



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO  
AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: CONSTRUCCIÓN DE UN MONOPLAZA ELÉCTRICO CON  
MOTORES INDEPENDIENTES**

**AUTOR: CARVAJAL PONCE CRISTIAN FABRICIO  
FLORES DÁVILA FRANCISCO SEBASTIÁN**

**DIRECTOR: ING. HERNÁNDEZ RUEDA ERIK PAUL MSc.**

**Ibarra, septiembre 2022**

## CERTIFICADO

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director de plan de trabajo previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

#### CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "CONSTRUCCIÓN DE UN MONOPLAZA ELÉCTRICO CON MOTORES INDEPENDIENTES" presentado por el señor: Carvajal Ponce Cristian Fabricio con número de cédula 1004123640 y el señor: Flores Dávila Francisco Sebastián con número de cédula 1050147428, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 07 días del mes de septiembre del 2022.



Atentamente

Ing. Hernández Rueda Erik Paul, MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

De acuerdo con el Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO           |                                  |                                   |
|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b> | 1004123640                       |                                   |
| <b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b> | Carvajal Ponce Cristian Fabricio |                                   |
| <b>DIRECCIÓN:</b>           | Otavalo, ciudadela Los Lagos     |                                   |
| <b>EMAIL:</b>               | cfcarvajalp@utn.edu.ec           |                                   |
| <b>TELÉFONO FIJO:</b>       | 062 920 947                      | <b>TELÉFONO MÓVIL:</b> 0960914938 |

| DATOS DE CONTACTO           |                                   |                                   |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b> | 1050147428                        |                                   |
| <b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b> | Flores Dávila Francisco Sebastián |                                   |
| <b>DIRECCIÓN:</b>           | Otavalo, ciudadela Imbaya         |                                   |
| <b>EMAIL:</b>               | fsfloresd@utn.edu.ec              |                                   |
| <b>TELÉFONO FIJO:</b>       | 062 923 056                       | <b>TELÉFONO MÓVIL:</b> 0983339783 |

| DATOS DE LA OBRA |   |
|------------------|---|
| <b>TÍTULO:</b>   | CONSTRUCCIÓN DE UN MONOPLAZA ELÉCTRICO CON MOTORES INDEPENDIENTES   |
| <b>AUTORES:</b>  | Carvajal Ponce Cristian Fabricio, Flores Dávila Francisco Sebastián |
| <b>FECHA:</b>    | 07/09/2022  |

| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO    |  |
|--------------------------------|--|
| <b>PROGRAMA:</b>               | <input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b> |
| <b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b> | Ingeniería en Mantenimeinto Automotriz   |
| <b>ASESOR /DIRECTOR:</b>       | Ing. Hernández Rueda Erik Paul, MSc.   |

## 2.- CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 07 días del mes de septiembre del 2022.

### LOS AUTORES:



Carvajal Ponce Cristian Fabricio  
1004123640



Flores Dávila Francisco Sebastián  
1050147428

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación se lo dedico en primer lugar a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto en mi vida, segundo a mis padres Fernando, Martha y Leticia quienes me apoyaron en todo este proceso universitario y con su amor incondicional son parte de este logro.

A cada uno de mis hermanos que también fueron parte de este sueño, siendo mi motivación y apoyo en los momentos más difíciles.

Por último, al resto de mi familia y amigos, quienes han aportado con un granito de arena en el transcurso de mis estudios.

**CRISTIAN CARVAJAL**

Esta tesis está dedicada a mi padre Francisco Flores, que me dio su ejemplo de trabajo duro, honestidad y una inmensa cantidad de conocimientos desde que era un niño, que me han servido para lograr esta meta, a mi madre Laurita Dávila por brindarme su amor y apoyo en cada etapa.

A mi hermana, a mi hermano y a mi novia por darme motivación y fuerzas para cumplir este sueño. Por último, a mis amigos y al resto de mi familia.

**FRANCISCO FLORES**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme todas las aptitudes necesarias para cumplir este logro en mi vida, pero sin duda un agradecimiento muy especial para mis padres por su apoyo económico y emocional que me manifestaron en el transcurso de esta carrera universitaria, gracias infinitas.

Por otra parte, agradezco a la Universidad Técnica del Norte por las experiencias brindadas, a la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, agradecerle por los conocimientos compartidos por todos los docentes que tuve el agrado de conocer.

Finalmente, a mi tutor Ing. Paul Hernández, quien tuvo la predisposición en todo momento para llevar a cabo este trabajo de grado.

**CRISTIAN CARVAJAL**

Quisiera expresar mi agradecimiento a mis padres, ya que fueron y son el motor para salir adelante en cualquier proyecto que me he propuesto, a mis hermanos y familia por apoyarme en cada decisión que he tomado.

A la Universidad Técnica del Norte y la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz y sus docentes por haber compartido sus conocimientos, a mi tutor Ingeniero Paul Hernández, quien nos ha guiado con paciencia, confianza y ha aportado con las pautas para finalizar el proyecto con éxito.

**FRANCISCO FLORES**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| RESUMEN   | xviii         |
| ABSTRACT  | xviii         |
| INTRODUCCIÓN  | xix           |
| CAPÍTULO I  | 1             |
| 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA                                      | 1             |
| 1.1 ANTECEDENTES  | 1             |
| 1.2 SITUACIÓN ACTUAL  | 2             |
| 1.3 PROSPECTIVA   | 2             |
| 1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA                                | 3             |
| 1.5 OBJETIVOS   | 3             |
| 1.5.1 Objetivo general  | 3             |
| 1.5.2 Objetivos específicos                                   | 3             |
| 1.6 ALCANCE   | 4             |
| 1.7 JUSTIFICACIÓN   | 4             |
| 1.8 VEHÍCULO MONOPLAZA ELÉCTRICO                              | 5             |
| 1.8.1 Definición vehículo monoplaza eléctrico.                | 5             |
| 1.8.2 Ventajas y desventajas del uso de un vehículo eléctrico | 6             |
| 1.8.3 Situación actual  | 6             |
| 1.9 PROPULSIÓN ELÉCTRICA                                      | 7             |
| 1.9.1 Batería   | 7             |
| 1.9.2 Motor eléctrico   | 7             |
| 1.9.3 Cargador  | 9             |
| 1.9.4 Modos de carga  | 9             |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 1.9.5    | Convertidores   | 10 |
| 1.9.6    | Estaciones de servicio eléctricas                         | 10 |
| 1.9.7    | Módulo de control   | 11 |
| 1.9.8    | Motores independientes                                    | 12 |
| 1.10     | NORMATIVA FÓRMULA SAE                                     | 12 |
| 1.10.1   | Fundamentación reglamento técnico Fórmula SAE 2021        | 12 |
| 1.10.2   | Requerimientos del vehículo                               | 12 |
| 1.10.3   | Bastidor y estructura                                     | 13 |
| 1.10.4   | Requerimientos del bastidor                               | 14 |
| 1.10.5   | Materiales  | 15 |
| 1.10.6   | Elementos desmontables y fijos                            | 16 |
| 1.10.7   | Pruebas y puntajes  | 16 |
| 1.10.7.1 | Eventos estáticos   | 17 |
| 1.10.7.2 | Eventos dinámicos   | 18 |
| 1.10.7.3 | Fases de evaluación                                       | 19 |
| 1.11     | TIPOS DE SOLDADURAS                                       | 19 |
| 1.11.1   | Soldadura SMAW  | 19 |
| 1.11.2   | Soldadura MIG/MAG   | 20 |
| 1.11.3   | Soldadura TIG   | 21 |
| 1.12     | SISTEMAS COMPLEMENTARIOS DEL VEHÍCULO MONOPLAZA ELÉCTRICO | 22 |
| 1.12.1   | Sistema de suspensión                                     | 22 |
| 1.12.2   | Sistema de frenos   | 22 |
| 1.12.3   | Sistema de dirección                                      | 23 |



