construye uniendo mediante líneas los puntos sobre las áreas de conexión delimitadas priorizando parámetros como rigidez, peso final y coste de fabricación de la estructura. Para garantizar estos parámetros se realiza la distribución y posición de los miembros y uniones teniendo en cuenta la estabilidad y capacidad de carga de las uniones sin dejar a un lado la necesidad de proveer un diseño simple que brinde facilidad en la fabricación y montaje.

### **Concepto del Bastidor.**

Para la conformación del primer modelo de bastidor se consideran las variables dimensionales proporcionadas por el esquema de diseño, utilizando las líneas del croquis trazado se realiza el modelado de los miembros estructurales básicos del bastidor dando como resultado una estructura conformada por dos largueros principales que cumplen la función de soportar y transmitir las cargas sobre la estructura a los ejes de las llantas y dos laterales sobre los cuales se conecta la estructura superior.

Estos elementos laterales brindan soporte al piso del vehículo y protegen la estructura en caso de impacto. Sobre estos largueros se entrecruzan 4 travesaños, 2 exteriores (delantero y trasero) que funcionan como atenuadores de impacto y al cerrar perimetralmente el bastidor proporcionan rigidez torsional impidiendo que los largueros funcionen en condiciones de carga en voladizo sobre la estructura.

Figura 35 Bastidor Preliminar



Fuente: Autor del Proyecto

#### **8.1.4 Suspensión automotriz.**

La suspensión automotriz juega un papel muy importante en el diseño automotriz. Cuando el vehículo atraviesa un terreno irregular, las llantas sufren impactos por el contacto abrupto contra la superficie al realizar un cambio de nivel en el suelo. Estos impactos son transmitidos a la estructura del vehículo por los elementos de conexión del bastidor - carrocería y a su vez a los ocupantes.

Es necesario el estudio y ponderación de los sistemas usados actualmente en vehículos comerciales para la selección del subsistema de mejores prestaciones.

#### **Selección del tipo de suspensión.**

Es necesario establecer la mejor configuración con el fin de garantizar la ergonomía y confort en el transporte de PMR. Se abordan las alternativas comerciales viables para el subsistema de suspensión vehicular realizando la selección metódica correspondiente.

## **Suspensión Rígida.**

Es uno de los tipos de suspensión más antiguos y robustos, su funcionamiento es básico: Los elementos de funcionamiento elásticos (resortes, ballestas), están fijados directamente mediante uniones atornilladas a la barra transversal del puente, el cual se eleva e inclina ante la irregularidad o desnivel del piso protegiendo la integridad del chasis y demás elementos.

### **Consideraciones:**

- Provoca inestabilidad al inclinar o elevar la estructura del vehículo y por consiguiente un nivel de confort muy bajo.
- Su dificultad de construcción es básica pues consta pocos elementos que además poseen formas regulares y de fácil manufactura.
- Su peso es elevado debido a que los elementos como ballestas y puentes eje son de diseño robusto para resistir las cargas a flexión añadiendo un peso considerable aumentando la masa no suspendida.
- Requiere poco espacio de instalación.
- En los ejes traseros, las caídas de las ruedas no varían y permanecen paralelas a la carretera lo cual traduce buena estabilidad en terreno o superficies planas pavimentadas.
- Se imposibilita el movimiento independiente de las ruedas que componen el eje, y ausencia de caída negativa en las curvas aumentando la posibilidad de sobre viraje en curvas.

## **Suspensión semirrígida.**

Es un sistema muy similar al de eje rígido, su diferencia se basa en que posee un elemento adicional en el sistema. En este, los muelles están unidos a unos soportes articulados que se atornillan al diferencial y a una barra que atraviesa el puente reduciendo las vibraciones e inclinaciones.

### **Consideraciones:**

- Aunque las ruedas están unidas por un elemento entre sí, transmiten de forma parcial las oscilaciones del terreno, pero no de forma totalmente independiente. Esto traduce una estabilidad y confort medio, mejor que la de eje rígido, pero con mala respuesta ante desniveles abruptos.
- La función motriz se separa de la función de suspensión disminuyendo cantidad de masa suspendida.
- Mayor complejidad para diseño y manufactura ya que incorpora no solo elementos elásticos sino semirrígidos adicionales para evitar desplazamientos longitudinales.
- Mantiene los parámetros de la rueda prácticamente constantes como los ejes rígidos gracias al anclaje rígido del tubo.

## **Suspensión independiente.**

Está formada por una serie de resortes que aíslan la carrocería de las irregularidades del terreno mediante la oscilación de amortiguadores que transforman parte de la energía cinética transferida en calorífica. Los elementos que

articulan el sistema son brazos, triángulos, tirantes o pilares que accionan amortiguadores y resortes.

**Consideraciones:**

- Todo sistema de suspensión que permita el desplazamiento vertical de una rueda sin afectar a las otras se considera independiente.
- Reducción drástica de la masa suspendida, por lo que las acciones transmitidas al chasis son de menor magnitud.
- Es el sistema que mejor confort y comportamiento dinámico ofrece.
- Es el sistema de uso universal en ejes delanteros de vehículos.
- Mayor costo y complejidad de diseño.
- Mejor rendimiento y comportamiento en superficies irregulares.
- Mantiene las llantas en continuo contacto con la superficie brindando mejor tracción.
- Estructura sencilla de mantenimiento económico.

Tabla 8 Matriz de selección para tipo de Suspensión

<b>Suspensión</b>											
<b>Tipo de suspensión</b>	<b>Estabilidad</b>		<b>Confort</b>		<b>Peso</b>		<b>Espacio disponible</b>		<b>Complejidad</b>		<b>Total</b>
<b>Rígida</b>	Baja	2	Bajo	2	Alto	2	Bajo	4	Baja	5	3.0
<b>Semirrígida</b>	Media	3.5	Medio	3.5	Bajo	4	Bajo	4	Media	3.5	3.7
<b>Independiente</b>	Alta	4.5	Alto	4.5	Bajo	4	Medio	3	Baja	4.5	4.1

Fuente: autor del proyecto.

La suspensión independiente es opción seleccionada, los requerimientos de accesibilidad y de confort de la PMR hace necesario un tipo de suspensión que no realice una inclinación excesiva del puente o elevación abrupta de la estructura, además de ser una opción de menor costo y peso del sistema.

## **Suspensión eje oscilante.**

Se conforma por unos muelles sobre unos elementos articulados conectados al puente trasero, posee un brazo de torsión conectado al puente y el amortiguador va conectado al chasis. En este modelo de suspensión la llanta y el semieje sobre el cual esta soportada forman un conjunto que oscila sobre una articulación en común próxima al plano medio longitudinal del vehículo.

### **Consideraciones:**

- No se usa como eje directriz ya que en el movimiento oscilatorio de los semiejes la caída de las ruedas en las curvas es modificada significativamente causando inestabilidad.
- Funcionamiento sencillo, baja complejidad del mecanismo.
- Buena estabilidad para ejes no directrices.
- La caída de las ruedas en curva es inducida por el peso del vehículo sobre el eje al cual se apoye.
- No usa brazos para soportar la fuerza lateral de empuje sobre la parte inferior de las ruedas en paso de una curva, la inclinación del diferencial respecto al semieje lo mantiene a este paralelo a la carretera. Sin embargo, cuando la fuerza lateral supera la carga sobre el eje del vehículo, la rueda exterior adquiere caída positiva apoyándose sobre su flanco lo que causa una elevación de la estructura del vehículo.
- La arquitectura vehicular seleccionada no contempla diferencial lo que hace a este modelo de suspensión inestable para el diseño propuesto en el caso de la suspensión trasera.

### **Suspensión de Brazos Tirados.**

Posee dos brazos en posición longitudinal conectados al bastidor y a la mangueta de la rueda, las ruedas son tiradas o arrastradas por los brazos longitudinales sobre los cuales se apoyan los elementos elásticos de tipo resorte.

#### **Consideraciones:**

- El muelle se encuentra separado del amortiguador, esto hace que la gestión de las vibraciones no se realice de manera eficiente presentando inestabilidad en terrenos no pavimentados.
- El recorrido de la suspensión es directamente afectado por la longitud de los brazos.
- No necesita estabilizadores longitudinales debido a la geometría y disposición de sus brazos.
- La caída y la vía de las ruedas dependen de la posición e inclinación de los brazos longitudinales variando durante la marcha constantemente mejorando la estabilidad del vehículo.
- Puede utilizar elementos elásticos como muelles o barras de torsión.

### **Suspensión McPherson.**

Utiliza un brazo transversal inferior y un tirante sustituyendo el brazo superior sobre la mangueta por un conjunto muelle amortiguador situado en posición semi horizontal conectado a la carrocería del vehículo.

### **Consideraciones:**

- El brazo, el conjunto amortiguador-muelle y el chasis del vehículo conforman un triángulo deformable que al inclinarse induce una caída negativa en la rueda exterior brindando una estabilidad muy alta.
- Se utiliza ampliamente en ambos ejes, aunque ocupa un espacio de tipo horizontal importante para los maleteros traseros de vehículos pequeños.
- El conjunto muelle-amortiguador se debe soportar sobre rodamiento de agujas o rotula a la mangueta para permitir el giro con la dirección.
- Es una estructura muy sencilla de fabricar y de bajo costo de mantenimiento.
- El área de conexión del conjunto amortiguador debe poseer rigidez para poder absorber esfuerzos transmitidos por la suspensión.
- Es uno de los sistemas que menos espacio ocupa.
- Se dispone de la barra estabilizadora como tirante longitudinal.

### **Suspensión de triángulos superpuestos.**

Es comúnmente llamada suspensión de paralelogramo deformable. Representa uno de los sistemas de suspensiones mecánicas más avanzados incorporando en brazos superiores e inferiores con forma de "A" mayúscula situados de manera transversal además de articulaciones superiores conectados a la mangueta por sus vértices. Cuando la rueda es sometida a un cambio de nivel, los dos brazos que en un principio se encuentran paralelos se deforman comprimiendo los elementos elásticos limitando sus movimientos por topes superiores que protegen los muelles, su gran ventaja es que ofrece inclinaciones de la rueda mayores a las de otros tipos de suspensiones haciéndolas la mejor opción para vehículos de competición.

### Consideraciones:

- Diseño complejo, de alto costo de manufactura pues posee una cantidad considerable de piezas y articulaciones de geometrías complejas que requieren procesos de maquinado.
- Es el tipo de suspensión mecánica de mayor costo de fabricación y mantenimiento.
- Por su geometría permite el desplazamiento vertical recto de la mangueta y la variación de la caída de la llanta está sujeta a la diferencia entre a longitud de sus brazos.
- Ofrece gran rigidez, recorrido y desempeño a altas velocidades.

Tabla 9 Matriz de Selección para tipo de suspension Independiente

<b>Suspensión Independiente</b>											
<b>Tipo</b>	<b>Estabilidad</b>		<b>Confort</b>		<b>Peso</b>		<b>Espacio disponible</b>		<b>Complejidad</b>		<b>Total</b>
<b>Eje Oscilante</b>	Baja	2.5	Medio	3	Bajo	4	Alto	2.5	Media	3	3.0
<b>Brazos Tirados</b>	Alta	4	Alto	4	Bajo	4	Medio	3	Baja	4	3.8
<b>McPherson</b>	Alta	4.5	Alto	4.5	Bajo	4	Bajo	4	Baja	4.5	4.3
<b>Triángulos Superpuestos</b>	Alta	4.5	Alto	4.5	Medio	3.5	Medio	3.5	Media	3.5	3.9

Fuente: Autor del proyecto

Se estudiaron diferentes alternativas a los modelos mecánicos de suspensión teniendo en cuenta los parámetros funcionales y objetivos de diseño. Existen tipos y modelos de suspensión cómo (autonivelante pilotada, hidractiva, hidroneumática, neumática, multilink o multibrazo) las cuales no se abordaron debido a que, aunque son tecnológicamente aplicables al diseño su costo de fabricación, implementación y su alta complejidad se alejan del diseño simple y de bajo costo de manufactura deseado.

La alternativa que mejor se adapta a los parámetros y restricciones del proyecto es la suspensión independiente McPherson tanto para el eje delantero como el eje

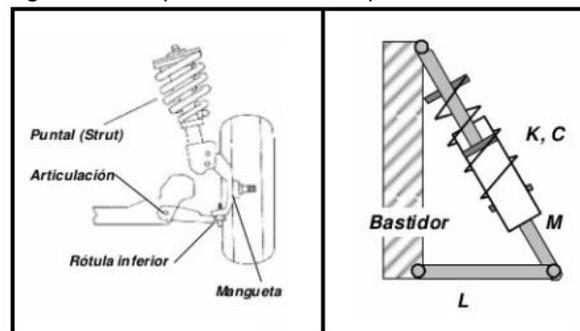
trasero. Su funcionamiento, bajo costo de mantenimiento y diseño simple permite incorporar elementos del bastidor-carrocería al modelo de suspensión proporcionando tanto rigidez como confort y seguridad tanto para los ejes motrices como para los directrices.

Es el modelo de mayor uso actualmente en vehículos comerciales lo que hace que se encuentre una gran gama de elementos que componen el sistema, disponibles en el mercado facilitando su diseño y construcción.

### Diseño de la suspensión.

El sistema de suspensión frontal se compone de 3 elementos principales. Un brazo oscilante en forma triángulo, la mangueta de acople a la rueda y el conjunto muelle amortiguador.

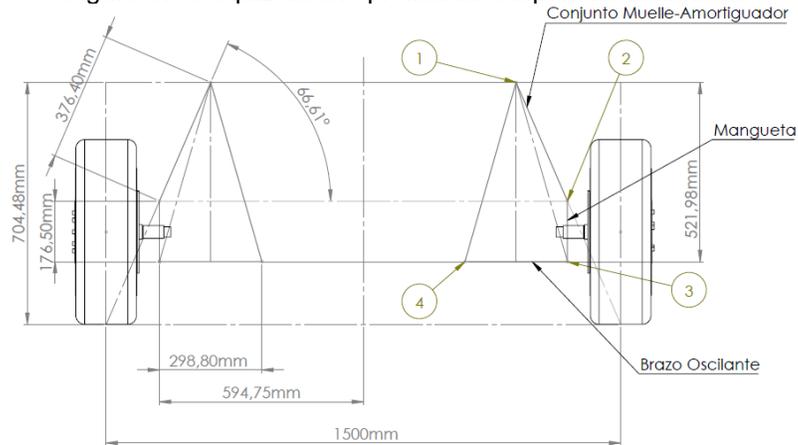
Figura 36 Esquema básico suspensión McPherson



Fuente: Suspensión McPherson (triángulo de lado extensible). [Imagen] Dinámica vectorial – Suspensiones; Criterios de diseño de Vehículos. Centro Politécnico Superior.2010.

Para el dimensionamiento y selección de los componentes se establece la geometría basada en las dimensiones básicas del vehículo y se identifica los puntos de conexión necesarios en el chasis, bastidor y en el conjunto mangueta llanta. Se trazó el croquis base de los elementos que componen el sistema determinando las distancias y ángulos.

Figura 37 Croquis diseño preliminar suspension delantera



Fuente: Autor del proyecto

Se identifican 4 puntos de conexión necesarios y se realiza el diseño, selección y modelado de los elementos y puntos de apoyo a la estructura. Se incorpora un punto de conexión adicional para un elemento de articulación tipo rotula entre el brazo oscilante el punto de conexión inferior de la mangueta que permitirá el movimiento libre la llanta en su función de dirección y suspensión.

## Mangueta

Provee el soporte para el cubo o vástago sobre el que gira la rueda y ofrece la conexión entre la rueda y el sistema de suspensión y dirección. La rueda y el conjunto de freno se sujetan al eje mediante un buje que es portado por la mangueta que sigue el movimiento generado por la dirección o suspensión girando sobre su punto de pivote.

## Funciones de la mangueta

- Transmitir la dirección de las ruedas
- Brindar soporte rígido al cojinete del conjunto eje-rueda.
- Proporcionar soporte en punto fijo para la mordaza de freno.

- Definir la geometría base de la suspensión. (Puntos de sujeción brazo oscilante y conjunto muelle-amortiguador)
- Soportar las cargas de flexión (Situación de curva), torsión (frenado y par motor), compresión (carga de amortiguador y peso de estructura).

Tabla 10 Especificaciones de diseño para Mangueta frontal

Especificaciones de diseño	
Función	Solución
<b>Suspensión:</b> Proporcionar punto fijo para la sujeción de los elementos elásticos de control, permitiendo transmitir las oscilaciones que provienen de la llanta.	Punto de fijación entre el conjunto muelle-amortiguador y la mangueta. El punto de apoyo tipo pasador doble permite soportar con rigidez amortiguador en su punto inferior.
<b>Soporte freno:</b> Proporcionar puntos fijos de sujeción para la mordaza del freno.	Dos puntos de soporte tipo pasador para sujetar la mordaza del freno.
<b>Dirección:</b> Proporcionar punto fijo para la sujeción de la barra de empuje de dirección automotriz.	Punto de conexión para puntera tipo rotula de varilla de empuje.
<b>Cubo o eje:</b> Proporcionar soporte rígido y estable para el cubo o eje de la rueda permitiendo el giro sobre el eje motriz.	Soporte cilíndrico tipo cojinete para eje del conjunto rueda-motor.
<b>Brazo oscilante:</b> Establecer conexión articulada con la estructura del vehículo.	Punto de conexión para rotula de suspensión o cojinete esférico.
<b>Rigidez:</b> Resistir esfuerzos combinados (torsión, flexión, compresión).	Diseñar el elemento en lámina de acero estructural tipo caja aplicando refuerzos transversales.