|             |  |    |
|-------------|--|----|
| 1.13        | ACCIONES AERODINÁMICAS SOBRE LOS CUERPOS SÓLIDOS | 25 |
| 1.13.1      | Aerodinámica del vehículo                        | 25 |
| 1.13.2      | Fuerza de arrastre y sustentación                | 25 |
| CAPITULO II |  | 26 |
| 2           | MATERIALES Y METODOS                             | 26 |
| 2.1         | MATERIALES                                       | 26 |
| 2.1.1       | Motor eléctrico                                  | 26 |
| 2.1.2       | Baterías   | 26 |
| 2.1.3       | Cargador   | 27 |
| 2.1.4       | Tubería para el bastidor                         | 27 |
| 2.1.5       | Lámina   | 27 |
| 2.1.6       | Suelda   | 28 |
| 2.1.7       | Aros y neumáticos                                | 29 |
| 2.1.8       | Sistemas complementarios                         | 29 |
| 2.1.9       | Software cad                                     | 30 |
| 2.2         | METODOLOGÍA                                      | 30 |
| 2.2.1       | Diseño de bastidor                               | 31 |
| 2.2.2       | Simulación esfuerzos bastidor                    | 31 |
| 2.2.3       | Fabricación bastidor                             | 35 |
| 2.2.4       | Masas principales sobre el bastidor              | 37 |
| 2.2.5       | Construcción suspensión                          | 38 |
| 2.2.5.1     | Distribución de masas del monoplaza              | 38 |
| 2.2.5.2     | Cálculo antivuelco                               | 39 |
| 2.2.5.3     | Geometría suspensión                             | 39 |
| 2.2.5.4     | Simulación mesas de suspensión                   | 40 |

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| 2.2.5.5      | Fabricación suspensión                                      | 41 |
| 2.2.6        | Construcción dirección                                      | 43 |
| 2.2.6.1      | Simulación dirección  | 43 |
| 2.2.6.2      | Instalación de dirección                                    | 45 |
| 2.2.7        | Instalación sistema de frenos                               | 47 |
| 2.2.8        | Selección de motores  | 48 |
| 2.2.8.1      | Radio del neumático   | 48 |
| 2.2.8.2      | Relación de transmisión                                     | 49 |
| 2.2.8.3      | Selección de motores  | 49 |
| 2.2.9        | Selección de baterías                                       | 52 |
| 2.2.9.1      | Autonomía real de las baterías seleccionadas.               | 54 |
| 2.2.10       | Módulo de control   | 55 |
| 2.2.11       | Instalación sistema de propulsión eléctrica en el monoplaza | 57 |
| 2.2.12       | Comprobación de funcionamiento mediante osciloscopio        | 60 |
| 2.2.13       | Pintura y acabados  | 62 |
| CAPÍTULO III |   | 64 |
| 3            | RESULTADOS Y DISCUSIÓN                                      | 64 |
| 3.1          | Simulación y análisis en Optimum Lap                        | 64 |
| 3.2          | Pruebas en dinamómetro                                      | 66 |
| 3.3          | Comparativa simulación y prueba dinamométrica               | 67 |
| 3.4          | Simulación pruebas fórmula SAE                              | 69 |
| 3.5          | Hoja de revisión fórmula SAE                                | 70 |
| CAPÍTULO IV  |   | 71 |
| 4            | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES                              | 71 |
| 4.1          | Conclusiones  | 71 |

|     |                            |    |
|-----|----------------------------|----|
| 4.2 | Recomendaciones            | 72 |
|     | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 73 |
|     | ANEXOS                     | 78 |

## ÍNDICE DE TABLAS

| <b>TABLA<br/>NÚM</b>   | <b>PÁGINA</b> |
|--|---------------|
| <b>Tabla 1.1</b> Requisitos mínimos para cada tamaño especificado. | 15            |
| <b>Tabla 1.2</b> Puntuación competencia Fórmula SAE Electric       | 17            |
| <b>Tabla 2.1</b> Especificaciones motor eléctrico                  | 26            |
| <b>Tabla 2.2</b> Especificaciones batería                          | 26            |
| <b>Tabla 2.3</b> Especificaciones cargador                         | 27            |
| <b>Tabla 2.4</b> Especificaciones de tubería de bastidor           | 27            |
| <b>Tabla 2.5</b> Especificaciones de la plancha                    | 28            |
| <b>Tabla 2.6</b> Especificaciones de la soldadora                  | 28            |
| <b>Tabla 2.7</b> Especificación de aros y neumáticos               | 29            |
| <b>Tabla 2.8</b> Sistemas complementarios                          | 29            |
| <b>Tabla 2.9</b> Valores para la simulación                        | 32            |
| <b>Tabla 2.10</b> Masas principales                                | 37            |
| <b>Tabla 2.11</b> Cálculo distribución de masas                    | 38            |
| <b>Tabla 2.12</b> Cálculo antivuelco.                              | 39            |
| <b>Tabla 2.13</b> Dimensiones mesas de suspensión                  | 40            |
| <b>Tabla 2.14</b> Cálculo radio del neumático                      | 48            |
| <b>Tabla 2.15</b> Cálculo de relación de transmisión               | 49            |
| <b>Tabla 2.16</b> Cálculo para la selección de motores             | 49            |
| <b>Tabla 2.17</b> Cálculo para la selección de batería             | 52            |
| <b>Tabla 2.18</b> Cálculo autonomía real de baterías               | 54            |
| <b>Tabla 2.19</b> Conexión de terminales                           | 58            |
| <b>Tabla 2.20</b> Duty cycle                                       | 61            |
| <b>Tabla 3.1</b> Valores del vehículo Fórmula SAE                  | 64            |
| <b>Tabla 3.2</b> Resultados prueba de dinamómetro                  | 66            |
| <b>Tabla 3.3</b> Resultado pruebas de maniobrabilidad              | 69            |
| <b>Tabla 3.4</b> Resultado pruebas dinámicas                       | 70            |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| FIGURA<br>NÚM      |   | PÁGINA |
|--------------------|---|--------|
| <b>Figura 1.1</b>  | Carga en corriente alterna y continua               | 10     |
| <b>Figura 1.2</b>  | Triangulación del bastidor Fórmula SAE 2021         | 14     |
| <b>Figura 1.3</b>  | Trazado del circuito para prueba de maniobrabilidad | 18     |
| <b>Figura 1.4</b>  | Proceso SMAW  | 20     |
| <b>Figura 1.5</b>  | Elementos que intervienen en MIG/MAG                | 20     |
| <b>Figura 1.6</b>  | Elementos que intervienen en soldadura TIG          | 21     |
| <b>Figura 2.1</b>  | Diagrama de flujo proceso metodológico              | 30     |
| <b>Figura 2.2</b>  | Diseño bastidor en 3D.                              | 31     |
| <b>Figura 2.3</b>  | Juntas para simulación                              | 31     |
| <b>Figura 2.4</b>  | Aplicación de fuerza superior                       | 33     |
| <b>Figura 2.5</b>  | Simulación impacto frontal                          | 34     |
| <b>Figura 2.6</b>  | Simulación torsión en 8 puntos.                     | 35     |
| <b>Figura 2.7</b>  | Arco principal y secundarios                        | 36     |
| <b>Figura 2.8</b>  | Corte del tubo tipo boca de pescado                 | 36     |
| <b>Figura 2.9</b>  | Proceso bastidor                                    | 37     |
| <b>Figura 2.10</b> | Mesa de suspensión.                                 | 39     |
| <b>Figura 2.11</b> | Análisis estructural mesa inferior delantera        | 40     |
| <b>Figura 2.12</b> | Análisis estructural mesa inferior trasera          | 41     |
| <b>Figura 2.13</b> | Análisis estructural mesa superior trasera          | 41     |
| <b>Figura 2.14</b> | Punto de unión con la mangueta                      | 42     |
| <b>Figura 2.15</b> | Sistema de regulación de camber                     | 42     |
| <b>Figura 2.16</b> | Punto de unión mesa – bastidor                      | 43     |
| <b>Figura 2.17</b> | Instalación de monoshock                            | 43     |
| <b>Figura 2.18</b> | Simulación dirección en “Lotus Suspension Analysis” | 44     |
| <b>Figura 2.19</b> | Diagrama de Ackermann                               | 44     |
| <b>Figura 2.20</b> | Prolongaciones geometría de Ackermann               | 45     |
| <b>Figura 2.21</b> | Corte de carcasa y eje de la cremallera             | 45     |
| <b>Figura 2.22</b> | Proceso de soldadura de carcasa                     | 46     |
| <b>Figura 2.23</b> | Instalación de la cremallera en el bastidor         | 46     |

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| <b>Figura 2.24</b> | Base y disco de freno  | 47 |
| <b>Figura 2.25</b> | Caliper de doble pistón  | 47 |
| <b>Figura 2.26</b> | Bombas de freno hidráulicas                                      | 48 |
| <b>Figura 2.27</b> | Conexión de baterías en serie                                    | 53 |
| <b>Figura 2.28</b> | Conexión serie paralelo  | 53 |
| <b>Figura 2.29</b> | Diagrama de conexión módulo de control                           | 55 |
| <b>Figura 2.30</b> | Diagrama de conmutación controlador-motor                        | 55 |
| <b>Figura 2.31</b> | Secuencia de conmutación controlador-motor                       | 57 |
| <b>Figura 2.32</b> | Ubicación baterías y motores eléctricos                          | 58 |
| <b>Figura 2.33</b> | Obtención señales bobina   | 60 |
| <b>Figura 2.34</b> | Señal sensores tipo Hall   | 60 |
| <b>Figura 2.35</b> | Señal bobinas W y U  | 61 |
| <b>Figura 2.36</b> | Señal bobinas W y V  | 62 |
| <b>Figura 2.37</b> | Monoplaza después de haber usado fondo                           | 62 |
| <b>Figura 2.38</b> | Proceso final pintura  | 63 |
| <b>Figura 3.1</b>  | Resultado simulación de velocidad y aceleración                  | 64 |
| <b>Figura 3.2</b>  | Torque y potencia Optimum Lap                                    | 65 |
| <b>Figura 3.3</b>  | Monoplaza en dinamómetro   | 66 |
| <b>Figura 3.4</b>  | Torque, potencia y velocidad con baterías en su capacidad máxima | 67 |
| <b>Figura 3.5</b>  | Prueba de maniobrabilidad  | 69 |
| <b>Figura 3.6</b>  | Prueba de aceleración  | 70 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

| <b>ECUACIÓN</b> |                                  | <b>PÁGINA</b> |
|-----------------|----------------------------------|---------------|
| <b>NÚM</b>      |                                  |               |
| <b>2.1</b>      | 4G                               | 32            |
| <b>2.2</b>      | Distribución masas eje delantero | 38            |
| <b>2.3</b>      | Distribución masas eje posterior | 38            |
| <b>2.4</b>      | Inclinación máxima               | 39            |
| <b>2.5</b>      | Perfil del neumático             | 48            |
| <b>2.6</b>      | Diámetro del neumático           | 48            |
| <b>2.7</b>      | Radio del neumático              | 48            |
| <b>2.8</b>      | Relación de transmisión          | 49            |
| <b>2.9</b>      | Peso                             | 49            |
| <b>2.10</b>     | Fuerza de rozamiento             | 49            |
| <b>2.11</b>     | Potencia                         | 49            |
| <b>2.12</b>     | Potencia requerida               | 49            |
| <b>2.13</b>     | Giro eje de tracción             | 51            |
| <b>2.14</b>     | Velocidad en la rueda            | 51            |
| <b>2.15</b>     | Tiempo                           | 52            |
| <b>2.16</b>     | Consumo (Amperios)               | 52            |
| <b>2.17</b>     | Baterías necesarias              | 52            |
| <b>2.18</b>     | Potencia de la batería           | 54            |
| <b>2.19</b>     | Potencia consumida               | 54            |
| <b>2.20</b>     | Autonomía                        | 54            |
| <b>2.21</b>     | Duty Cycle                       | 61            |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|                   | <b>PÁGINA</b>                                    |
|-------------------|--|
| <b>Anexo I</b>    | Planos bastidor monoplaça 77                     |
| <b>Anexo II</b>   | Diseño Software 3D 80                            |
| <b>Anexo III</b>  | Especificaciones prueba de dinamómetro 1 81      |
| <b>Anexo IV</b>   | Especificaciones prueba de dinamómetro 2 83      |
| <b>Anexo V</b>    | Especificaciones prueba de dinamómetro 3 84      |
| <b>Anexo VI</b>   | Especificaciones prueba de dinamómetro 4 86      |
| <b>Anexo VII</b>  | Especificaciones prueba de dinamómetro 5 88      |
| <b>Anexo VIII</b> | Resultado pruebas de maniobrabilidad 89          |
| <b>Anexo IX</b>   | Resultado pruebas dinámicas 90                   |
| <b>Anexo X</b>    | Tabla comparativa simulación vs dinamómetro 90   |
| <b>Anexo XI</b>   | Lista de comprobaciones técnicas del vehículo 90 |
| <b>Anexo XII</b>  | Monoplaça terminado 97                           |