Fuente: Autor del proyecto.

### Modelado y selección de conceptos para las funciones de la mangueta

Siguiendo las funciones y especificaciones de diseño se generan conceptos alternativos para el desarrollo del modelo de la mangueta. Se evalúan los modelos planteados de acuerdo con el cumplimiento de las necesidades funcionales y objetivas del proyecto estableciendo un valor ponderado para cada factor de diseño: disponibilidad en el mercado, costo, complejidad del diseño, procesos de manufactura, facilidad de fabricación, etc.

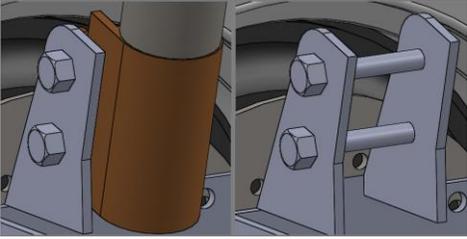
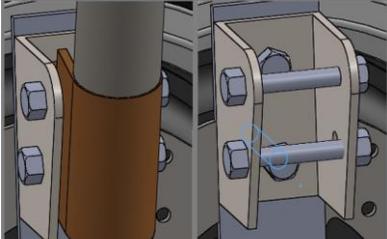
Los puntos de apoyo de los elementos sobre la mangueta deben contar con conexiones utilizadas actualmente en suspensiones tipo McPherson, deben permitir

los movimiento y grados de libertad propios del tipo de suspensión y garantizar la integridad estructural del sistema.

### Selección de concepto para punto de apoyo conjunto Muelle-Amortiguador.

El elemento debe proveer punto de sujeción entre la mangueta y el amortiguador.

Tabla 11 Selección de Punto de apoyo Amortiguador

<b>Conexión conjunto muelle-amortiguador</b>	
A) Conexión directa entre el amortiguador y la mangueta mediante pasador.	B) El amortiguador de conecta mediante un soporte base atornillado a la mangueta.
	

Fuente: autor del proyecto.

Se realiza un análisis de los parámetros de diseño más significativos.

Tabla 12 Matriz de selección conexión conjunto muelle-amortiguador

<b>Conexión conjunto muelle-amortiguador</b>											
Tipo de Conexión	Confiabilidad		Costo		Peso		Espacio disponible		Complejidad		Total
<b>a. Directa</b>	Alta	4.5	Bajo	4	Bajo	4.5	Bajo	4	Media	3.5	4.1
<b>b. Base soporte</b>	Media	3.5	Medio	3.5	Bajo	4	Bajo	4	Baja	4	3.8

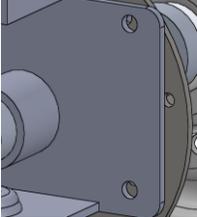
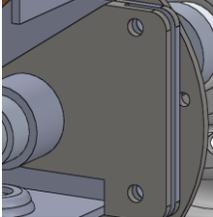
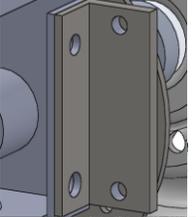
Fuente: autor del proyecto.

La opción seleccionada para la conexión entre la mangueta y el conjunto muelle-amortiguador es la conexión directa. Ofrece un diseño sencillo, una menor cantidad de partes por lo tanto una mayor confiabilidad además de una unión rígida con menor cantidad de holguras en el ensamblaje.

## Selección de concepto para soporte de mordaza del freno.

El tipo de soporte debe mantener fija la mordaza de freno.

Tabla 13 Selección de Punto de apoyo mordaza de freno

Soporte Mordaza del freno		
A) Soporte directo desde la lámina de la mangueta.	B) Soporte a cortante doble sobre lamina soldada.	C) Soporte en Angulo atornillado.
		

Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 14 Matriz de selección conexión mordaza del freno

Conexión Mordaza del freno											
Tipo de Soporte	Confiabilidad		Costo		Peso		Espacio disponible		Complejidad		Total
a.	Alta	4.5	Bajo	4	Bajo	4.5	Bajo	4.5	Bajo	4.5	4.4
b.	Alta	4.5	Medio	3.5	Medio	3.5	Bajo	4.0	Media	3.5	3.8
c.	Media	3.5	Medio	3.5	Medio	3.5	Medio	3.5	Bajo	4.5	3.7

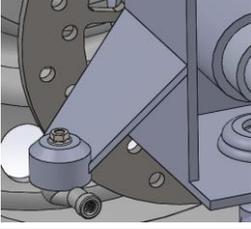
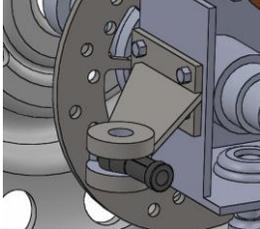
Fuente: Autor del proyecto.

Analizando los datos de la matriz se selecciona la opción a. soporte directo desde lamina de la mangueta, es un diseño sencillo, fácil de construir, permite la variación de la distancia al disco fácilmente mediante platinas y es la opción de menor costo y dificultad de manufactura.

## Modelado y selección de conceptos para el punto de soporte de la barra de dirección

El punto de soporte debe permitir la conexión entre la caja de la dirección y la mangueta, transmitiendo el movimiento del volante a las ruedas.

Tabla 15 Selección de Punto de apoyo conjunto de direccion.

<b>Conexión conjunto dirección</b>	
Soporte de brazo extendido hecho sobre la misma pieza de la mangueta. (Punta terminal de dirección con rotula rod end)	Soporte de brazo extendido hecho sobre una pieza atornillada a la mangueta. (punta terminal de dirección con cojinete esférico).
	

Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 16 Matriz de selección para soporte de conjunto de dirección

<b>Conexión conjunto dirección</b>											
Tipo de Conexión	Confiabilidad		Costo		Peso		Espacio disponible		Complejidad		Total
Rod end	Alta	4.5	Bajo	4.0	Bajo	4.0	Bajo	4.0	Baja	4.0	4.1
Cojinete esférico	Media	3.5	Medio	3.5	alto	3.5	Bajo	4.0	Media	3.0	3.5

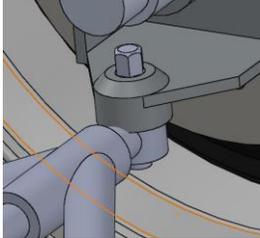
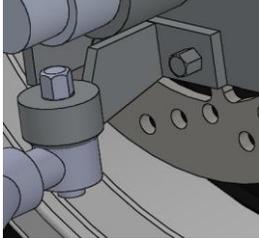
Fuente: autor del proyecto

Se selecciona la opción a., soporte de brazo extendido hecho sobre la misma pieza de la mangueta. (Punta terminal de dirección con rotula rod end) teniendo en cuenta que posee mayor libertad de movimiento y su diseño es más simple debido a las condiciones geométricas y de espacio disponible.

### **Modelado y selección de conceptos para el punto de soporte del brazo oscilante**

Los brazos oscilantes en las suspensiones McPherson usan puntas terminales tipo rotula, deben mantener unida la mangueta al brazo oscilante mientras cambia el ángulo de caída de la llanta.

Tabla 17 Selección de punto de apoyo de brazo oscilante.

Conexión Brazo oscilante	
a. Unión pernada sobre lamina de la misma pieza de la mangueta. (terminal de suspensión tipo end rod).	b. Unión mediante pieza atornillada a la mangueta. (terminal de suspensión tipo end rod).
	

Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 18 Matriz de selección para punto de apoyo de brazo oscilante

Conexión Brazo oscilante											
Tipo de Conexión	Confiabilidad		Costo		Peso		Espacio disponible		Complejidad		Total
	a. Pieza única.	Alta	4.5	Bajo	4.0	Bajo	4.0	Bajo	4.0	Baja	
b. Soporte atornillado	Media	3.0	Medio	3.5	Bajo	4.0	Bajo	4.0	Alta	3.0	3.5

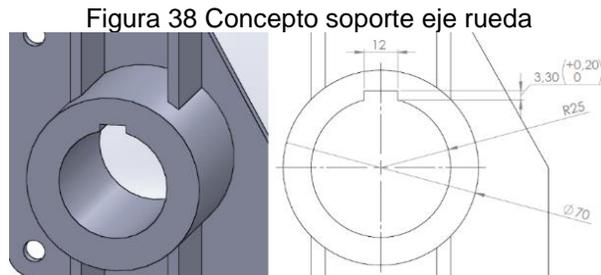
Fuente: autor del proyecto.

Se selecciona la unión sobre pieza única, por la facilidad de fabricación, diseño simple, menor cantidad de piezas por lo tanto mayor confiabilidad y menor costo de manufactura.

### Modelado y concepto para el centro de la rueda

Teniendo en cuenta la arquitectura vehicular seleccionada, el eje motriz está incluido en el conjunto rueda motora sobre el cual gira el estator. El conjunto rueda - motor cuenta con un cojinete interno sobre el cual se soporta el eje, por lo tanto, se hace necesario instalar un soporte cilíndrico para que el sistema se convierta en eje fijo al unirlo a la mangueta sobre la cual se transmitirá la tracción del motor a la rueda.

El concepto se desarrolla como un cilindro de soporte o collarín con chavetero para chaveta paralela estándar de extremos redondos sin agujeros.



Fuente: Autor del proyecto

Tabla 19 Selección de material para la mangueta

Material	Aplicaciones	Consideraciones	Propiedades Mecánicas	
			Límite de Fluencia (mín.) [MPa]	Resistencia a la Tracción (mín.) [MPa]
<b>Acero A572 GR50</b>	Construcción electro-soldada de vigas, pilotes, tolvas dentro de carretera, Vigas para puentes, camas Bajas y estructuras en general.	Acero de calidad estructural de alta resistencia y baja aleación. Disponible en planchas de distintos espesores para trabajar en chapa o soldadura. Excelente soldabilidad.	345	450
<b>Aluminio aleado 7075 T6</b>	Piezas de alta resistencia para transporte, náutica, el automovilismo o la aviación	Alta dureza. Buena maquinabilidad (T6). No es recomendable para realizar soldadura.	505	570
<b>Acero ASTM A36</b>	Construcción de vigas, columnas y estructuras metálicas en general.	Acero de calidad estructural, fácil Soldadura, bajo costo.	250	400
<b>Aluminio 6061 T6</b>	Construcción de estructuras de aeronaves, refacciones industriales y piezas de automóviles.	Fácil de maquinar y resistente a la corrosión. Buena soldabilidad.	275	310

Fuente: autor del proyecto

Tabla 20 Matriz de seleccion de material para la mangueta

Acero	Costo		Soldabilidad		Maquinado		Disponibilidad		Propiedades Físicas	Total
<b>A572 Gr. 50</b>	Bajo	5.0	Alta	4.5	Medio	3.5	Alta	4.5	4.0	4.3
<b>Aluminio aleado 7075 T6</b>	Alto	2	Media	3.5	Alto	4.5	Media	3.0	4.5	3.5
<b>Acero ASTM A36</b>	Bajo	5.0	Alta	4.5	Bajo	2	Alta	4.5	3.0	3.8
<b>Aluminio 6061 T6</b>	Alto	2.0	Alta	4.0	Alto	4.0	Media	3.5	3.5	3.4

Fuente: autor del proyecto

Se selecciona el acero A572 por que se asegura una buena relación costo - función, excelente soldabilidad y facilidad para aplicar los procesos de manufactura de soldadura y maquinado. Es un acero de uso común en la industria y su accesibilidad en diferentes espesores de placa lo hace opción versátil para el diseño.

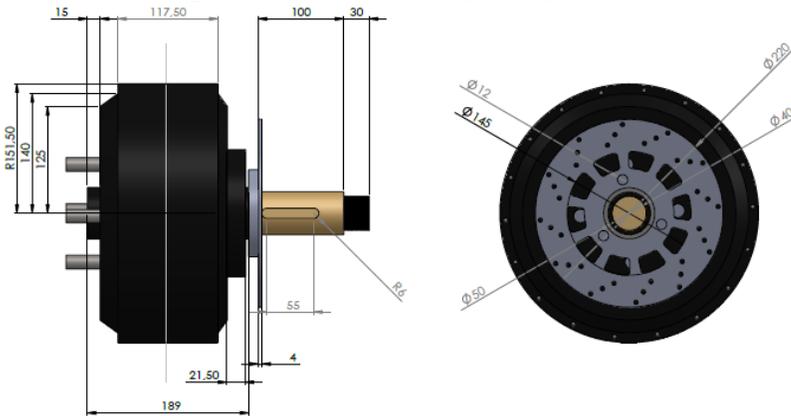
### **Proceso de diseño y modelado de la mangueta**

El cuerpo de la mangueta se construye a partir de una placa metálica de acero A572 Grado 50, sobre la cual se disponen las conexiones seleccionadas para cada función específica. Se traza el croquis principal teniendo en cuenta los datos geométricos calculados en el bosquejo de la suspensión los cuales establecen las dimensiones para los puntos de función y su distancia al centro del eje.

Para el bosquejo del croquis se superponen los puntos de interacción de los elementos pertenecientes a los sistemas que conectan la mangueta con el resto del vehículo. Estos sistemas proporcionan restricciones geométricas y de funcionalidad dando forma al concepto de la mangueta.

Como inicio del proceso se realiza un croquis según las dimensiones que ofrece el modelo del conjunto eje motor que porta el centro de rueda, para eso se realiza el modelo bajo dimensiones obtenidas del plano proporcionado por el fabricante.

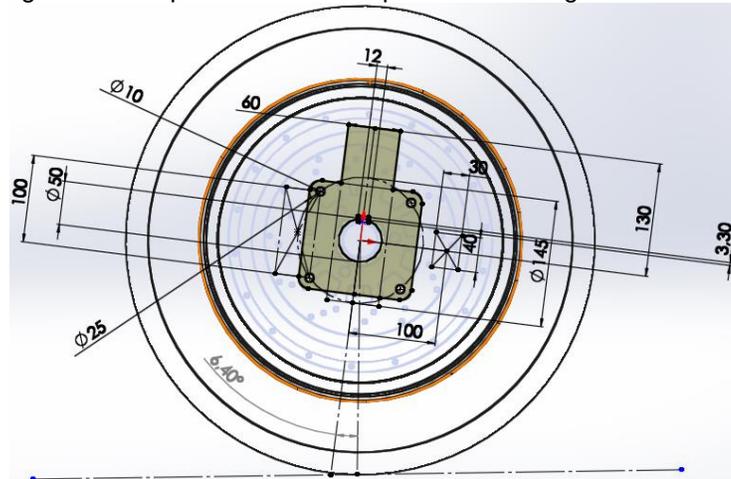
Figura 39 Modelo de Conjunto eje motor



Fuente: Autor del proyecto

Adicionalmente se añaden al croquis los puntos de contacto de los sistemas de frenado, dirección y control, se establece un ángulo positivo de avance para la rueda y se dimensiona el elemento generando un plano de geometría base para la placa principal que compone la mangueta.

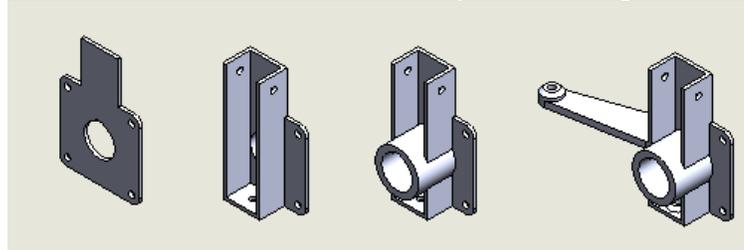
Figura 40 Croquiz modelo conceptual de la Mangueta Delantera



Fuente: Autor del proyecto

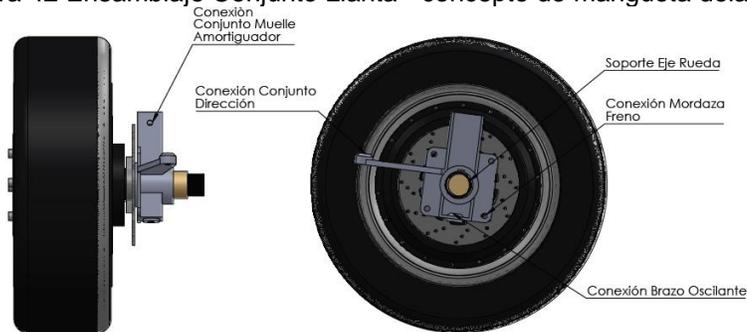
Se incorporan al croquis los elementos funcionales obtenidos mediante la selección de los conceptos previos para el ensamblaje de la mangueta.

Figura 41 Proceso de modelado del concepto de la Mangueta delantera



Fuente: Autor del proyecto

Figura 42 Ensamblaje Conjunto Llanta - concepto de mangueta delantera

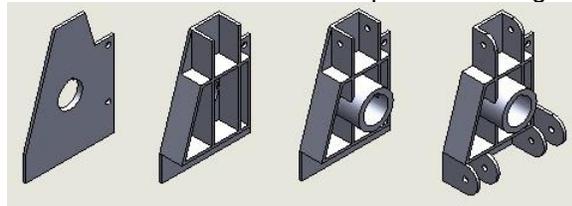


Fuente: Autor del proyecto

### Mangueta trasera.

Para el diseño de este elemento se toma como base la geometría de la mangueta delantera y se eliminan los componentes que no son funcionales como el componente del brazo de dirección y la conexión del brazo oscilante, teniendo en cuenta que el movimiento de esta llanta será limitado al plano vertical ya que se trata de las ruedas traseras, las cuales no poseen la función de dirección vehicular.