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación hace referencia a la ‘‘Construcción de un monoplaza eléctrico con motores independientes’’. En un principio se recopiló información actual sobre los reglamentos de Fórmula SAE para la construcción del monoplaza, especialmente dimensiones o características especiales al momento de la construcción del bastidor, además de esto, se evaluó la normativa con respecto a la propulsión eléctrica, obligaciones o recomendaciones que se dictaminan en el reglamento. El diseño del monoplaza en general se lo desarrolló en SolidWorks, software que permitió además realizar simulaciones de impacto 4G sobre el bastidor. Los sistemas complementarios como lo son: dirección, suspensión y frenos son sencillos pero adecuados para un correcto funcionamiento, en el caso de la dirección se realizó una simulación en un software para comprobar que los elementos y dimensiones elegidas eran los adecuados para cumplir con su objetivo. Para el enfoque específico del trabajo, que es la propulsión eléctrica se desarrollaron cálculos de arrastre y autonomía, tomando en cuenta el peso total del vehículo que era de 233 kg, autonomía sugerida por la normativa SAE de 22 km con velocidad promedio de 50 km/h. El resultado de estos cálculos mostró que se necesitaba el uso de dos motores eléctricos cuya potencia sea mayor a 1949.97 W para la alimentación y autonomía suficiente de los mismos era necesario conseguir 60 V y 24 A, de esta manera usando conexión serie-paralelo entre 10 baterías de plomo con 12 V y 12 A se consiguió dichos valores. Finalmente fue necesario un módulo de control capaz de ejecutar el encendido, aceleración y carga de baterías de una manera simultánea para los dos motores eléctricos. Una vez concluida con toda la construcción del monoplaza fue necesario realizar pruebas en dinamómetro que arrojaron como resultado una potencia máxima de 8.77 HP y un par motor máximo de 72.56 Nm, adicionalmente se realizaron pruebas dinámicas en simulación a las pruebas que suele realizar Fórmula SAE al momento de puntuar a los vehículos participantes, el resultado de estas pruebas fueron: velocidad máxima de 34 km/h después de 75m en 11.96 segundos en la prueba de aceleración, por su parte, en la prueba de maniobrabilidad la velocidad máxima fue de 18 km/h y un tiempo de 1 minuto con 04 segundos.

## ABSTRACT

The present research work refers to the "Construction of an electric single-seater with independent motors". Initially, current information was collected about the regulations of the SAE formula for the construction of the single-seater, mainly dimensions or special characteristics for the construction of the frame, in addition to this, the regulations regarding electric propulsion, obligations or recommendations which are stated in the regulations, were also evaluated.

The design of the single-seater was developed in SolidWorks generally, a software that also allowed 4G impact simulations to be carried out on the frame. Complementary systems such as: steering, suspension and brakes are simple but adequate for correct operation, in the case of steering a simulation was carried out in software to verify that the elements and dimensions chosen were adequate to meet its objective.

For the specific focus of the work, which is electric propulsion, drag and autonomy calculations were developed, taking into account the total weight of the vehicle, which was 233 kg, autonomy suggested by the SAE regulations of 22 km with an average speed of 50 km/h. The result of these calculations showed that the use of two electric motors whose power is greater than 1949.97 W was needed for the supply and sufficient autonomy of itself, it was also required to obtain 60 V and 24 A, this way using series-parallel connection between 10 lead batteries with 12 V and 12 A these values were achieved.

Finally, a control module capable of executing the ignition, acceleration and battery charging simultaneously for the two electric motors was necessary. Once the entire construction of the single-seater was completed, it was necessary to carry out dynamometer tests that resulted in a maximum power of 8.77 HP and a maximum torque of 72.56 Nm, in addition, dynamic tests were carried out in simulation of the tests that the SAE formula usually performs while participating vehicles are scored, the results of these tests were: maximum speed of 18 km/h after 70 m in 6 seconds in the acceleration test, on the other hand, in the maneuverability test the maximum speed was 18 km/h and a time of 1 minute with 04 seconds.

## INTRODUCCIÓN

Si bien el propósito principal del trabajo consiste en fabricar un prototipo con bastidor tipo Fórmula SAE y propulsión eléctrica independiente en sus ruedas posteriores, otro propósito que se procura cumplir es el de causar un impacto en futuras generaciones automotrices, para abordar más temas que se enfoquen en la propulsión eléctrica en vehículos, ya que es evidente el poco impacto que tiene este tema a nivel nacional.

Según Chuquiguanga (2018) actualmente en Ecuador es mucho más fácil adquirir baterías o los mismos motores eléctricos, incluso para promover el impulso de la compra de vehículos eléctricos el estado ecuatoriano a eliminado los impuestos al momento de hacer la compra de estos, entonces la problemática no parte desde este punto, la falta de conocimiento por parte de la ciudadanía y la falta de profesionales con las aptitudes y capacidades necesarias para abordar posibles problemas futuros en autos eléctricos, han impedido que la tasa de uso de vehículos eléctricos aumente. Por esta razón se decide aportar con un granito de arena construyendo este prototipo con propulsión eléctrica.

Al igual que un vehículo con motor de combustión interna se puede cuantificar su comportamiento en un dinamómetro, de esta manera mediante curvas resultantes se conoce su potencia y torque máximos generados, que comparados pueden llegar a ser muy similares en las mismas condiciones, sin embargo, con mayores ventajas por parte de los vehículos con propulsión eléctrica.

# CAPÍTULO I

## 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 ANTECEDENTES

Un vehículo eléctrico es aquel que es impulsado por uno o varios motores eléctricos, la energía eléctrica necesaria se encuentra en una batería recargable, entre las ventajas más notorias se tiene que pueden triplicar la eficiencia de un MCI, sin embargo, mantienen problemas desde su fabricación, precios de sus baterías y la poca facilidad de carga que se puede encontrar (Quiroz, 2012).

En lo que se refiere a un vehículo monoplaza, plaza es el espacio que ocupa dentro del habitáculo una persona ya sea como conductor del vehículo o como pasajero (Aguirre, Hidalgo, Panamá, Padilla, & Veintimilla, 2014), por ende, un vehículo monoplaza es el que está capacitado para transportar a una sola persona, estos vehículos por lo general se usan para competencia con cabina abierta o cerrada (Pauta & Miguel, 2014).

El primer coche eléctrico puro data en 1830 y un MCI 1861, es decir que el automóvil eléctrico es más antiguo que su competidor, este vehículo alcanzaba aproximadamente 34 km/h y la carga duraba alrededor de 79 km, en 1859 Gaston Planté da a conocer la primera batería recargable sus principales materiales eran plomo-ácido, pero su fabricación en aquel entonces era muy difícil (ECO-DESIGN, 2011).