Figura 43 Proceso de modelado del concepto de la Mangueta delantera

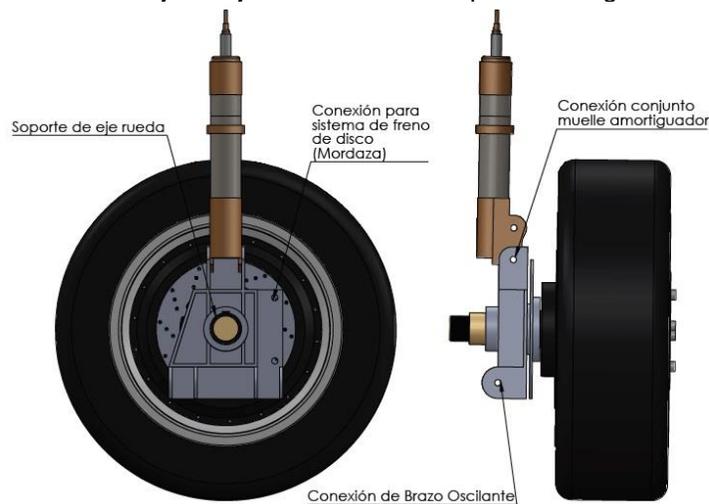


Fuente: autor del proyecto

La conexión para el brazo oscilante será de tipo pivote con doble pasador en donde reposaran los cojinetes elásticos.

Las funciones de la mangueta se incorporan para realizar las conexiones de los subsistemas del vehículo.

Figura 44 Ensamblaje Conjunto Llanta - concepto de mangueta delantera



Fuente: autor del proyecto.

### **Brazo oscilante.**

Este elemento también conocido como trapecio o brazo de suspensión se constituye generalmente de dos elementos longitudinales o transversales articulados entre la carrocería y la mangueta mediante conexiones tipo pivote sobre elementos elásticos conocidos como silenblocks y elementos de guiado como las rotulas de dirección.

#### **8.1.5 Diseño Mecánico**

En el diseño mecánico se aborda el cálculo y la selección de los sistemas no construibles del vehículo, se establecen las especificaciones técnicas, modelos y referencias de los principales subsistemas de tracción, control suspensión.

## Cálculo del conjunto de tracción.<sup>80</sup>

En el cálculo del conjunto de tracción de un vehículo, el parámetro de función más importante es la potencia. Para calcular la potencia de avance necesaria para el vehículo, se modela el cálculo del consumo energético en función de las condiciones de desempeño y características especificadas por el diseño.

Para el cálculo de la cadena cinemática del vehículo, es necesario determinar la resistencia total al avance de acuerdo con el DCL del vehículo como la suma de todos los factores que se oponen a la fuerza de tracción ejercida por el vehículo. Para ello se establecen las siguientes consideraciones:

Velocidad Máxima=30 [km/h]

$r_{\text{wheel}}$ =radio de la rueda=0,269[m]

Masa =800[kg] (incluye todos los componentes y ocupantes del vehículo).

gravedad=9,81 [m/s<sup>2</sup>]

GVW= Carga bruta del vehículo [N]

eficiencia del motor  $\eta$  =0,92<sup>81</sup>

Tenemos que:

$$GVW = Masa_{\text{vehiculo}} * gravedad$$

$$GVW = 800[Kg] * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$GVW = 7848[N]$$

Se asume el coeficiente de resistencia a la rodadura promedio para condiciones de manejo sobre asfalto en buenas condiciones. Rango (0.012-0.04)

---

<sup>80</sup> CHAUHAN, Saurabh. Motor Torque Calculations For Electric Vehicle. En: International journal of scientific & technology research. IJSTR, Agosto, 2015, vol. 4, nro.8, Disponible en: <http://www.ijstr.org/research-paper-publishing.php?month=aug2015>, ISSN 2277-8616

<sup>81</sup> QS MOTORS. Kit de conversión QS Motor 273 8000W 4wd 96V. [en línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2KQVrGt>

$$C_{RR} = \text{Coeficiente de resistencia a la rodadura} = 0,012^{82}$$

Cálculo de resistencia a la rodadura sobre la pendiente máxima del campus ( $\varphi = 18^\circ$ ).

$$\begin{aligned} RR &= GVW * C_{RR} \\ RR &= 7848[N] * 0.012 \\ RR &= 94.176[N] \end{aligned}$$

Se realiza el cálculo de la fuerza resultante sobre el vehículo en una pendiente debido a la fuerza de la gravedad denominado grado de resistencia.

$$\begin{aligned} GR &= GVW * \text{sen}(\varphi) \\ GR &= 7848[Kg] * (\text{Sen}18) \\ GR &= 2425.1 [N] \end{aligned}$$

Cálculo de la fuerza de aceleración necesaria para alcanzar una velocidad requerida en un tiempo específico.

Tenemos que:

$$\begin{aligned} V_{final} &= 8.333 \left[ \frac{m}{s} \right] = 30 \left[ \frac{km}{h} \right] \\ V_{inicial} &= 0 \left[ \frac{m}{s} \right] \\ t &= 10 [s] \end{aligned}$$

$$V_{final} = V_{inicial} + a_{requerida} * t$$

$$a_{requerida} = \frac{8.333 \left[ \frac{m}{s} \right]}{10[s]}$$

---

<sup>82</sup> NICE. Karin. How stuff works: How tires work. How Tires Support a Car. [Blog]. Consultado: 19 de noviembre de 2019. Disponible en: <https://auto.howstuffworks.com/tire4.htm>.

$$a_{requerida} = 0.8333 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

Con la aceleración se calcula la fuerza necesaria para mover la carga total que representa el vehículo.

$$FA = Masa \text{ de Vehiculo} * a$$

$$FA = 800[Kg] * 0.8333 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$FA = 666.64[N]$$

El cálculo de la fuerza de tracción total necesaria para mover la carga a la velocidad final esperada sería la suma de la fuerza de resistencia a la rodadura, el grado de rodadura y la fuerza de aceleración así:

$$TTE = RR + GR + FA$$

$$TTE = 94.176[N] + 2425.1[N] + 666.64[N]$$

$$TTE = 3185.9[N]$$

Con la fuerza de tracción total se calcula el torque necesario para proporcionar por el motor (Par motor del vehículo).

$$\tau = TTE * r_{wheel}$$

$$\tau = 3185.9[N] * 0,269[m]$$

$$\tau = 857 [N.m]$$

Para calcular la potencia necesaria del sistema de tracción es necesario conocer la velocidad angular de la rueda.

$$\omega = \frac{V_{final}}{r_{wheel}}$$

$$\omega = \frac{8.333 \left[ \frac{m}{s} \right]}{0,269[m]}$$

$$\omega = 30.9777[rad/s]$$

La potencia teórica en función de la velocidad angular sería:

$$\begin{aligned}Pot_{teórica} &= \tau * \omega \\Pot_{teórica} &= 857 [N.m] * 30.9777[rad/s] \\Pot_{teórica} &= 26547.88[W]\end{aligned}$$

Luego se normaliza teniendo en cuenta la potencia del conjunto motriz sería.

$$\begin{aligned}Pot_{necesaria} &= \frac{Pot_{teórica}}{\eta_{motor}} \\Pot_{necesaria} &= \frac{26547.88[W]}{0.92} \\Pot_{necesaria} &= 28856 [W]\end{aligned}$$

La potencia del conjunto motriz calculada es de 28856[W] sin embargo, la arquitectura del vehículo establece que se compone de cuatro motores (uno para cada rueda) lo que define la necesidad de encontrar el conjunto motriz donde la sumatoria de potencia alcance un valor mayor a 29[KW].

### **Selección del conjunto de tracción**

Se realizó una búsqueda de alternativas comerciales para la selección del conjunto motor, aunque la tecnología es nueva y se encuentra en fase de desarrollo se ha encontrado una única opción comercial y tecnológicamente aplicable. Hace parte de un kit de conversión automotriz eléctrico utilizado en pequeños vehículos tipo micro, alguno sedán pequeños y utilitarios. Este kit es un sistema probado en vehículos de hasta 1600[kg] e incluye los elementos necesarios para convertir un vehículo de combustión interna, ofreciendo rendimiento y confiabilidad. Sus principales ventajas radican en la simplicidad de su implementación en cualquier tipo de vehículo, eliminando la necesidad de caja de transmisión o embrague como se espera del tipo de arquitectura elegido.

El sistema está conformado por 4 motores sin escobillas (motor de imanes permanentes) tipo eje sin llanta de 8000[W] cada uno, enlazados con un controlador APT96600 y admite un voltaje de (72-144V). Tiene soporte para sistema de frenado regenerativo y sistema de freno de disco integrado.

Tabla 21 Especificaciones técnicas del conjunto motor.

Elemento	Descripción
<p>4 motores Tipo BLDC Referencia: QS Motor 8000 273 50H V3 E- Car Hub Motor</p> 	<p>Cubo motor con capacidad para llanta de 14 pulgadas, Capacidad de Diámetro interno CB <math>\geq</math>60mm. Espaciador de rueda PCD 5 112mm, CB60mm. Altura del imán: 50 mm, 16 pares de polos. Estator: Núcleo de aluminio. Voltaje nominal: 96V por defecto (48V-144V, opcional). Potencia nominal: 8000W (pico de 20kW en pocos segundos). Velocidad: 120KPH por defecto. kV: 6.0 / 9.0 / 13.0 (por defecto) /14.9/18.0/19.4. Par máximo: aproximadamente 350N.m Eficiencia máxima: 86-91% Corriente continua de la batería: 104A (96V) Corriente máxima de la batería: 210A (96V) Sugerir corriente de fase máxima: 530-660A Sonda térmica: KTY83 / 122 (por defecto, opcional) Tipo de freno: freno de disco, PCD3 * 80mm-M8, CB 58mm (por defecto) Conjunto de doble sala con conectores impermeables Ángulo de fase del sensor Hall: 120 grados Grado impermeable: IP54 Peso neto: NW / GW: 23.0kg / 24.7kg cada uno.</p>
<p>4 Controladores de motor sinusoidal Referencia: APT96600,96V 8Kw</p> 	<p>Controlador programable con función inversa y capacidad de sistema de frenado regenerativo. Rango de voltaje de batería configurable, B +. Rango de funcionamiento máximo: 42/ V a 120. Corriente de fase pico: 600A. Peso neto: 5.9 kg Modo de prueba: Sensor Hall</p>
<p>Pedal Acelerador Modelo: JKH</p>	<p>Voltaje de entrada: 5 V Voltaje de salida: 0.8-4.2V 4 o 5 cables con interruptor</p>

	
<p><b>Interruptor</b></p> 	<p>Interruptor digital de tres engranajes, proporciona función DNR (Neutro, reversa y avance).</p>
<p><b>Convertidor DC</b></p> 	<p>Voltaje de entrada: 48 V-96 V voltaje nominal  Corriente de entrada: 10A  Corriente de salida: Pico 10 a.  USB de salida: 5 V 1A  Potencia de funcionamiento: ≤100W (utiliza dentro de esta potencia)  Dimensiones: 9X5X3,5 CM (largo X ancho X Alto)  Descripción del Cableado: CC: rojo +, negro-, salida amarilla  Sección de entrada: el rojo es positivo, se puede acceder al terminal de salida de la línea del interruptor de la cerradura de la puerta eléctrica y al cable negro al negativo común;  Sección de salida: Línea Amarilla de 12 V positiva, la línea negra es negativa común;  Características: Protección de cortocircuito, Protección contra sobre corriente, Protección contra sobretensión.</p>
<p><b>Sistema de freno de disco</b></p> 	<p>Sistema de freno hidráulico con pistón de 38mm.  Función de Freno de accionamiento mecánico.  Freno de pie de servicio hidráulico.  Longitud de la bomba trasera: 100 cm  Longitud de la bomba delantera: 110 cm  Longitud de la bomba principal: 240 cm  Conector de manguera en forma de T  Placa de freno de disco de 220mm y tornillos (PCD 3*80mm, CB58mm, grosor de 4mm)  Adecuado para motores QS Motor 273 de eje único.</p>

Fuente: QS MOTORS. Kit de conversión QS Motor 273 8000W 4wd 96V. [en línea].

### **Cálculo del Sistema de frenado.**

El sistema de frenos es utilizado para reducir el avance o la velocidad de avance de un vehículo en el menor tiempo posible de manera segura sin perturbar la estabilidad. Por esto, las ruedas del vehículo deben detenerse al mismo tiempo en

función del disco de freno. El sistema tambor - disco, proporciona un mecanismo de fácil montaje y poco mantenimiento en un diseño compacto de fácil adaptación al espacio en el cubo de la rueda cerca al disco.

Se evalúa el sistema de frenos de acuerdo con los siguientes parámetros obtenidos del fabricante del kit motor QSmotor.

Masa de aplicación al pedal  $\approx 17$  [Kg]

Relación del pedal = 6:1

Diámetro del embolo = 19 mm

Diámetro de la pinza = 40 mm

Diámetro del freno de disco = 220 mm

Tamaño de la rueda = 14 pulgadas

Masa del vehículo = 800 [Kg]

Se calcula la carga aplicada al pedal del freno

De acuerdo con la relación de fuerza que posee el pedal, se calcula la fuerza de presión ejercida por pisar el pedal de freno:

$$F_{presión} = f_{pedal} * rel_{pedal}$$
$$F_{presión} = [17[Kg] * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]] * 6 = 1000.6[N]$$

Con el área del embolo se calcula la presión ejercida por acción del embolo:

$$P_e = \frac{F_{presión}}{area_{embolo}} =$$

$$P_e = \frac{1000.6[N]}{\left(\frac{\pi}{4}\right) * 19^2[mm]}$$

$$P_e = 3,52 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

Con la presión ejercida por el embolo se calcula la presión sobre el pistón de la pinza así:

$$P_e = \frac{F_p}{A_{pc}}$$
$$3,52 \left[ \frac{N}{m^2} \right] = \frac{F_p}{\left( \frac{\pi}{4} \right) * 40[mm]}$$

$$F_p = 4434.79[N]$$

Se calcula la fuerza del pistón dual:

$$F_p = 2F_p$$

Para calcular la fuerza de frenado se considera un coeficiente de fricción de 0,55 ya que esta pinza utiliza una pastilla de frenado de código G.

$$F_b = \mu * F_p$$
$$F_b = 0,55 * 4434.79[N] * 2$$
$$F_b = 4878,27[N]$$

Con la fuerza de frenado se puede calcular el torque de frenado aplicado:

$$\tau_f = F_b * R_{eff}$$

El radio efectivo de frenado es el promedio entre el radio mayor y el radio menor del disco

$$R_{eff} = \frac{R + r}{2}$$
$$\tau_f = 4878,27[N] * \frac{110[mm] + 90[mm]}{2}$$
$$\tau_f = 487826,9[N * mm]$$

Se determina la fuerza total de frenado:

$$F_{ftotal} = \frac{\tau_f}{r_{llanta}}$$

$$F_{ftotal} = \frac{487826,9[N * mm]}{14 * 25,4 * 0,95}$$

$$F_{ftotal} = 1444,04 [N]$$

$$F_{ftotal} = 1444,04 [N] * 4 \text{ pistones} = 5776,1[N]$$

Se considera como fuerza de frenado la resistencia a la rodadura sumada a la fuerza total de frenado:

$$r_r = \mu_k * m * g$$

Donde  $\mu_k = 0,04$  (coeficiente cinético para asfalto-caucho).

$$F_{ftotal} = 5776,1[N] + 0,04 * 800[Kg] * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$F_{ftotal} = 6090[N]$$

Se calcula la desaceleración:

$$F_{ftotal} = m * a$$

$$a = \frac{6090[N]}{800[Kg]}$$

$$a = 7,61 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

Tomando como cero la velocidad final. se tiene:

$$v_f = v_o - a * t$$

$$t = \frac{8,33 \left[ \frac{m}{s} \right]}{7,61 \left[ \frac{m}{s^2} \right]}$$

$$t = 1,09 [s]$$

Con el tiempo de frenado se calcula la distancia de frenado:

$$x_f = \frac{1}{2} * a * t^2$$

$$x_f = \frac{1}{2} * 7,61 \left[ \frac{m}{s^2} \right] * 1,09^2 [s]$$

$$x_f = 4,52[m]$$

Se obtiene una distancia de frenado de 4,52[m] desde su velocidad máxima en un rango de 1.1 [s] lo que representa un buen valor de seguridad para el manejo teniendo en cuenta que se operará el vehículo en un entorno cerrado con tránsito a bajas velocidades.

### **Cálculo de la batería**

El nivel de voltaje de la batería determina la potencia eléctrica máxima que se puede suministrar de forma continua. La corriente del motor eléctrico debe limitarse para evitar grandes pérdidas por resistencia de los cables, por esto se debe trabajar siempre en el orden los valores nominales. Para el caso de motor BLDC, la tensión nominal según el catálogo es de 96[V].