El primer vehículo eléctrico en superar 100 km/h, fue un monoplaza reconocido como el “La Jamais Contente” en 1899, que hasta la actualidad puede ser visto en el museo del automóvil de Compiegne, Francia (Quiroz, 2012). Por ende, el inicio de monoplazas eléctricos debe estar por esta década (Cueva, 2019).

Para el diseño del monoplaza se decide basarse en los lineamientos y normas de la Fórmula SAE, específicamente de la última edición “FSAE 2021”, en el que se encuentran requisitos o recomendaciones para la fabricación del prototipo, además de exigencias para la competencia. El vehículo debe tener ruedas y cabina abiertas (una carrocería de estilo fórmula) con cuatro ruedas que no estén en línea recta. Los vehículos deben satisfacer todos los criterios de la lista de comprobaciones (INTERNATIONAL SAE, 2020).

SAE Internacional es una organización y/o competencia abierta para todo tipo de estudiantes en rumbo de la Ingeniería Automotriz o similares, busca la innovación y desarrollar nuevas aptitudes en las generaciones. Son alrededor de 500 universidades, que participan para SAE, cumpliendo con parámetros y normas previamente establecidas (potencia, resistencia, peso y/o dimensiones) por esta organización (Lara, 2017).

Esto puede conllevar al crecimiento de aptitudes que forman al futuro Ingeniero Automotriz.

La opción de usar motores eléctricos como propulsión en lugar de un MCI, se decide en base a que el uso de este se ve más en el mercado actual, 6% anualmente, en definitiva, es mejor en muchos aspectos. Un motor eléctrico es mucho más económico, compacto, eficiente y sencillo que uno de combustión interna, la refrigeración es relativamente mucho más simple y pequeña, el mantenimiento es casi inexistente, no produce ruido y las vibraciones son poco considerables (Ortín, 2016).

Los motores de DC sin escobillas requieren menos mantenimiento, proporcionan una larga vida útil, bajo EMI y un funcionamiento silencioso gracias a la falta de escobillas. Potencia considerable: 2000W, Voltaje: DC 60 V. Este motor sin escobillas de 60 voltios tiene excelentes características de par y ofrece un funcionamiento dinámico de alta velocidad de 4500 rpm, destinado a satisfacer la necesidad de un motor pequeño con alto rendimiento (Miño, 2019).

## **1.2 SITUACIÓN ACTUAL**

A nivel nacional el único referente de construcción de un monoplaza tipo fórmula eléctrico que ha participado a nivel internacional se encuentra en Cuenca que hasta la actualidad sigue desarrollando los sistemas de su vehículo.

Otra creación de relevancia en el país es el chasis de un vehículo monoplaza eléctrico que se encuentra en Quito, pero este es de uso urbano, con el fin de que se use como banco de datos y pruebas.

## **1.3 PROSPECTIVA**

Generar el interés por la fabricación y estudio de vehículos monoplazas eléctricos en la carrera de Ingeniería Automotriz, que con el desarrollo y modificación del monoplaza las futuras

generaciones de estudiantes y docentes puedan llegar a formar parte de grandes competiciones, ser reconocidos en el medio por este tipo de proyectos, además de que la carrera pueda tener un mayor renombre a nivel nacional.

## **1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

De acuerdo a Chuquiguanga (2018) a Ecuador y a su población les cuesta mucho el tema de adaptarse a nuevas tecnologías y avances en el campo de la automoción, ya se vivió anteriormente cuando se tuvo que pasar de un motor con carburador a un motor a inyección, la población dudo mucho sobre este cambio. En la actualidad este mismo miedo o falta de interés ha hecho que los vehículos con propulsión eléctrica tengan poca acogida, los beneficios son innumerables, entre los más destacados se puede mencionar economía, reducción de ruido y que son ecológicos.

El propósito de varias empresas gubernamentales y privadas ha tratado de generar ese interés por la incorporación de propulsión eléctrica en el país, de esta manera con este trabajo de grado trataremos de sumarnos a este fin.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo general**

Construir un vehículo monoplaza potenciado con motores eléctricos independientes posteriores, enfocado en el uso de un módulo de control para los motores eléctricos.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Investigar los reglamentos y normas de diseño actualizadas de un vehículo monoplaza Fórmula SAE.
- Diseñar y construir el bastidor según las normas obtenidas de la Fórmula SAE edición 2021.
- Implementar los sistemas de carga y tracción a partir de cálculos y especificaciones de la normativa.
- Evaluar el comportamiento del vehículo en base a pruebas dinámicas y de dinamómetro.

## 1.6 ALCANCE

La fabricación del vehículo monoplaza con motores eléctricos independiente en las ruedas de tracción posterior, el bastidor se fabricará según lo dispuesto por la Fórmula SAE (FSAE rules 2021), los materiales con lo que se trabajará es el hierro, con suelda MIG y SMAW.

Los sistemas complementarios del monoplaza llevarán los elementos necesarios para su correcto funcionamiento, los mismos no serán juzgados por su peso, tamaño o ningún otro aspecto, ya que la presente investigación está enfocada principalmente en la propulsión eléctrica, más no en sus sistemas complementarios como tal, de esta manera dichos sistemas serán relativamente sencillos. La suspensión del monoplaza poseerá un monoshock para que realice su función, la dirección estará dispuesta por una cremallera recortada.

Se instalará 2 motores eléctricos DC que sirvan de tracción para cada rueda posterior, la potencia de los motores se encuentra en el rango de 1 500 W a 2 000 W, se usará las que ofrecen los scooter eléctricos, de tipo sin escobillas ya que por las características brindadas son los que más satisfacen las necesidades de rendimiento, par y potencia, de acuerdo al análisis de arrastre se elegirá la mejor opción respecto al número de baterías a usar y la conexión necesaria entre estas para que satisfagan la necesidad. Las baterías serán de plomo.

En principio el módulo de control tendrá por objetivo solo controlar el encendido, alimentar al sistema con carga eléctrica y controlar potencia de los motores uniformemente. De acuerdo con el análisis o necesidades futuras se podrá replantear lo antes mencionado.

Cabe recalcar que la carrocería del monoplaza eléctrico de fibra de carbono o de algún otro tipo, no está prevista en este proyecto, por esta razón no se pretende que este monoplaza participe en competencias de Fórmula SAE a corto plazo, se espera que con el trabajo de futuras generaciones pueda llegar hasta dicha competencia, todo el proceso de fabricación se lo realizará de manera independiente en la ciudad de Otavalo, provincia de Imbabura.

## 1.7 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación está enfocada en el cambio de la visión de los estudiantes, profesionales del campo automotriz e inclusive del público en general sobre los vehículos con propulsión

eléctrica, ya que impulsamos al uso de bienes más amigables con el medio ambiente y mucho más sostenibles.

Dentro del Plan Nacional para el Buen Vivir, tanto el eje 2 Economía al servicio de la sociedad, con la siguiente política “Fomentar la producción nacional con responsabilidad social y ambiental, promoviendo el manejo eficiente de los recursos naturales y el uso de tecnologías duraderas y ambientalmente limpias, para garantizar el abastecimiento de bienes y servicios de calidad” (SENPLADES, 2017), así como el eje 3 Mas sociedad, mejor Estado que tiene por objetivo lo siguiente “Incentivar una sociedad participativa, con un Estado cercano al servicio de la Ciudadanía” (SENPLADES, 2017), son dos de las ideologías u objetivos a los que se trata de alcanzar mediante el presente trabajo de titulación, acogiéndose a lo antes mencionado.

La importancia del desarrollo eléctrico dentro de los vehículos está basada en la incertidumbre del abastecimiento del petróleo, los altos precios, las emisiones de CO<sub>2</sub>, la contaminación atmosférica y el ruido (Santana, 2016). Se pretende así entonces, mediante el desarrollo de un módulo de control para los motores eléctricos, demostrar que los sistemas que lo integran no representan una dificultad considerable como se ha venido creyendo, de esta manera conseguir mayor interés sobre esta propulsión. De igual manera se busca fomentar la inclusión de los estudiantes en estos proyectos de *Formula student* para una futura participación de la Universidad Técnica del Norte.

## **1.8 VEHÍCULO MONOPLAZA ELÉCTRICO**

### **1.8.1 Definición vehículo monoplaza eléctrico.**

Plaza es el espacio que ocupa dentro del habitáculo una persona ya sea como conductor del vehículo o como pasajero (Aguirre, Hidalgo, Panamá, Padilla, & Veintimilla, 2014), en este caso monoplaza hace referencia a la capacidad para una sola persona.

Por consiguiente, el concepto más sencillo para un vehículo eléctrico es aquel que usa para su propulsión energía eléctrica, almacenada en una o varias baterías, esta energía alimenta a uno o varios motores eléctricos que tienen como función transformar esta energía eléctrica en energía mecánica, de esta manera las ruedas del vehículo tendrán tracción (Chuquiguanga & Jiménez, 2018). En varios tipos de estos vehículos, se tiene el freno regenerativo que ofrece la capacidad de reusar la energía cinética cuando se acciona el freno sobre las ruedas motrices, de esta manera se puede recargar la batería en ciertos porcentajes (Spencer, 2019).



### **1.8.2 Ventajas y desventajas del uso de un vehículo eléctrico**

Las ventajas que ofrece el uso de motores eléctricos con respecto a sus competidores son varias, entre las más importantes se puede mencionar.

- Inexistencia del gas contaminante CO.
- Mayor eficiencia.
- No es ruidoso.
- No necesita demasiado mantenimiento y sus costos son bajos.
- Resulta más económico en relación con el consumo.
- Evita depender del petróleo.

Por otra parte, como desventaja se presentan los siguientes puntos.

- Depender de la autonomía que ofrece la batería.
- Cargar la batería puede resultar un proceso bastante demoroso.
- Estaciones de servicio poco frecuentes en Ecuador.
- Costos de baterías elevados.
- En Ecuador la propulsión eléctrica no tiene gran acogida por esta razón, los profesionales automotrices tienen poco conocimiento y capacitación en este tipo de propulsión (Orbea, Toapaxi, & Guano, 2017).

### **1.8.3 Situación actual**

“En los últimos años el tema de autos eléctricos ha pasado de ser un tema de curiosidad técnica a formar parte ya como un medio de movilidad” (Global EV Outlook, 2016).

El objetivo propuesto para 2020 era de tener en el mercado alrededor de 20 millones de autos eléctricos en el mundo, mientras que para 2030 el objetivo es 500 millones de autos eléctricos de diferentes clases (Nuñez & Arcos, 2019), los datos revelan que se cumplió con alrededor de tan solo 50 a 60% de lo previsto para 2020.

Mientras tanto en Ecuador como se mencionó anteriormente la falta de acogida en el mercado actual ha hecho que no tenga mayor impacto, sin embargo, el gobierno busca financiar alrededor de 80 buses y 370 taxis para todo el territorio nacional, con el afán de cumplir con su objetivo de transporte público limpio, actualmente en Ecuador existen alrededor de 18 electrolinerías (Orozco, 2020).

## 1.9 PROPULSIÓN ELÉCTRICA

### 1.9.1 Batería

“La batería es un dispositivo que almacena energía eléctrica, mediante el uso de procedimientos electroquímicos, su energía, es devuelta casi en toda su totalidad” (Cabrera & Calle, 2016). Es la base del funcionamiento de un motor eléctrico en un vehículo.

Tipos de baterías.

- Batería de tipo plomo ácido.

“El electrodo positivo posee una placa de plomo y recubierta por óxido de plomo por su parte el electrodo negativo es de plomo esponjoso” (Díez, 2019). Son de las más usadas en el campo automotriz por su bajo costo, por esta razón sus prestaciones son limitadas.

- Baterías de tipo níquel – hidruro metálico.

Las baterías recargables de Ni-MH son una tecnología emergente que presenta características similares a las de Ni-Cd, con la diferencia que las primeras presentan la capacidad de absorber, liberar y realizar el transporte de hidrógeno entre los electrodos que forman parte de la celda (Yattah, 2015).

- Baterías de litio.

La batería de iones de litio también denominada batería Li-Ion, es un dispositivo diseñado para almacenamiento de energía eléctrica que emplea como electrolito una sal de litio que consigue los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo (Ojeda & Ortiz, 2017). Actualmente es la tecnología en baterías más utilizadas para vehículos eléctricos, ya que ofrece ventajas como su autonomía y bajo peso.

### 1.9.2 Motor eléctrico

Un motor eléctrico es aquel que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Los motores eléctricos presentan curvas ideales para la tracción de vehículos, es decir, potencia constante en todo el rango de velocidades lo que proporcionan un par elevado a baja velocidad y un par de reducido a elevada velocidad (Miño, 2019).

Tipos de motores eléctricos más utilizados en la industria automovilística.

- Motores de inducción.

“Las máquinas asincrónicas o de inducción están formadas principalmente de dos partes: rotor y estator separados por un entrehierro” (Miño, 2019, pág. 10), el estator permanece fijo y es alimentado por una carga de AC, el rotor es el elemento móvil del motor por donde hay un flujo de AC por inducción.

- Motores de inducción tipo jaula de ardilla.

Internadamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio y de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula. El nombre se deriva en esta semejanza entre esta jaula de ardilla y las barras (González, 2018). Los puntos a favor para este tipo de motores es su bajo peso, bajos precios en el mercado y eficiencia elevada.

- Motores de imanes permanentes.

La clasificación de las MSIP esta bifurcada de acuerdo con dos criterios; el primero es la disposición física de los imanes permanentes en el rotor de máquina, y el segundo es la orientación del flujo magnético de excitación con respecto a la alineación del eje de su rotor (Osorio & Ramírez, 2016). Los puntos a favor de este tipo de motores es su bajo peso, buena disipación del calor y económicos en cuestión de mantenimientos.