Se supone la autonomía deseada en 50[km], para una conducción constante a 30 [km/h] que es la velocidad límite e instante de mayor consumo energético por parte del motor.

Para el cálculo asumimos una rata promedio de 259 [W\*h] / mi.<sup>83</sup>

$$\frac{\text{wh por milla}}{\text{voltaje de paquete}} = \text{Ah} * \text{milla}$$

---

<sup>83</sup> Evpropulsion. "Los CONVERSIONISTAS EV "[Blog]. Disponible en: <http://www.ev-propulsion.com/EV-calculations.html>

$$\frac{259 \left[ \frac{W * h}{mi} \right]}{96[V]} = 2,6979Ah * milla$$

Entonces, el coche transita a una rata de 2,6979Ah \* milla

Considerando la descarga de ciclo profundo no inferior al 20 % se infiere multiplicando el valor así:

$$2,6979Ah * milla * 1.2 = 3,23Ah * milla$$

Entonces para recorrer 50 [km]=31.06[mi] necesitaría:

$$2,6979Ah * milla * 31.06[mi]^{1,2} = 100,556 [Ah]$$

### **Selección del sistema dirección.**

La dirección es el sistema clave que conecta al conductor y vehículo. La dirección debe ser precisa, sin juego, suave, compacta y ligera proporcionando al conductor la posibilidad de mantener el rumbo preciso del vehículo.

Existen diferentes tipos de dirección de acuerdo con el mecanismo de trabajo, la dirección por sistema de bolas recirculantes, por piñón y cremallera, Sistema de dirección hidráulica, Sistema de dirección electrohidráulico. Los sistemas hidráulicos y electrohidráulicos no se abordan como alternativa de solución debido a su complejidad, necesidad de sistemas adicionales costo y número de componentes.

## Consideraciones.

En el sistema de dirección se busca que la opción esté representada por las siguientes características:

- Compacto.
- Gran confort de manejo.
- Simple y económico.
- De fácil instalación, adaptación y mantenimiento.
- Liviano y de bajo espacio disponible.

Tabla 22 matriz de selección para mecanismo de dirección

Mecanismo de dirección									
Tipo	Espacio disponible		Peso		Complejidad		Estabilidad		Total
Sistema de dirección piñón y cremallera.	Bajo	5	Bajo	5	Baja	4.5	Alta	4.5	4.75
Sistema de bolas recirculantes.	Alto	3	Alto	3.5	Alta	3	Media	3.5	3.25

Fuente: autor del proyecto

La opción seleccionada es el sistema por medio de piñón cremallera, es una opción compacta, de amplio uso comercial y amplia gama disponible. Su ventaja específica es que proporciona un sistema simple, compacto y ligero con una buena respuesta y una sensación de manejo con gran rendimiento mecánico debido a su mecanismo desmultiplicador.

## Geometría del sistema de dirección.

Entre dos direcciones básicas mecanismos, es decir, mecanismo de cremallera y piñón y bola de recirculación, se eligió el método de cremallera y piñón considerando varios parámetros tales como disponibilidad, ampliamente utilizado y costo.

En el sistema de piñón y cremallera, se tiene un piñón conectado al eje de la dirección, es decir, al girar el volante se gira el piñón que mueve el estante. El engranaje de cremallera y piñón está encerrado en un tubo de metal, con cada extremo del bastidor sobresaliendo del tubo.

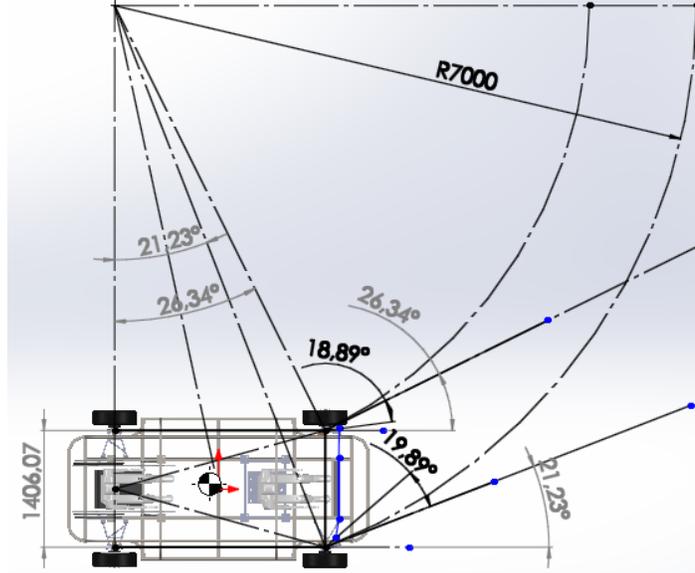
El mecanismo de piñón cremallera convierte el movimiento de rotación del volante en el movimiento lineal necesario para girar las ruedas proporcionando facilidad en el giro de las ruedas por la reducción de engranaje. La barra de acoplamiento se conecta al bastidor a través de una rotula giratoria que hace cambiar de posición la llanta dando la dirección deseada.

### **Geometría de Ackerman**

Cuando el vehículo recorre una curva debe cumplir condición geométrica conocida como principio de Ackerman, en ella los ejes de todas las ruedas deben concurrir en un mismo punto conocido como, centro instantáneo de giro. La mangueta de la rueda interior gira en un ángulo mayor al de la rueda exterior. En este tipo de geometría se crea un paralelogramo entre los brazos de la dirección y la barra de acoplamiento, que produce un ángulo de giro mayor en la rueda interior que en la exterior.

Se establecen los parámetros de diseño según las características geométricas del vehículo. Para el caso puntual de este tipo de dirección es necesario usar el método geométrico mediante aproximación con software de diseño CAD SolidWorks. Debido a que la dirección se encuentra ubicada en el frente del vehículo después del eje delantero y la llanta hace el pivote de giro en una distancia diferente al ancho de vía por las características geométricas del diseño de la mangueta.

Figura 45 Geometría de ackerman para el vehículo



Fuente: Autor del proyecto.

Para formar la compensación geométrica se establecen las dimensiones reales de las distancias tales como: ancho de vías, batalla del vehículo. Se realizan los croquis de trayectoria curva para cada rueda desde un mismo centro de giro, así como la dirección tangente de las ruedas y la posición del brazo de dirección de cada mangueta. Posteriormente se realiza la aproximación por tanteo del valor del radio de giro encontrando en un valor de 7m similitud en los ángulos de compensación del mecanismo de 6 barras formado por el conjunto de dirección.

## 9. EVALUACION

### 9.1 Análisis estructural

Los procesos de simulación brindan soluciones aproximadas en el cálculo de esfuerzos, tensiones y deformación presentes en un elemento estructural. La simulación permite aproximarse a la solución válida bajo los parámetros establecidos sin la necesidad de realizar ensayos destructivos presentado una alternativa económica para el diseño.

Para este caso de diseño se establecen críticos los siguientes casos hipotéticos:

**Frenado abrupto:** Se considera la situación de frenado abrupto de las 4 llantas desde su velocidad máxima a 0, esperando que la integridad estructural de los elementos críticos no se vea comprometida por la transferencia de cargas.

**Impacto frontal:** Caso de carga en el que se simula una situación de impacto frontal contra un elemento totalmente rígido a la velocidad máxima teórica. Se espera que la deformación de la estructura sea tal que no haga contacto o afecte a los ocupantes por contacto directo.

**Volcadura:** Se considera una situación hipotética de caída libre en posición totalmente invertida desde una altura aproximada de un metro. Se espera que el coche no colapse por acción de las cargas del vehículo ni sobre su propio peso.

Habiendo encontrado las soluciones válidas tanto para el conjunto de manguetas, así como para el chasis o bastidor tubular, se realizará el análisis de las imágenes

en su código de colores resultantes señalando y evaluando los parámetros mínimos y máximos de tensiones, desplazamientos y factor de seguridad.

Cada simulación se realiza bajo los siguientes pasos:

**Condiciones de contorno:** Se establecen los puntos fijos de la estructura teniendo en cuenta el tipo de sujeción y situación concreta de carga.

**Aplicación de cargas:** Se aplican las fuerzas y momentos resultantes del cálculo teórico bajo la situación crítica determinada sobre los puntos de contacto de los elementos.

**Mallado y resolución:** Se establecen los parámetros de mallado ajustado la densidad y tamaño necesario para el cálculo y se realiza la resolución teniendo en cuenta un análisis por convergencia menor al 5% como medida de ahorro en el cálculo computacional.

#### 9.1.1 Consideraciones de simulación.

Para todas las situaciones de carga se consideran las siguientes condiciones de referencia.

La gravedad tiene un valor de:  $g = 9.81[\text{m/s}^2]$

El peso total del vehículo es de:  $w = 800 [\text{Kg}]$

Las uniones soldadas se consideran como uniones rígidas estableciendo un modelo de una sola pieza.

Se mostrará y analizará sólo los conceptos válidos finales para la pieza.

#### Cálculo de cargas sobre la estructura

La mangueta delantera debe soportar los esfuerzos generados por las cargas sobre la rueda. Se considera la situación de frenado como la de mayores esfuerzos

generados sobre la pieza ya que en ella todos los elementos móviles de y fijos del vehículo transfieren la mayor transferencia de cargas sobre la pieza por el cambio abrupto y la inercia del movimiento.

### **Cargas por frenado**

Para calcular las cargas por frenado se considera la velocidad máxima del vehículo (30km/h) y su desaceleración en 2 segundos como medida de seguridad.

La desaceleración se calcula mediante:

$$-a = \frac{V_f - V_o}{t}$$

“donde:

A= desaceleración

Vo= Velocidad Inicial =30km/h

Vf= velocidad Final = 0km/h

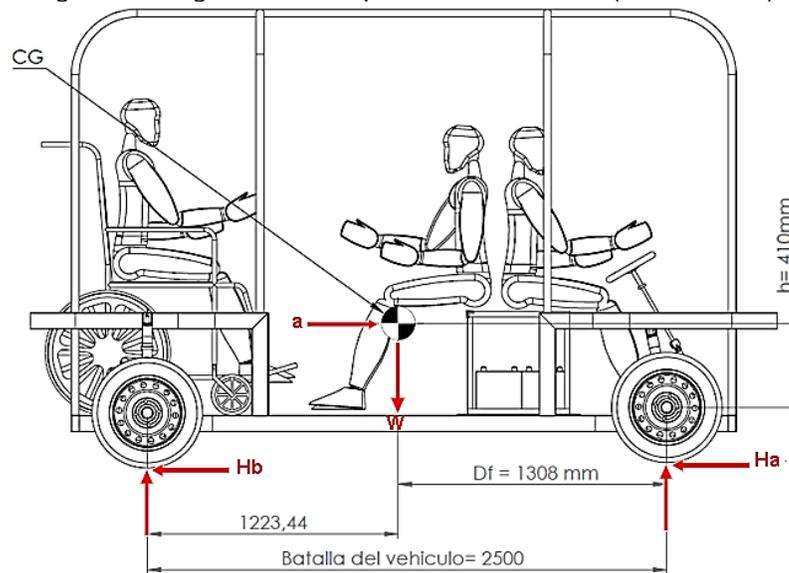
t= 2 segundos

Sustituyendo:

$$-a = \frac{0 - 8,333}{2} = -4.15 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$= -0,4232 g$$

Figura 46 Diagrama de cuerpo libre del Vehículo (Vista Lateral)



Fuente: autor del proyecto

$H_a$  = fuerza de fricción en la llanta delantera.

$H_b$  = fuerza de fricción en la llanta trasera.

$m$  = Masa total del vehículo = (masa pasajeros + masas chasis vacío + masa conjunto motor + masa banco de baterías + masa subsistemas) = 800kg

$B_v$  = Batalla del vehículo = 2,5m

$D_f$  = Distancia al eje delantero = 1.308m

$h$  = altura al centro de gravedad = 0.41m

Se realiza sumatoria de momentos en el punto B (Contacto de ruedas traseras con el suelo) para calcular la transferencia longitudinal de masas.

La transferencia longitudinal de masas está definida por:

$$\Delta f_x * B_v = h * m * \pm a$$

$$\Delta f_x = \frac{(0.41 * 800 * 0.4232)}{2.5} = 544.48[N]$$

La carga total vertical se calcula sumando la carga de la masa total del vehículo más la carga por transferencia de masa longitudinal así:

$$C_T = W + \Delta f x$$

$$C_T = \left(800Kg * 9,81 \frac{m}{s^2}\right) + 544.48[N]$$

$$C_T = 8392,4 [N]$$

### Carga por torsión de frenado

Utilizando la segunda ley de Newton Se determinan las reacciones en cada rueda mediante sumatoria de fuerzas del DCL del vehículo.

$$\sum Fx = m * a$$

$$Ha + Hb = m * a$$

$$Ha = Fa * \mu f$$

$$\sum Fy = m * g$$

$$Fa + Fb = Wg$$

Donde:

Fa= fuerza de Normal en A.

Fb= fuerza de Normal en B.

$\mu f$  = coeficiente de fricción = 1.1

$m_{neumatico} = 7.2Kg$  (valor nominal para llanta de 14 pulgadas)

De la sumatoria de momentos en A se deduce:

$$\sum MA = I$$

$$-Fb * Bv + m * g * Df - m * a * h = \frac{1}{2} m_{neumatico} * r_{dinamico}^2$$

$$Fb = \frac{-\frac{1}{2} m_{neumatico} * r_{dinamico}^2 - m * g * Df + m * a * h}{Bv}$$

$$F_b = \frac{-\frac{1}{2}(7,2kg) * 0.269m^2 - 800[Kg] * 9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right] * 1.308[m] + 800 * 9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right] * 0.41[m]}{2.5[m]}$$

$$F_b = 2819.1[N]$$

Con el valor de la Fuerza normal en B se calcula la fuerza normal y de fricción en el punto A.

$$F_a = 7848[N] - 2819.1[N] = 5028.9[N]$$

$$H_a = F_a * \mu_f = 5028.9[N] * 1.1 = 5531.79[N]$$

$$H_b = 7848[N] - 5531.9[N] = 2316.1[N]$$

Para calcular el par de torsión generado por el frenado del neumático y aplicado a las manguetas, se multiplica la resultante de la fuerza horizontal por el radio del neumático. Esta sería la misma carga que se aplica a los soportes de la mordaza de freno.

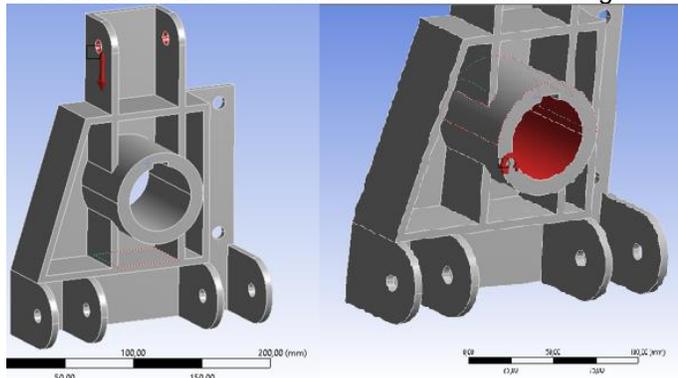
$$M_a = \frac{5531.79[N]}{2} * 0.269[m] = 744.02[N.m]$$

$$M_b = \frac{2316.1[N]}{2} * 0.269[m] = 311.51[N.m]$$

### **Análisis de las manguetas delanteras y posteriores**

Para el análisis por elementos finitos de las delanteras y posteriores se considera la situación de frenado abrupto como el escenario de mayor esfuerzo estructural. Debido a al diseño de la suspensión McPherson se recibe la carga sobre el conjunto amortiguador transmitiéndose al punto de conexión superior.

Figura 47 Análisis FEM - Condiciones de contorno- Mangueta trasera



Fuente: autor del proyecto

La carga total vertical se aplica sobre el punto de conexión del amortiguador, ajustando como condición límite fija el apoyo inferior del brazo oscilante y aplicando el par motor sobre el punto de conexión del conjunto eje motor teniendo como límite fijo los puntos de sujeción de la mordaza del freno de disco.

Tabla 23 Cargas que se aplican para la simulación de las manguetas

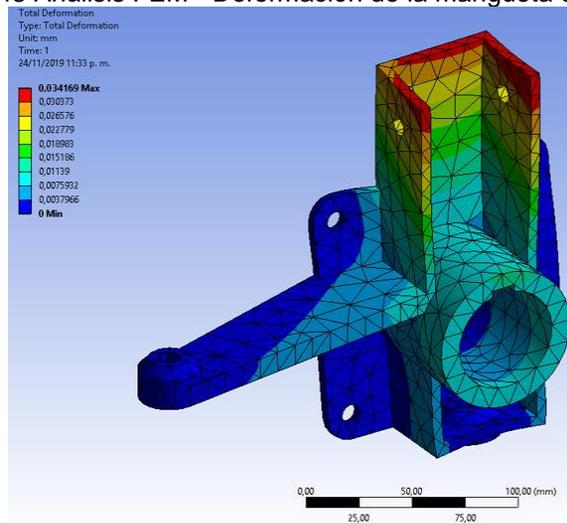
<i>Cargas por torsion de frenado para magueta delantera y posterior</i>	$Ma = 744.02[N.m]$ $Mb = 311.51[N.m]$
Fuerzas por transferencia de pesos	$Ha = Fa * \mu f = 5028.9[N] * 1.1 = 5531.79[N]$ $Hb = 7848[N] - 5531.9[N] = 2316.1[N]$

Fuente: autor del proyecto

### Análisis de resultados para la mangueta delantera

En el análisis FEM se obtiene una deformación máxima sobre el punto de acople del conjunto amortiguador, con un valor de 0,034 que no afecta la integridad estructural o funcional del elemento.

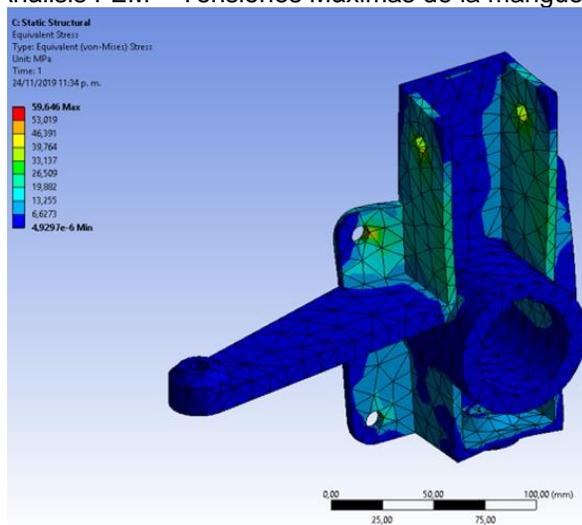
Figura 48 Análisis FEM - Deformación de la mangueta delantera



Fuente: autor del proyecto

La magnitud de la tensión de máxima (Von mises) generada no supera el esfuerzo permisible del material dentro del rango propuesto para el factor de seguridad deseado (1.5), esto indica que el material no fallará por este tipo de esfuerzo bajo las condiciones límites críticas especificadas en este caso de estudio.

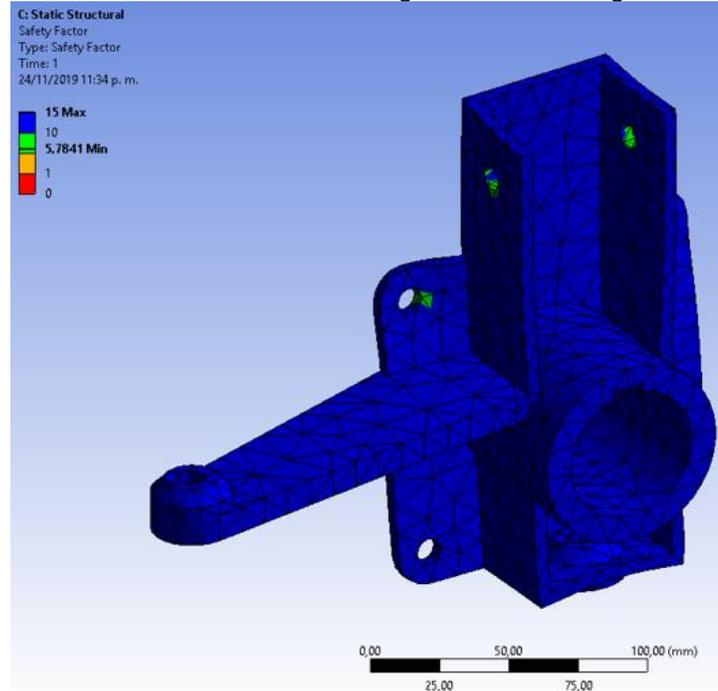
Figura 49 Análisis FEM – Tensiones Máximas de la mangueta delantera



Fuente: Autor del proyecto

El factor de seguridad calculado para los esfuerzos aplicados a la mangueta delantera indica sobredimensionamiento de la pieza y una optimización de espesores necesaria.

Figura 50 Análisis FEM – Factor de seguridad de la mangueta delantera

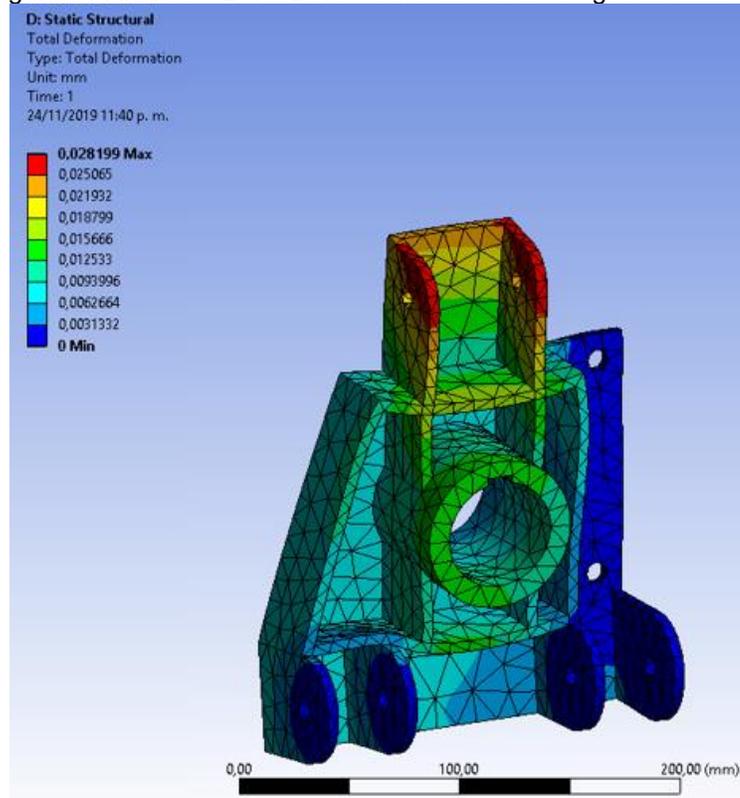


Fuente: Autor del proyecto

### **Análisis de resultado para la mangueta posterior.**

En el análisis FEM se obtiene una deformación máxima de 0.028 sobre el punto de acople del conjunto amortiguador, con un valor que no afecta la integridad estructural o funcional del elemento. Este valor no es relevante para la integridad estructural de la pieza.

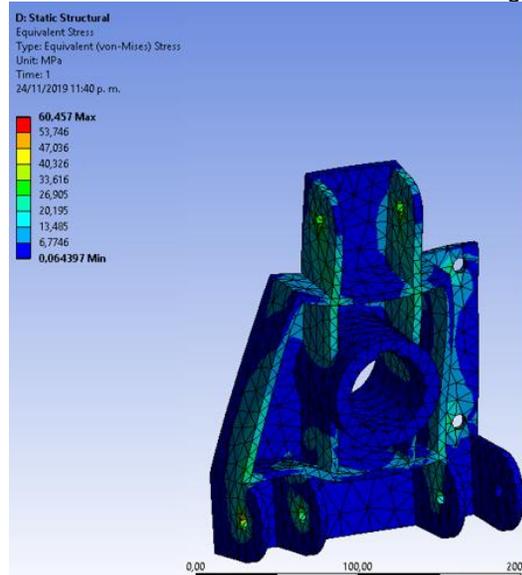
Figura 51 Análisis FEM – Deformaciones de la mangueta Posterior



Fuente: autor del proyecto

La magnitud de la tensión de máxima (Von mises) generada de 60Mpa valor no supera el esfuerzo permisible del material dentro del rango propuesto para el factor de seguridad deseado, esto indica que el material no fallará por este tipo de esfuerzo bajo las condiciones límites críticas especificadas en este caso de estudio. Además, se evidencia por el mapa de colores la necesidad de realizar una optimización de los espesores de la chapa con el fin de mejorar el peso de la mangueta.

Figura 52 Análisis FEM – Tensiones máximas de la mangueta Posterior



Fuente: autor del proyecto

### **Cálculo de cargas sobre el Chasis**

Para el análisis FEM del chasis se tiene en cuenta las condiciones de carga críticas de frenado abrupto, volcadura e impacto frontal.

### **Situación de impacto frontal**

Se considera para este tipo de carga la desaceleración sufrida por el vehículo para un tiempo de impacto de 0.1 segundos y 0.2 segundos respectivamente, suponiendo así una colisión con un objeto completamente rígido y otra contra un elemento semirrígido. La velocidad de impacto seleccionada es de 30km/h (8,33 [m/s]) y en las condiciones de contorno se tomarán como puntos de geometría fijo los soportes traseros del conjunto rueda motor para analizar las deformaciones principales en la parte de impacto y su incidencia en la integridad estructural del chasis. No se tendrá en cuenta el factor de seguridad ni las tensiones máximas sobre la estructura ya que se espera que el chasis se deforme de tal forma que no cause peligro para los ocupantes.

Se calcula la desaceleración del impacto:

$$D = \frac{(v_i - v_f)}{t} \cdot g$$

$$D_1 = \frac{\left(8,33 \left[\frac{m}{s}\right] - 0\right)}{0,1[s]} \cdot 9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right] = 8,48 G$$

$$D_2 = \frac{\left(8,33 \left[\frac{m}{s}\right] - 0\right)}{0,2[s]} \cdot 9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right] = 4,24 G$$

$$f_1 = -800[Kg] \cdot 9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right] \cdot 8,48 G = 66666.64[N]$$

$$f_2 = -800[Kg] \cdot 9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right] \cdot 4,24 G = 33333.32[N]$$

### 9.1.2 Análisis del chasis

Primer paso para el análisis FEM, se establece el material de la estructura. Se ingresan las propiedades físicas del material y se lista en el espacio de trabajo.

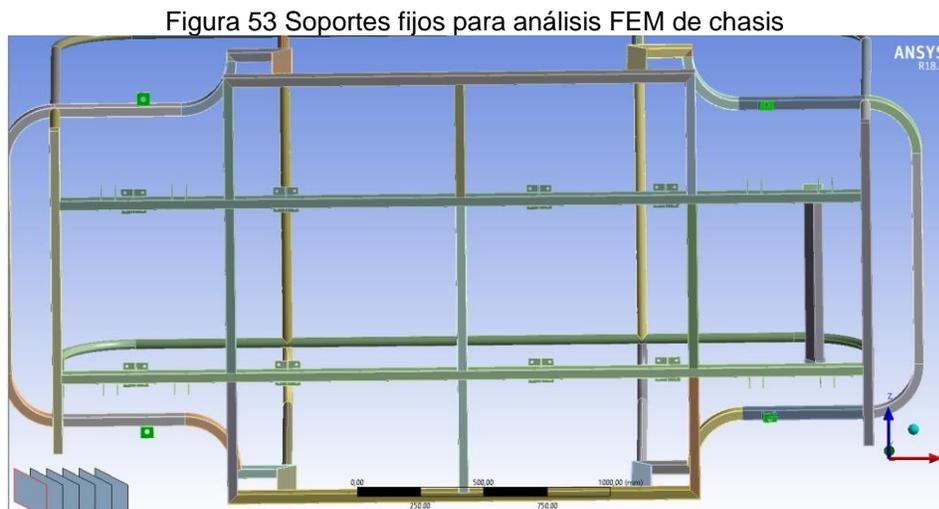
Tabla 24 Propiedades Físicas del material del chasis

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.80 g/cc	0.282 lb/in <sup>3</sup>	Typical of ASTM Steel
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	135	135	based on conversion from tensile strength
Hardness, Rockwell B	74	74	based on conversion from tensile strength
Tensile Strength, Ultimate	450 MPa	65300 psi	
Tensile Strength, Yield	345 MPa	50000 psi	
Elongation at Break	18 %	18 %	In 200 mm
	21 %	21 %	In 50 mm
Bulk Modulus	160 GPa	23200 ksi	Typical for steel
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical for steel
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	<= 0.23 %	<= 0.23 %	
Iron, Fe	98 %	98 %	
Manganese, Mn	1.35 %	1.35 %	
Phosphorous, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Silicon, Si	<= 0.40 %	<= 0.40 %	varies with plate thickness
Sulfur, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

Fuente: MathWeb. Material property data for ASTM A572 Steel, grade 50. [imagen]. Disponible en: <http://matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=9ced5dc901c54bd1aef19403d0385d7f&ckck=1>

Luego se establecen las condiciones de contorno para la estructura, en este caso se ajustan los puntos que se consideran fijos durante la aplicación de la carga.

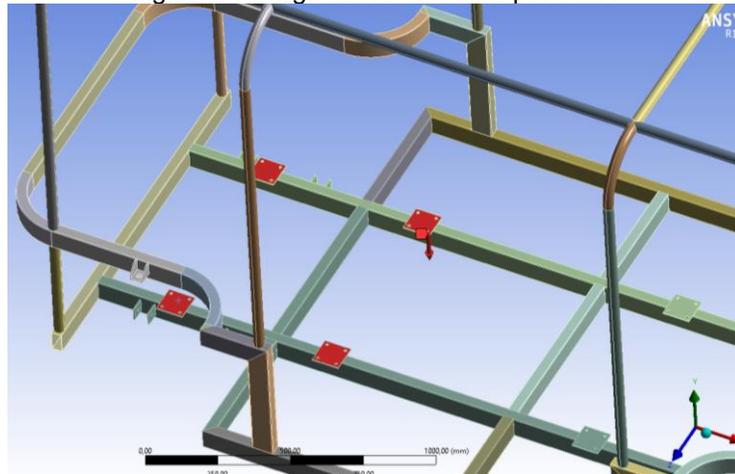
En el caso de este vehículo se asume que al tratarse de un sistema McPherson, la carga se suspende directamente del elemento elástico de control, ubicando los puntos de fijación sobre los soportes del amortiguador.



Fuente: autor del proyecto

Se establecen las cargas ,1400N para la persona que se encuentra a bordo con la silla de ruedas (correspondientes al peso de la PMR más el peso de la silla de ruedas eléctrica de 50 Kg) sobre los soportes traseros del chasis.

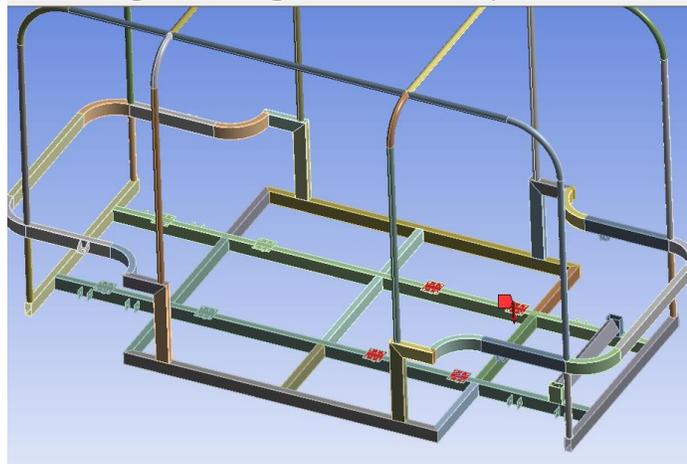
Figura 54 Carga sobre el chasis por PMR



Fuente: Autor del proyecto

Se establece una segunda carga por efecto del banco de baterías, conductor y PMR. Con una magnitud de 2300N sobre los soportes de conexión sobre el bastidor.

Figura 55 Carga sobre el chasis por PMR



Fuente: Autor del proyecto

Figura 56 Cargas que se aplican sobre el chasis

<b>Carga por transferencia de pesos</b>	
<b>Carga por impacto frontal</b>	$f_1 == 66666.64[N]$ $f_2 == 33333.32[N]$

Fuente: Autor del proyecto

## **Mallado del chasis**

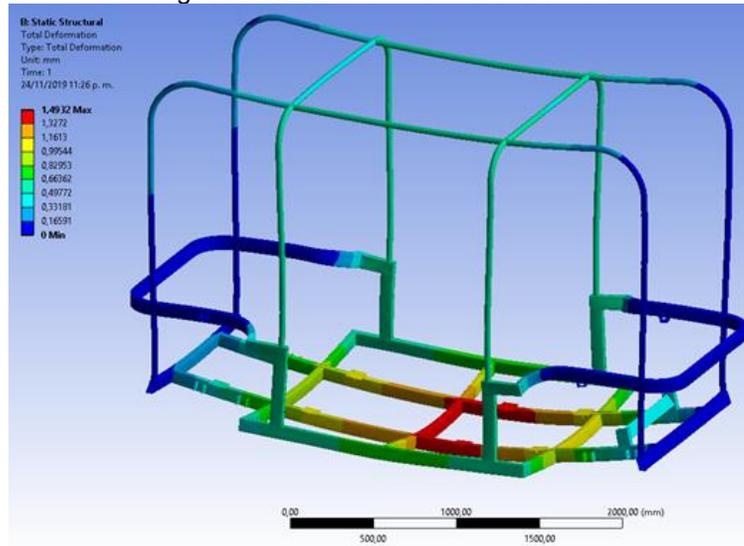
- Para refinar el mallado se realizaron una serie de mejoras para que los elementos que lo conforman tuvieran el tamaño, densidad y detalle teniendo en cuenta la oblicuidad y ortogonalidad.
- En el modelo tridimensional del chasis se eliminaron las esquinas y se unieron todas las aristas para obtener mayor convergencia.

Para el primer análisis realizado se encuentra que la oblicuidad y ortogonalidad de todos los elementos del mallado con valores que convergen a uno, lo cual indica que se tiene un mallado deficiente, después de realizar todas las adecuaciones necesarias, el índice cambia manteniendo la misma cantidad de elementos.