- Motores eléctricos sin escobillas.

Se denomina motor Brushless a aquellos motores eléctricos que carecen de escobillas o de algún sistema de conmutación mecánica que realice una función similar a éstas. Las escobillas son unas piezas metálicas de pequeño tamaño que permanecen en contacto con los devanados del rotor, de tal forma que a medida que se produce el giro del motor permiten cambiar la polaridad de los devanados de una manera mecánica (Flores, 2018).

- Motor de reluctancia variable.

Los motores de reluctancia variable de campo radial han surgido con trayectos de flujo más cortos y largos. Este desarrollo se basa en si una bobina de fase se coloca en las ranuras adyacentes a cada uno para obtener un par de polos o la bobina se coloca en la diametralmente opuesta. Los motores de reluctancia variable de camino de flujo corto tienen la ventaja de pérdidas de núcleo más bajas debido al hecho de que no se producen inversiones de flujo en el hierro trasero del estator además

de tener trayectorias cortas del flujo. Tienen las desventajas de tener una inductancia mutua ligeramente superior en comparación con la de campo radial convencional y un posible mayor tirón magnético desigual en el rotor (Román, 2017).

- Motores de flujo axial.

Los motores de flujo axial son un tipo de motor que a diferencia de los convencionales o tradicionales no presentan un flujo rotatorio radial sino axial, como su nombre lo dice, estos motores tienen altos valores de par motriz a bajas velocidades, alcanzan eficiencias muy altas y poseen una alta densidad de potencia, existen motores de flujo axial de diferentes tipos: de imanes permanentes (MFAIP) y de inducción (MFAI) y estos a su vez se dividen en otros más (Suarez, 2017).

### **1.9.3 Cargador**

Se trata de un dispositivo que tiene por objetivo cargar la batería de alto voltaje, usando corriente alterna desde una red, transforma esta corriente alterna a continua para que así pueda ser almacenada por la batería principal (Duque & Rocano, 2018).

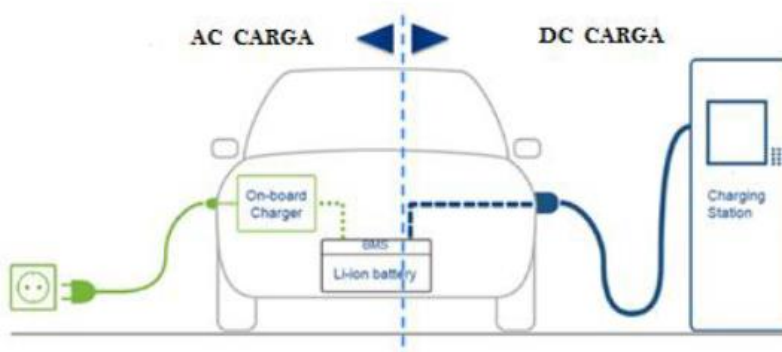
Existen dos tipos de cargadores, por una parte el tipo unidireccional que tendrá un solo sentido de corriente y será el que alimenta a la batería, por otra parte, se tiene el tipo bidireccional cuya diferencia se encuentra que tiene un paso adicional y es el de retorno de energía desde la batería hasta la red (Logroño, 2017), esta luego podrá ser usada de diferentes maneras.

### **1.9.4 Modos de carga**

Según (Duque & Rocano, 2018) se puede dividir a los tipos de carga en 3 grupos.

- Carga normal. – el tiempo de carga se encuentra entre 2 a 6 horas para obtener una carga del 100%, usando valores que oscilan entre 8kW a 19kW y 32 a 80 A.
- Carga rápida. – quizá una carga rápida en ocasiones sea una buena alternativa, pero no es recomendada siempre, ya que este tipo de carga le resta el tiempo de vida útil a la batería y a su eficiencia como tal, este proceso de carga dura menos de 1 hora, con potencias de 50 a 100 kW.

- Carga de mantenimiento o lenta. – es el proceso en el cual la carga se la realiza con alimentación de red eléctrica doméstica (1.9kW; 20A), requiere alrededor de 14 horas cargar una batería promedio completamente.



**Figura 1.1** Carga en corriente alterna y continua

(Aguirre, Hidalgo, Panamá, Padilla, & Veintimilla, 2014, pág. 28)

En la figura 1.1 se puede apreciar de mejor manera en el caso de usar corriente alterna la presencia de un convertidor dentro del vehículo (On-board), pero en el caso de hacer la recarga en una electrolinera este convertidor está incorporado dentro de la máquina (Off-board), recibiendo directamente corriente continua (Aguirre, Hidalgo, Panamá, Padilla, & Veintimilla, 2014).

### 1.9.5 Convertidores

Los convertidores tienen por objetivo principal realizar dos acciones, la primera es la transformación la corriente que recibe AC a corriente que admite la batería CC, también está obligada a reducir la tensión que aporta la batería de alto voltaje a la batería de bajo voltaje, cuya función es alimentar a los sistemas de baja tensión (Ortín, 2016).

### 1.9.6 Estaciones de servicio eléctricas

Son conocidas también como electrolineras, se denomina de esta manera al espacio físico con adaptaciones para la carga o recarga de las baterías de alto voltaje, Ecuador tiene actualmente un aproximado de 18 electrolineras, la más grande en la ciudad de Guayaquil con 20 cargadores disponibles (Cueva, 2019).

### 1.9.7 Módulo de control

Los controladores electrónicos se basan en un conjunto de interruptores fabricados con materiales semiconductores, que se abren o cierran en función de su respectiva señal de control, la cual es generada a partir de la técnica de control seleccionada. El proceso de control de los interruptores es conocido como Conmutación Electrónica. (Flores, 2018)

Como lo señala (Cruz, 2017) el módulo de control electrónico tiene un sinnúmero de funciones, pero entre las más importantes se tiene:

- Arranque
- Parada
- Control de velocidad
- Protección de circuitos eléctricos y motor
- Seguridad

Es muy importante controlar la secuencia de los motores eléctricos y de la adición de energía al estator, de manera que el campo rotatorio se mantenga y tenga una sincronía con el rotor, de esta forma la velocidad con la que gira el eje va a depender directamente del voltaje que se le suministre en cada fase (Cock, 2015).

Los controladores de motor se dividen en dos grandes grupos, por una parte, están los que cuentan con sensores y por otra parte los que no cuentan con sensores, de esta manera:

- Con sensores. – cuentan dentro de sus elementos con sensores encargados de proveer de información de la posición y velocidad del motor, los más usados son los de efecto Hall, Resolvers y Encoders, aunque también se puede encontrar los de tipo reluctancia variable.
- Sin sensores. – no por no tener sensores quiere decir que se deja a un lado saber la posición y velocidad del motor, este tipo de controladores realiza esta operación, pero usando a los instantes de conmutación o usan algoritmos oportunos. Como desventaja se tiene que son más robustos, por lo contrario, se tiene como ventajas que son más económicos y eficientes ya se evita los daños comunes que suelen presentar los sensores o las malas lecturas por fluidos del ambiente (Flores, 2018).