## **Análisis de resultados del chasis.**

- Los desplazamientos de la estructura obtenidos están dentro del límite esperado, en su punto más crítico los elementos estructurales deformados presentan una magnitud 1,49[mm] que no representa peligro para el conductor o pasajeros ni pone en riesgo la integridad estructural del bastidor.

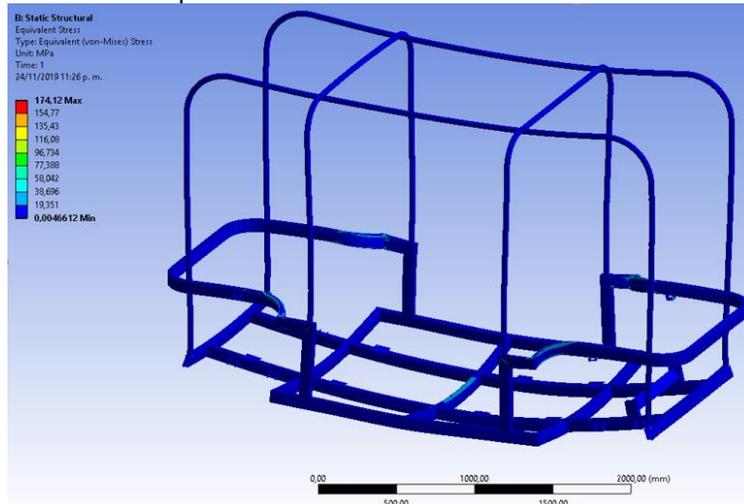
Figura 57 Deformación total del chasis



Fuente: Autor del proyecto

- La tensión máxima de Von Mises generada en el punto de apoyo del amortiguador es de 174,12[MPa], la cual cumple con el factor de seguridad de 1,5 propuesto.

Figura 58 Análisis por elementos finitos del chasis- Tensiones Máximas

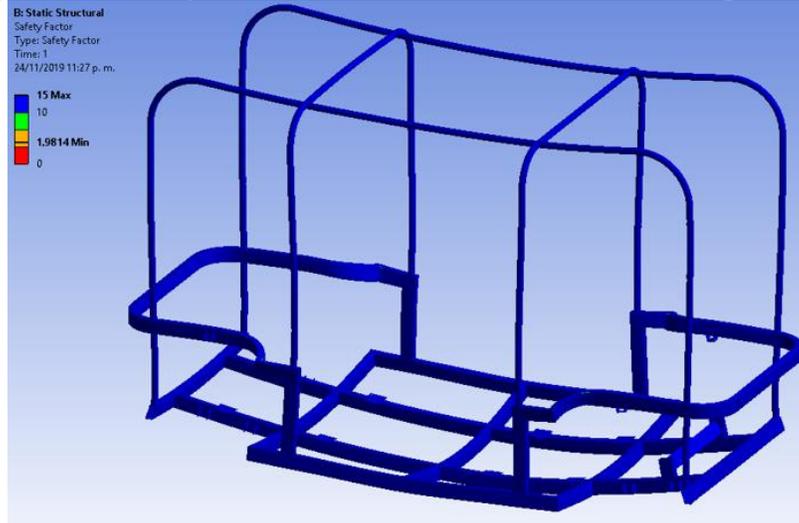


Fuente: Autor del proyecto

- El factor de seguridad mínimo de la estructura es de 1,9814, este valor indica que la estructura bajo las condiciones de carga especificadas se encuentra

apta para el uso por personas. Aunque es un valor que indica que la estructura debe ser optimizada, se considera que es un factor válido para el concepto vehicular.

Figura 59 Análisis por elementos finitos del chasis- Factor de seguridad



Fuente: Autor del proyecto

### Carga por Situación de volcadura.

Para la situación de volcadura se asume considerando que la velocidad final del vehículo es de solo 30km/h, que una caída libre de la estructura desde una altura de 1 metro sobre el suelo de la forma:

Se calcula la velocidad de impacto con el suelo.

$$v_f^2 = v_o^2 - 2g * h$$

$$v_f = \sqrt{2 * g * h}$$

$$v_f = 4,429 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Cuantificando la desaceleración teniendo en cuenta un intervalo de 0.1 segundos como colisión rígida desde:

$$D = \frac{(v_i - v_f t)}{g}$$

$$D = \frac{\frac{(0 - 4,429[\text{m/s}])}{0,1[\text{s}]}}{9,81\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]} = 4,51[\text{G}]$$

Se realiza el cálculo de magnitud de la fuerza de impacto:

$$F_i = 9,81\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right] * 800[\text{Kg}] * 4,51[\text{G}] = 35394[\text{N}]$$

## **10.MATERIALES**

Se utilizó la aplicación SolidWorks 2018, de Dassault Systems, que es una herramienta de diseño asistido por computadora que permite la validación y gestión de modelos 3d, dibujos en detalle, planos, diagramas, croquis y ensamblajes del vehículo. En este software se generaron los bocetos, croquis base, planos, esquemas, figuras y modelos de concepto para los diferentes subsistemas y componentes de vehículo, así como los modelos 3d y ensamblajes finales para el análisis por elementos finitos.

Se utilizó el software ANSYS, una plataforma de programas para diseño, análisis y simulación de modelos 3d por elementos finitos. Se utilizó en los casos de carga estáticos con el fin de determinar los esfuerzos, deformaciones y coeficientes de seguridad de los elementos diseñados en SolidWorks con el fin de garantizar la integridad de estos bajo condiciones críticas de funcionamiento.

## 11. CRONOGRAMA

Tabla 25. Cronograma de Actividades

Meses	Septiembre				Octubre				Noviembre			
Semanas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Actividades												
Investigación de conceptos básicos y establecimientos de Marco de referencia.	x	x										
Definición de los parámetros de diseño.			x									
Dibujo y modelado de Diseño Conceptual				x								
Dimensionamiento y ajuste de diseño conceptual a parámetros de accesibilidad ergonómicos y antropométricos. (Diseño Preliminar)					x	x						
Calculo y Selección de elementos de la cadena cinemática							x	x	x			
Validación del diseño estructural, Simulación y análisis. (Diseño Final)										x	x	
Modelado de Diseño Final, elaboración de planos y Cartas de Diseño.												x
Elaboración de Documento y memorias de trabajo.												x

Fuente: Autor del proyecto.

## 12. CONCLUSIONES

- Se establecieron los parámetros generales y específicos de diseño del vehículo, así como también las especificaciones funcionales y de accesibilidad mediante el análisis en matriz de selección de criterios de cada uno de los subsistemas propuestos.
- Se diseñó un vehículo eléctrico de arquitectura simple con materiales disponibles comercialmente en Colombia que cumple con la función de transporte de hasta dos personas en situaciones distintas de movilidad restringida (temporal o permanente), el vehículo cumple con las dimensiones, los requerimientos de accesibilidad, confort, ergonomía y las especificaciones técnicas necesarias para desplazarse sin problema por las carreteras del campus universitario UPB Bucaramanga.
- Se diseñaron los planos, modelos 3d y esquemas de ensamblajes de los elementos estructurales y mecánicos (Bastidor automotriz, Chasis y estructuras de soporte de elementos mecánicos y de suspensión).
- Se realizó el cálculo y la selección de los subsistemas y elementos tracción y control del vehículo, encontrando referencias y modelos comerciales de: Motor, sistema de transmisión, banco de baterías, controlador electrónico, sistema de dirección, frenado y suspensión.
- El uso de las herramientas computacionales CAD (SolidWorks) y CAE (ANSYS) en el diseño de elementos mecánico y estructurales facilitan el dimensionamiento y cálculo de las piezas optimizando el tiempo de las tareas de diseño y disminuyendo la posibilidad de errores. Sin embargo, sus soluciones a los problemas de cargas y condiciones dinámicas son aproximaciones que sólo pueden ser comprobadas mediante la construcción y ensayo destructivo del elemento.
- El diseño de este vehículo puede ser un referente nacional en términos de inclusión social y accesibilidad al medio.

### **13.RECOMENDACIONES**

1. Es aconsejable realizar la optimización topológica de las piezas a construir y del chasis vehicular.
2. La universidad Pontificia Bolivariana, puede implementar el desarrollo del proyecto en sus áreas de formación académica con el fin de ofrecer una solución construida para la movilidad interna del campus.
3. Se puede potenciar el programa de inclusión universitaria presentando el diseño y realizando la construcción de alternativas de transporte accesible para el servicio de la comunidad universitaria.
4. Realizar pruebas y rediseño de los elementos estructurales con el fin de reducir el peso del vehículo y por consiguiente disminuir su costo.
5. Explorar las soluciones mediante otras herramientas computacionales y en otros casos hipotéticos de carga.

## BIBLIOGRAFÍA

ACEROS COLMENA. Consorcio Metalúrgico Nacional Ltda. Perfil estructural Tubular Negro y Galvanizado ASTM A500. [en línea]. Disponible en internet: <http://tuboscolmena.com/colmena/wp-content/uploads/2015/02/Estructural.pdf>.

ARELLANO, Claudio. Manual Modulo A-5: Sistemas de suspensión y dirección del automóvil. Talca: Centro educativo Salesianos Talca. 2012. p 1-79.

AMETIC. Proyecto: Estudio de viabilidad previo al diseño de un esquema de logística, tratamiento y reciclado de baterías de vehículos eléctricos e híbridos al fin de su vida útil [en línea]. 2012. Disponible en internet: [https://ametic.es/sites/default/files//media/Anexo1\\_Estudio\\_bat\\_estado\\_arte%20%281%29.pdf](https://ametic.es/sites/default/files//media/Anexo1_Estudio_bat_estado_arte%20%281%29.pdf).

AISBL. European Federation for Transport and Environment. Efficiency Compared: Battery-Electric 73%, Hydrogen 22%, ICE 13% [En línea]. Consultado el 18 de noviembre de 2019. Disponible en: <https://insideevs.com/news/332584/efficiency-compared-battery-electric-73-hydrogen-22-ice-13/>.

BELTRAN, Gabriel; SANCHEZ, Abraham. Frenado regenerativo [en línea]. En: Hypatia. Revista de divulgación científico-tecnológica del gobierno del estado de Morelos. Enero- marzo, 2013, N°45. Disponible en Internet: [https://www.revistahypatia.org/~revistah/index.php?option=com\\_content&view=article&id=38&Itemid=147](https://www.revistahypatia.org/~revistah/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=147).

BROOKER, Christine. Diccionario médico. México, D.F.: Manual Moderno.2010. p. 86

CABELLO, Esperanza V. Antropometría. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Centro de Nuevas Tecnologías, 2008.

C, Chan; K, Chau. Modern Electric Vehicle Technology. New York: Oxford University Press, 2001. ISBN: 0198504160.

CHAPMAN, Stephen. Maquinas eléctricas. 5a ed. México DF. 2012.: McGraw-Hill. ISBN: 9786071507242. Disponible en internet: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>

CLINICA MAYO. Lesiones de la médula espinal.: Síntomas y causas [en línea]. (19 de diciembre de 2017), [Consultado: 21 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/spinal-cord-injury/symptoms-causes/syc-20377890>.

COLOMBIA. Congreso de la República. Ley 361 (7, febrero, 1997). Por la cual se establecen mecanismos de integración social de las personas con limitación y se dictan otras disposiciones. [en línea]. Diario Oficial No. 42978 de febrero 11 de 1997. Bogotá, [Consultado: 21 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: [http://www.defensoria.gov.co/public/Normograma%202013\\_html/Normas/Ley\\_361\\_1997.pdf](http://www.defensoria.gov.co/public/Normograma%202013_html/Normas/Ley_361_1997.pdf).

COLOMBIA. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Norma Técnica Colombiana 4407. (1998). Vehículos automotores.: vehículos para el transporte público colectivo de todas las personas, incluidas aquellas con movilidad reducida.

COLOMBIA. Ministerio de transporte. Decreto 1660 (18, junio, 2003). Por el cual se reglamenta la accesibilidad a los modos de transporte de la población en general y en especial de las personas con discapacidad. [en línea]. Diario Oficial No. 45.222,

de 18 de junio de 2003. Bogotá, [Consultado: 21 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=197>

COLOMBIA. Ministerio de Transporte. Resolución 3753 (6 de octubre de 2015). Expide el reglamento técnico para vehículos de servicio público de pasajeros. Bogotá, [Consultado: 21 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: [http://legal.legis.com.co/document/Index?obra=legcol&document=legcol\\_310399ab8a384d1fa308558e9eeb25d6](http://legal.legis.com.co/document/Index?obra=legcol&document=legcol_310399ab8a384d1fa308558e9eeb25d6).

DE ARAGON, Esther. Modos y tipos de carga de un vehículo eléctrico [en línea]. Movilidad Eléctrica. Madrid. (27 de Julio de 2018), [Consultado: 2 de abril de 2018]. Disponible en Internet: <https://movilidadelectrica.com/modos-y-tipos-de-carga-de-un-vehiculo-electrico/>.

DE LA HERRÁN, José. El auto eléctrico: una solución apremiante. En: Divulgación de la ciencia UNAM. [sitio web]. México: DGDCUNAM. [Consultado: 18 de noviembre de 2019]. Archivo pdf. Disponible en: [http://www.dgdc.unam.mx/assets/cienciaboletto/cb\\_auto\\_electrico.pdf](http://www.dgdc.unam.mx/assets/cienciaboletto/cb_auto_electrico.pdf).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION. Soluciones para la inclusión Social: directorio de soluciones para un servicio incluyente [en línea]. Bogotá. (2 de mayo de 2016). [Consultado: 21 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.dnp.gov.co/programa-nacional-del-servicio-al-ciudadano/Herramientas-Servicio/Soluciones%20para%20la%20inclusion%20social/Paginas/Canal-Presencial.aspx>

EHSANI, Mehrdad.; GAO, Yimin; ALI, Emadi, A. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. Texas.: CRC Press, (2005). p.137-232.

ELECTROMOVILIDAD. Movilidad eléctrica: espacio sostenible. [sitio web]. Madrid; [Consultado 19 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://electromovilidad.net/contacto-electromovilidad/>.

Electro industria: Soluciones tecnológicas para la minería, Energía e Industria. Santiago de Chile: Microbyte, Enero,2008. [Consultado: día 19 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=8851>. ISSN: 0718-3445.

ENERGÍA Y SOCIEDAD. Energía y sociedad: Manual de la energía [Pagina Web]. Madrid: Club Español de la Energía. [Consultado: 18 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <http://energiaysociedad.es/manenergia/4-1-por-que-el-vehiculo-electrico/>.

ENRIQUEZ, Gilberto. Curso de transformadores y motores de inducción. 4ª ed. México: Limusa, 2005. ISBN: 968-18-5993-6.

FAIIE. La tecnología de los motores de imanes permanentes [en línea]. En: Revista de Ingeniería Dyna 2006. (noviembre), 2014, [Consultado: 1 de abril de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.dynapubli.com/noticias-PD/la-tecnologia-de-motores-de-iman-permanentes>.

FERNANDEZ, Sergio. ¿En qué se diferencia conducir un coche eléctrico de uno convencional? [En línea]. Circula Seguro tu publicación sobre seguridad vial. Lugar de publicación. (31 de enero de 2017). [Consultado: 23 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: <http://www.circulaseguro.com/en-que-influye-el-coche-electrico-en-la-conduccion/>.

FONSECA, Jaime H. Celdas, pilas y baterías de Ion-Litio una alternativa para...? [en línea]. En: Journal Boliviano de Ciencias,2011, vol. 8, nº 22, pp. 40-47. Consultado

[21 de febrero de 2019]. Disponible en internet: <https://es.scribd.com/document/104016334/Celdas-Baterias-y-Pilas-de-Litio>.

GONZALEZ, Cesar. Análisis técnico de los diferentes tipos de baterías comercialmente disponibles para su integración en el proyecto de una micro red aislada. [en línea] Proyecto de grado en modalidad monografía, presentada como requisito para optar el título de: Ingeniero Eléctrico. Bogotá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad De Ingeniería.2015. 89p. [Consultado: 27 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: <http://bit.ly/358Xo94>.

GONZALES, Luis. Motores eléctricos de inducción vs motores de corriente continua. [En línea]. Foro coches eléctricos. Madrid. (14 de Marzo de 2014). [Consultado 19 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://forococheselectricos.com/2014/03/motores-electricos-de-induccion-vs-motores-de-corriente-continua.html>

HALL, Dale. LUTSEY, Nic. Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions [En línea]. En: Briefing.: Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions. Febrero, 2018, [Consultado: 25 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: [https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG\\_ICCT-Briefing\\_09022018\\_vF.pdf](https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf).

Historia del vehículo eléctrico [en línea]. Electro movilidad. [Consultado: 22 de febrero de 2019]. Disponible en: <http://electromovilidad.net/historia-del-vehiculo-electrico/>.

HUERTA, Jaime. Discapacidad y Diseño Accesible: Diseño Urbano Arquitectónico para personas con discapacidad. Lima. 2007.p 34-56

IBERDROLA. El vehículo eléctrico: Tipología y principales características. En: Iberdrola. [sitio web]. Bilbao: Iberdrola. [Consultado: 19 de Noviembre de 2019]. Archivo pdf. Disponible en: [https://www.iberdrola.com/wcorp/gc/prod/es\\_ES/sostenibilidad/docs/Vehiculo\\_tipologia\\_caracteristicas.pdf](https://www.iberdrola.com/wcorp/gc/prod/es_ES/sostenibilidad/docs/Vehiculo_tipologia_caracteristicas.pdf)

LARMINIE, James; LOWRY, John. Electric Vehicle Technology Explained. New York.: John Wiley & Sons, Ltd.2003. ISBN 0-470-85163-5. p.183-212.

LUQUE, Pablo; et al. Ingeniería del automóvil. sistemas y comportamiento dinámico. Madrid: Paraninfo S.A., 2012. p 101-233.

MARTIN, Susana. Guía Práctica para lesionados Medulares. Madrid: ASPAYM Madrid, 2002. ISBN: 84-607-4869-3. 114 p. [Consultado 21 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: <http://sid.usal.es/libros/discapacidad/6559/8-1/guia-practica-para-lesionados-medulares.aspx>.

MCMA. What is a Brushless DC Motor and How Does It Work? [ blog]. Motion control & motors. Ann Arbor: 20 de Marzo de 2018. [Consultado: 19 de noviembre de 2019].

MOREELS, Daan; LEIJNEN, Peter. High efficiency axial flux machines: Why Axial Flux Motor and Generator Technology Will Drive the Next Generation of Electric Machines. En: Magnax. [sitio web]. Cortrique: Magnax. 12 de Noviembre de 2018. [Consultado: 19 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://bit.ly/2NZR4ei>.

MURIAS, Daniel. Por qué los coches eléctricos de autonomía extendida pueden tener futuro en Europa. En: Motor pasión. [sitio web]. Madrid. 6 de mayo de 2019. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/industria/que-electricos-autonomia-extendida-pueden-tener-futuro-europa>.

Motor eléctrico de flujo axial Magnax más potencia menor tamaño. [en línea]. Electro movilidad. [Consultado: 22 de febrero de 2019]. Disponible en Internet: <http://electromovilidad.net/motor-electrico-de-flujo-axial-magnax-mas-potencia-menor-tamano/>.

NICE. Karin. How stuff works: How tires work. How Tires Support a Car. [Blog]. Consultado: 19 de noviembre de 2019. Disponible en: <https://auto.howstuffworks.com/tire4.htm>.

NPTEL. Electrical Engineering: Introduction to Hybrid and Electric Vehicles. En: National Programme on Technology Enhanced Learning. [sitio web]. Disponible en: <https://nptel.ac.in/content/storage2/courses/108103009/download/M3.pdf.p.1-34>.

PEREZ, Alfonso. Técnicas del automóvil. Chasis. Editorial Paraninfo. Madrid. Octava.2008. p.53.

ONU, Regulation No 66: Uniform Provisions concerning the approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of the Superstructure. (1 de diciembre 1986). [en línea]. Disponible en: [https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg\\_no=XI-B-16-66&chapter=11&clang=\\_en](https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XI-B-16-66&chapter=11&clang=_en).

PERNIA, Marino. Conceptos Básicos de Máquinas de corriente continua. 2011 [Consultado 16 de marzo de 2019]. Disponible en Internet: [https://www.researchgate.net/profile/Marino\\_Pernia/publication/235752021\\_Conceptos\\_Basicos\\_de\\_Maquinas\\_de\\_corriente\\_continua/links/0912f5131e8e23bfa1000000/Conceptos-Basicos-de-Maquinas-de-corriente-continua.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marino_Pernia/publication/235752021_Conceptos_Basicos_de_Maquinas_de_corriente_continua/links/0912f5131e8e23bfa1000000/Conceptos-Basicos-de-Maquinas-de-corriente-continua.pdf)

Principios de funcionamiento del motor de corriente continua. [en línea]. Automatismo industrial. WordPress. [Consultado 15 de marzo de 2019]. Disponible

en Internet: <https://automatismoidustrial.wordpress.com/motores/1-3-5-motores-de-corriente-continua/1-3-5-2-principios-de-funcionamiento/>

PROCHAZKA, Petr.; PAZDERA, Ivo.; VOREL, Pavel.; CERVINKA, Dalibor. (SPEEDAM), International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion: Design of small electric car. [en línea]. Almafi: SPEEDAM.2012.

RODRIGUEZ, Brais. (2011). Motor eléctrico versus motor de combustión: par, potencia y eficiencia. [en línea]. 2 de noviembre de 2011 [revisado 21 de febrero de 2019]. Disponible en: <http://forococheselectricos.com/2011/11/motor-electrico-versus-motor-de.html>

RODRIGUEZ, Hermenegildo, El Bastidor de los Vehículos [en línea]. Inge mecánica. Sevilla. [Consultado: 13 de abril de 2019]. Disponible en Internet: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn69.html>.

ROLDÁN, José. Motores eléctricos: Automatismos de control. 9ª Ed. Madrid: Paraninfo,2008. ISBN 9788428328982.

SETRAM. Estudio de accesibilidad en transporte público para personas con movilidad reducida (PMR): Organización de consumidores y usuarios. Santiago de Chile 2015. [en línea], octubre 2016 [revisado 21 febrero 2019]. Disponible en Internet: <http://bit.ly/37nqG5z.p> .7-15.

SIMON. El vehículo eléctrico: elementos principales y funcionamiento. [Blog]. Madrid.10 de enero de 2019. [Consultado 18 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.simonelectric.com/blog/el-vehiculo-electrico-elementos-principales-y-funcionamiento>

SNIES UPB, "Información estadística Bucaramanga - postgrado y pregrado segundo semestre de 2017". Estadísticas. UPB "en línea". Julio de 2018. "Disponible en: <https://www.upb.edu.co/es/estadisticas>".

STA, Sociedad de Técnicos de Automoción. El Vehículo Eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio. Barcelona: Libbooks, 2011. ISBN 9788493891008.

Taller nacional sobre rehabilitación de lesiones medulares. En : (3:5 2003: la Habana, Cuba). Actividades de la vida actividades de la vida diaria en pacientes diaria en pacientes con lesiones con lesiones medulares. La Habana.2003. [Consultado: noviembre 7 de 2016]. Disponible en Internet: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-doc/actividadesvidadiaria.pdf>

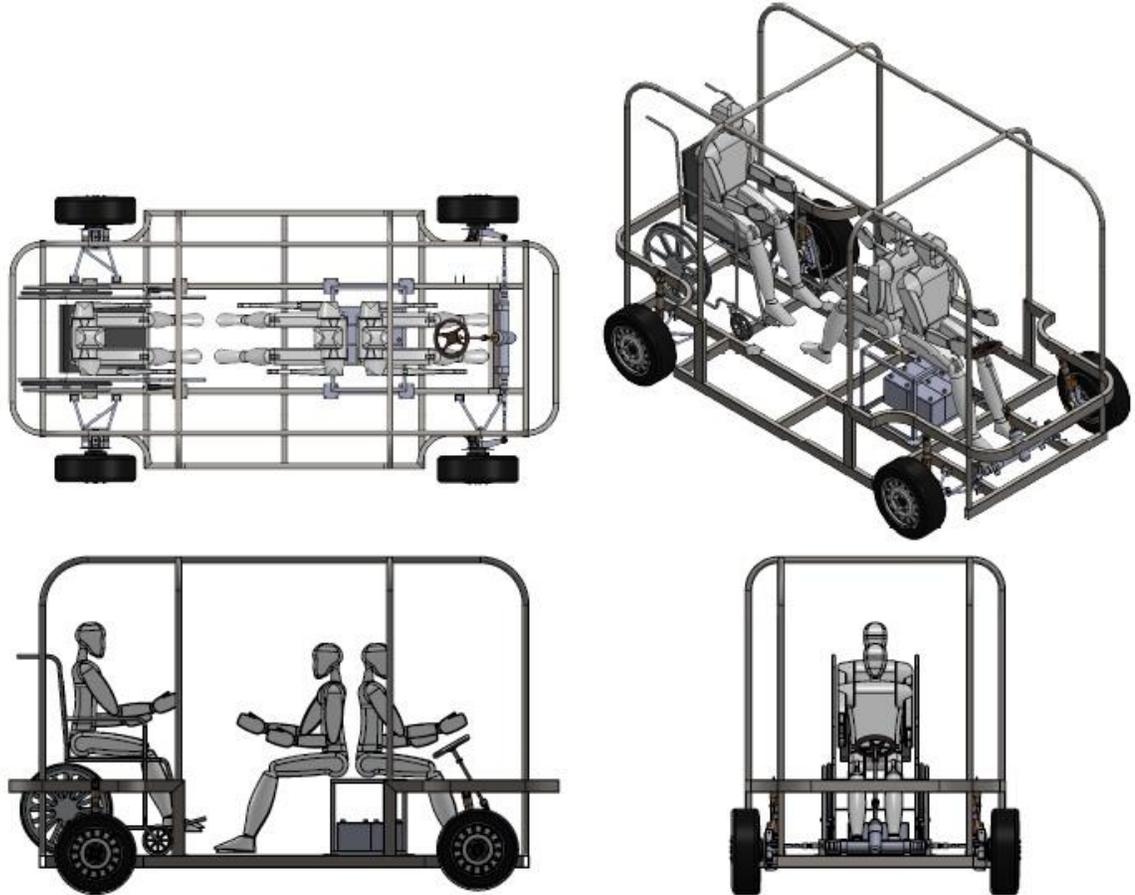
Tipos de vehículo eléctrico [blog]. Movilidad eléctrica. Barcelona. 16 de febrero de 2017. [Consultado: 19 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.factorenergia.com/es/blog/movilidad-electrica/tipos-de-vehiculo-electrico/>.

TIXCE, Christian. El chasis automotriz y su evolución; Conozca los diferentes tipos de bastidores y su uso en la actualidad. [en línea]. Motor y Racing. Ciudad de México. 02 de julio de 2017, [Consultado: 4 de abril de 2019]. Disponible en Internet: <https://www.motoryracing.com/coches/noticias/chasis-automotriz-y-su-evolucion>.

VEGA, Juan. Principios y aplicaciones de la energía fotovoltaica y de las baterías. Santiago de Chile: Ediciones UC, 2018. ISBN: 9789561423305.

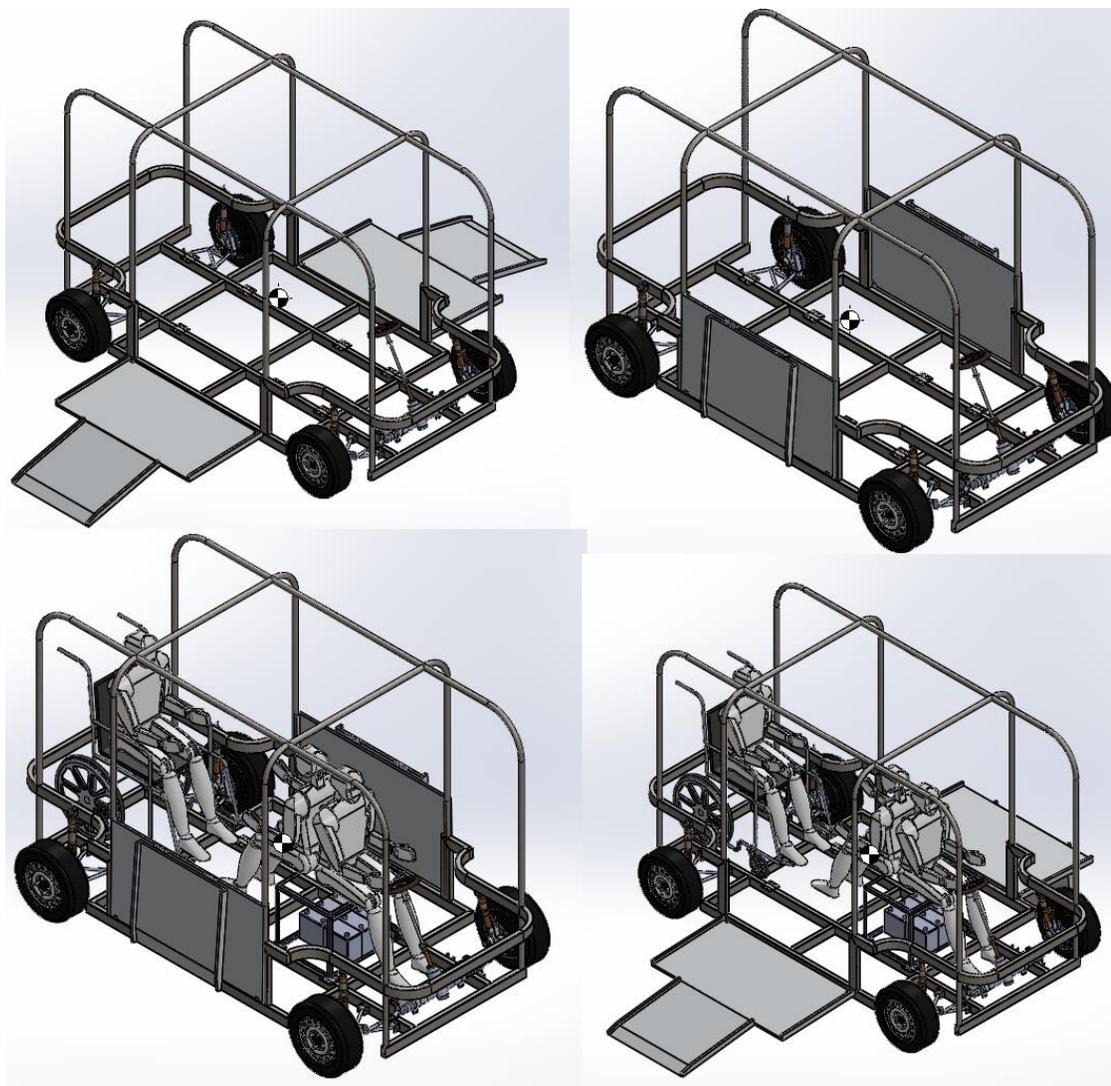
WARNER, Mark. The Electric Vehicle Conversion Handbook: How to Convert Cars, Trucks, Motorcycles, and Bicycles Includes EV Components, Kits, and Project Vehicles. New York: HPBooks (ISBN: 9781557885685).

## ANEXO A. Vistas del vehículo



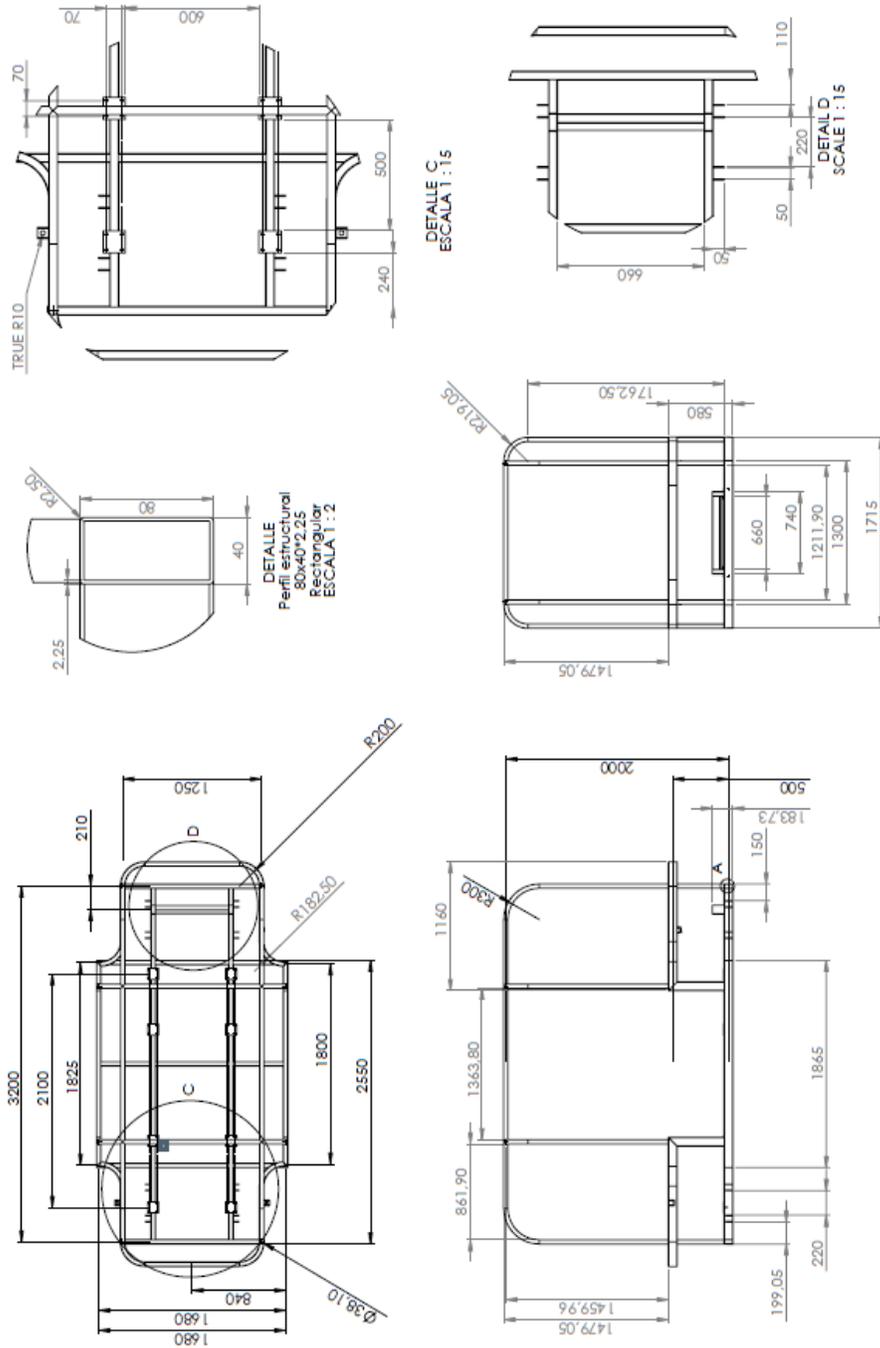
Fuente: Autor del proyecto

## ANEXO B. Adaptaciones de accesibilidad



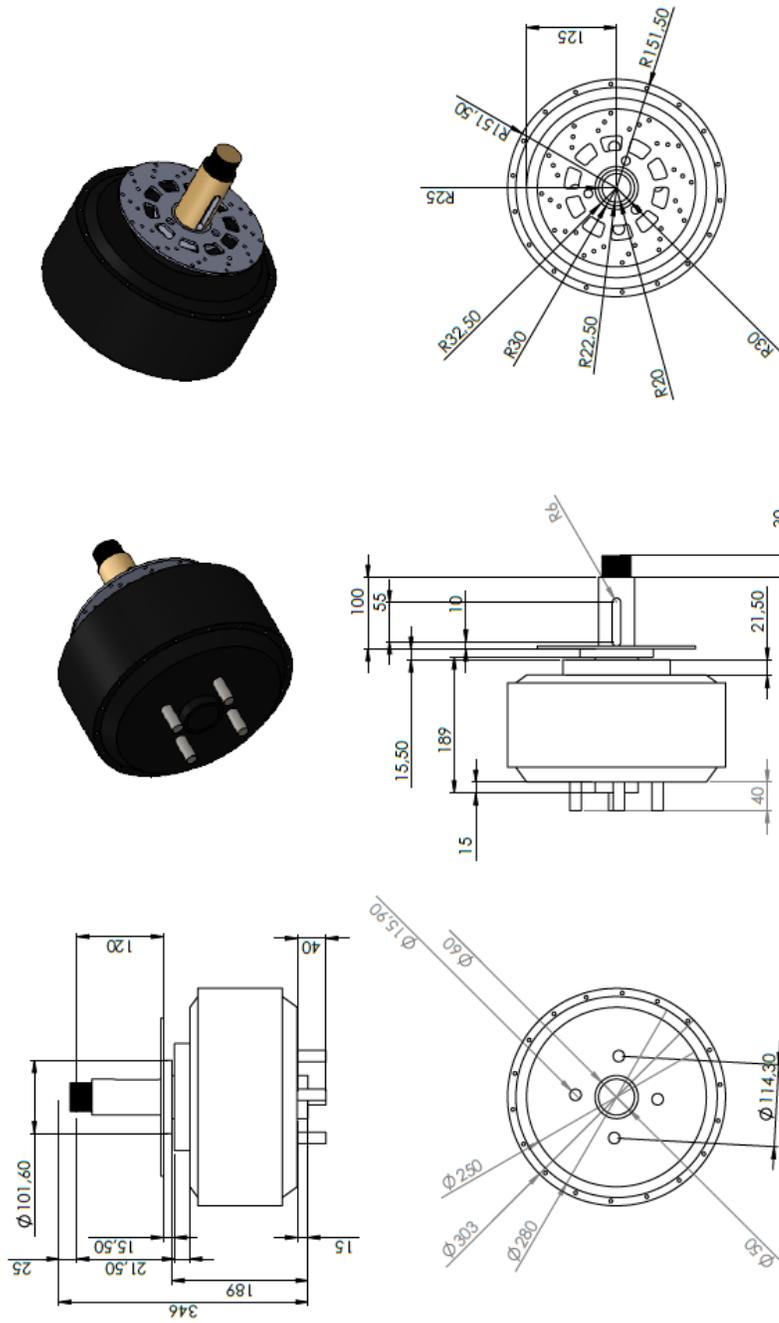
Fuente: Autor del proyecto

## ANEXO C. Planos del chasis



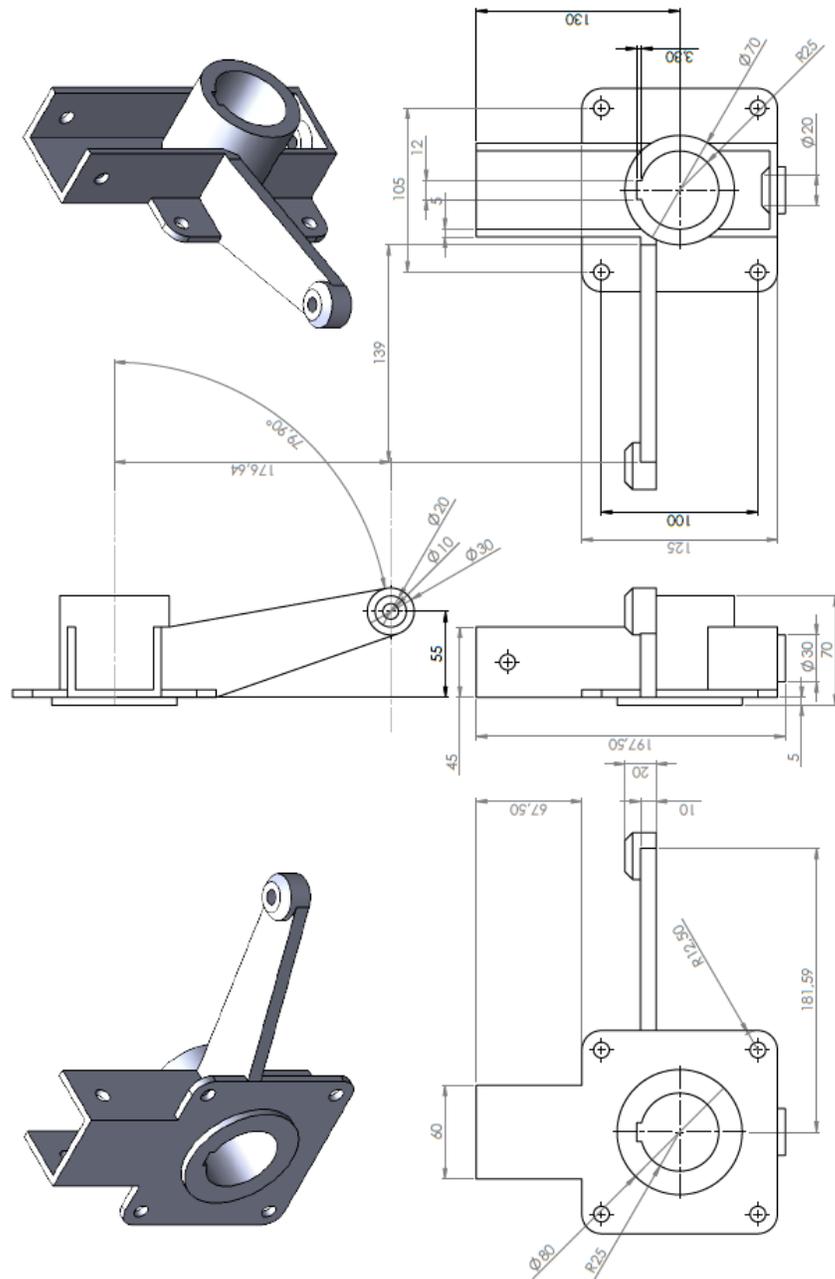
Fuente: Autor del proyecto

## ANEXO D. Planos del conjunto eje motor.



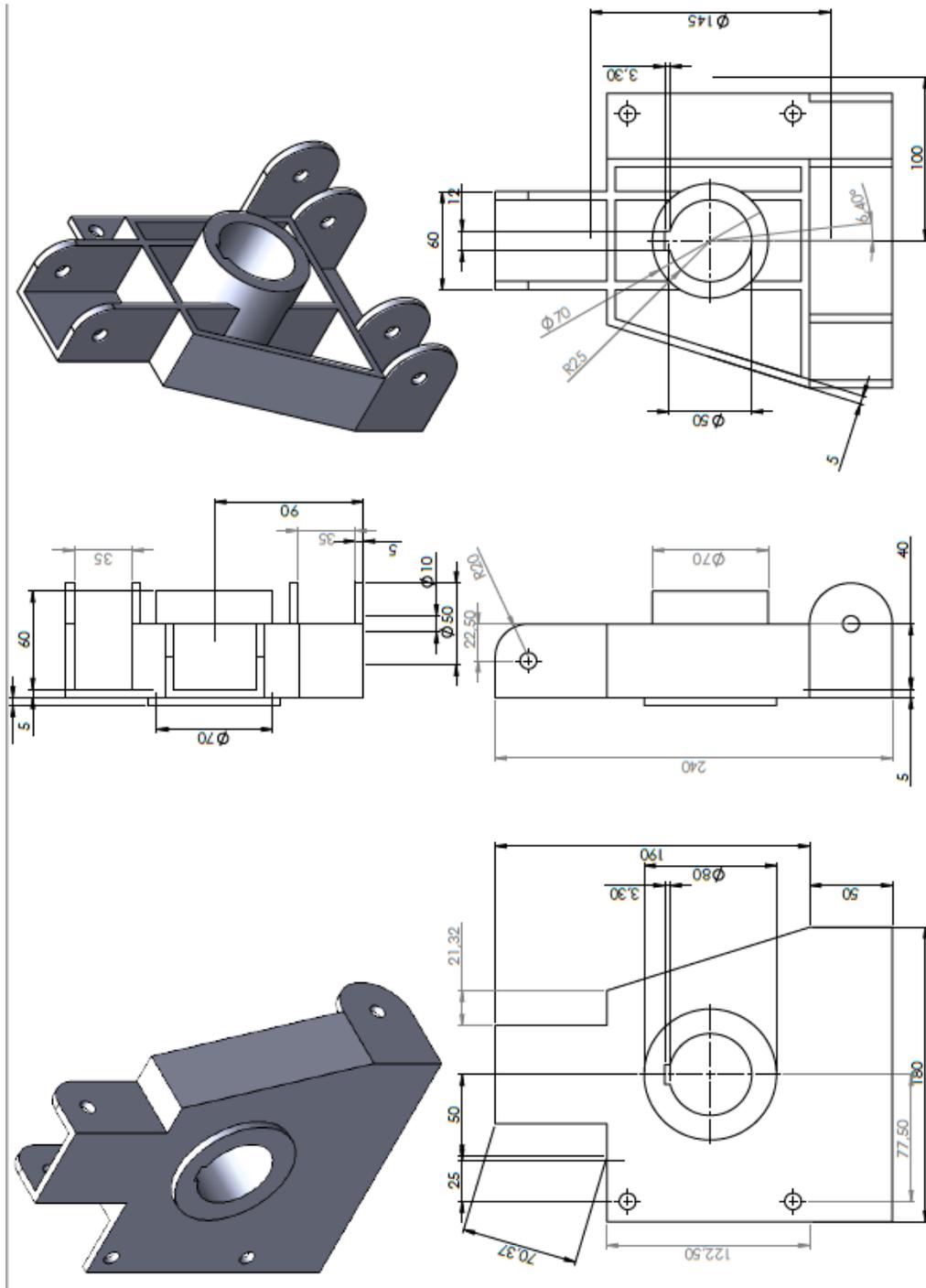
Fuente: Autor del proyecto

### ANEXO E. Planos de la mangueta delantera.



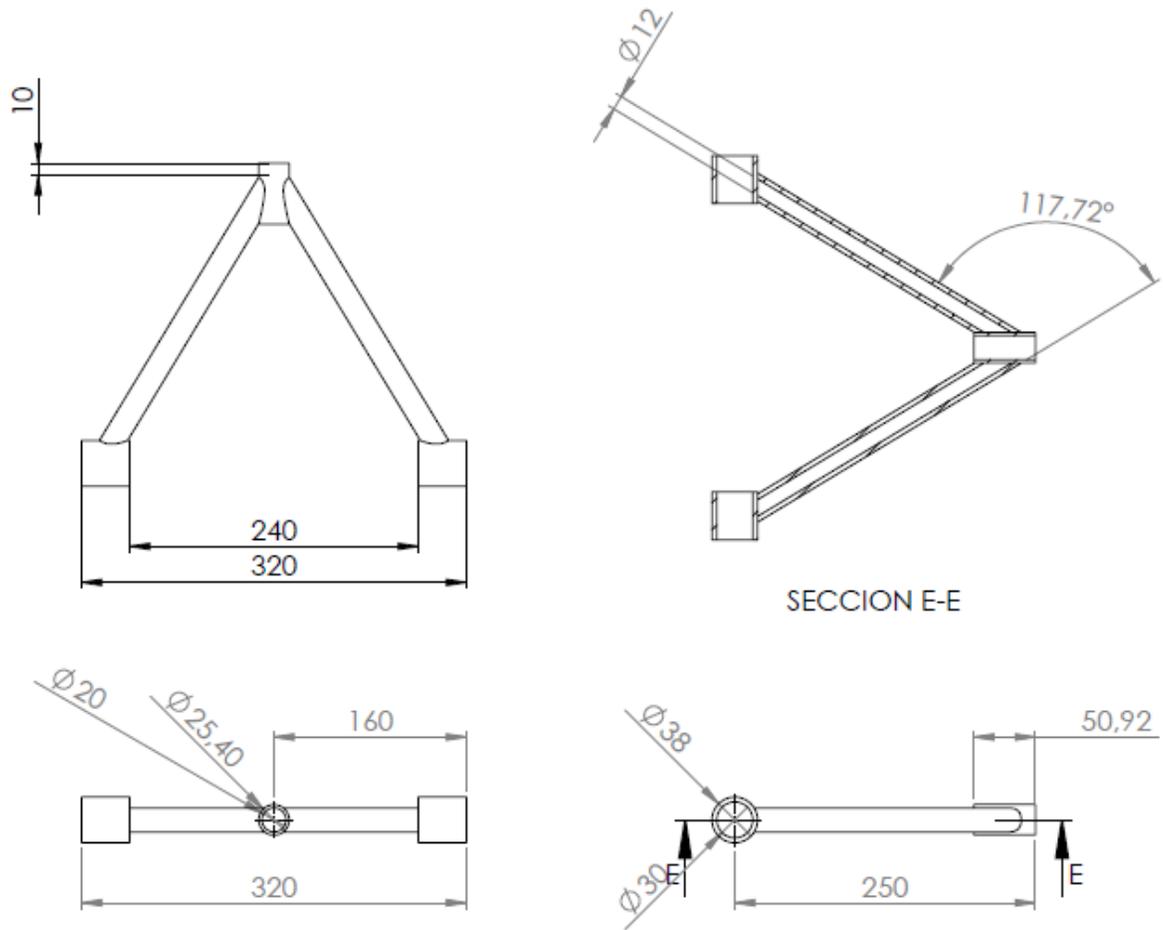
Fuente: Autor del proyecto

ANEXO F. Planos de la mangueta delantera.



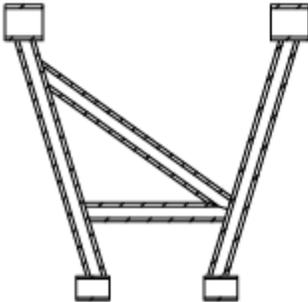
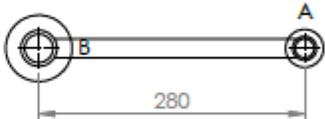
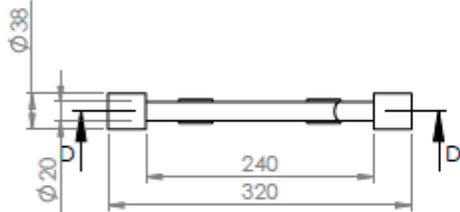
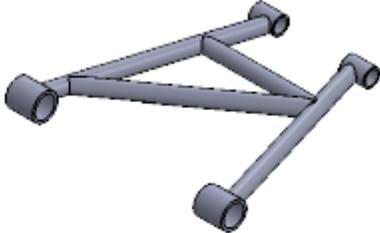
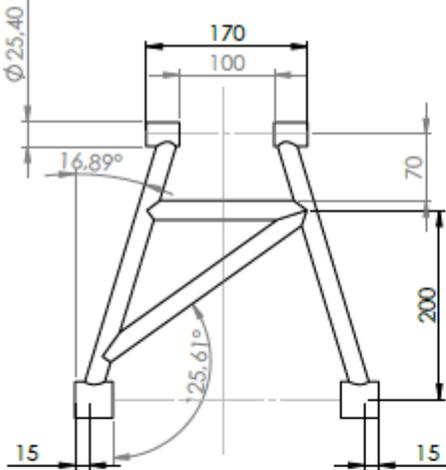
Fuente: Autor del proyecto

## ANEXO G. Planos de la Brazo oscilante delantero

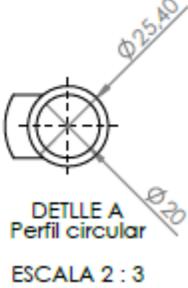
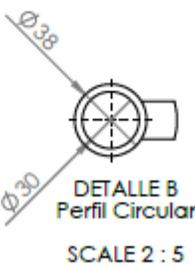


Fuente: Autor del proyecto

**ANEXO G. Planos de la Brazo oscilante posterior**



Sección D-D



Fuente: Autor del proyecto