### **1.9.8 Motores independientes**

Los vehículos eléctricos suelen tener un solo motor unido a un eje solidario para las dos llantas, o a su vez, existen motores independientes, uno para cada llanta posterior con el fin de lograr el movimiento de estas o también como un convertidor de energía cinética de las ruedas en energía eléctrica, con ello obtenemos la carga con un sistema de frenos regenerativos (Miño, 2019).

“Los vehículos con motores independientes en cada rueda evitan pérdidas de transmisión, pero estos son más apropiados para pequeños vehículos donde no se necesitan grandes potencias” (Torres, 2015). Aunque esto depende de la potencia individual de los motores.

## **1.10 NORMATIVA FÓRMULA SAE**

### **1.10.1 Fundamentación reglamento técnico Fórmula SAE 2021**

En la actualidad las competencias SAE electric se desarrollan en países como Alemania, Australia, Inglaterra, Estados Unidos, Italia y Brasil, actualmente sigue en desarrollo en países como México.

Los programas Collegiate Design Series (CDS) de SAE International preparan a los estudiantes de pregrado y estudiantes graduados de Ingeniería en una variedad de disciplinas para futuros empleos relacionados con la movilidad, industrias, desafiándolos mediante una aplicación de ingeniería del mundo real (INTERNATIONAL SAE, 2020, pág. 5).

Dichas competencias ponen a prueba a equipos de pregrado y posgrado universitarios para concebir, diseñar, fabricar, desarrollar y competir con un estilo de fórmula con pequeños vehículos.

“Para lograr el propósito de la competición de la Fórmula SAE Eléctrico, los equipos simulan estar trabajando a las órdenes de una compañía que está diseñando, fabricando y probando un prototipo para el mercado de automóviles de competición” (Cabrera & Calle, 2016). El principal objetivo es demostrar las habilidades de ingeniería aplicadas al vehículo superando una serie de pruebas de potencia, frenado y manejo.

### **1.10.2 Requerimientos del vehículo**

Se detalla los requerimientos básicos del vehículo:

El vehículo debe tener ruedas y cabina abiertas (una carrocería estilo fórmula) con cuatro ruedas que no estén en línea recta. El vehículo debe tener una distancia entre ejes mínima de 1525 mm.

La vía y el centro de gravedad deben combinarse para proporcionar suficiente estabilidad en caso de vuelco. La distancia al suelo debe ser suficiente para evitar que cualquier parte del vehículo, excepto los neumáticos, toque el suelo durante eventos dinámicos (INTERNATIONAL SAE, 2020, pág. 20)

### **1.10.3 Bastidor y estructura**

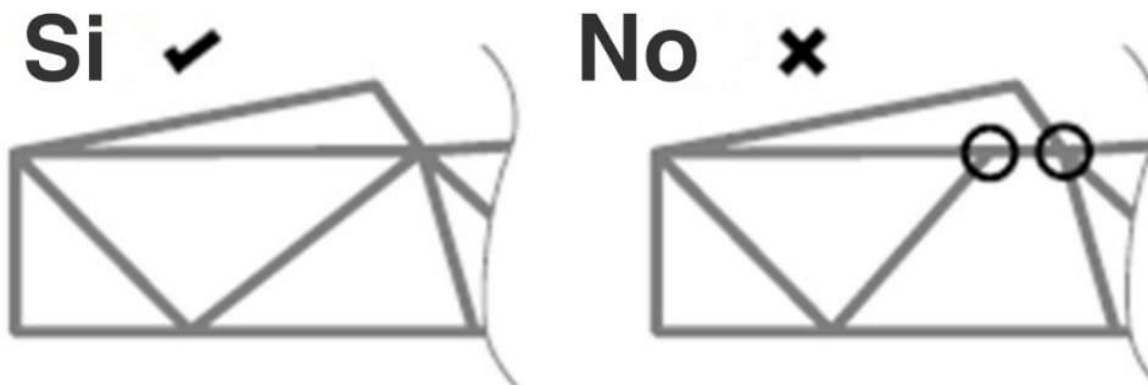
El bastidor es una estructura interna que ofrece rigidez y resistencia a un vehículo al momento de utilizarlo. Se encarga de alojar la mayor cantidad de elementos del vehículo, como el motor, sistema de dirección, carrocería, la transmisión y diferenciales, además es un implemento de seguridad ya que protege al piloto al momento de un choque absorbiendo la energía del impacto (Redondo, 2017).

“El conjunto estructural fabricado que soporta todos los sistemas funcionales del vehículo. Este conjunto puede ser una sola estructura fabricada, múltiples estructuras fabricadas o una combinación de estructuras compuestas y soldadas” (INTERNATIONAL SAE, 2020).

La estructura debe proteger al piloto, para ellos cuenta con dos arcos principales, el primero anterior al volante de dirección y el segundo detrás de la cabeza y la espalda del piloto. Su función principal es proteger la cabeza del piloto en caso de vuelco, esta no debe tocar el suelo (Calvo, 2018).

Triangulación es una disposición de miembros de estructura donde todos los miembros y segmentos de miembros entre curvas o nodos con otros tubos estructurales forman una estructura compuesta enteramente por triángulos. Esto generalmente se requiere entre un miembro superior y un miembro inferior, los cuales pueden tener múltiples segmentos que requieren una diagonal para formar múltiples triángulos (INTERNATIONAL SAE, 2020, pág. 25).





**Figura 1.2** Triangulación del bastidor Fórmula SAE 2021

(INTERNATIONAL SAE, 2020, pág. 25).

#### 1.10.4 Requerimientos del bastidor

“La rigidez de un chasis permite corregir las actitudes de sobreviraje y subviraje, evitando excesivas deformaciones producidas por fuerzas externas, impactos o colisiones que puedan dañar la integridad de los ocupantes” (Borja, 2017). Existe dos tipos de rigidez:

La rigidez de flexión: los tubos deben tener una alta rigidez a la flexión, mucho más grande que la carga aplicada, cuando mayor es la rigidez a la flexión, menor será la posibilidad que el tubo se doble (Faicán Vasquez, 2018).

La rigidez de torsión: “la torsión es el efecto producido por aplicar fuerzas paralelas de igual magnitud, pero en sentido opuesto en el mismo sólido” (Borja, 2017).

Otro requerimiento indispensable en la construcción de un bastidor es el peso.

El bastidor de un vehículo es una de las partes más pesadas de todos los elementos que lo conforman, un peso muy elevado puede provocar el uso de gran parte de la potencia del motor en el movimiento de dicha masa. En las competencias mientras menor sea el peso del vehículo, tiene mayores ventajas de estabilidad, eficiencia del motor y ahorro de combustible (Redondo, 2017, pág. 6).

El centro de gravedad, la estabilidad del vehículo monoplaza depende directamente de la ubicación de sus masas en el centro de gravedad, un centro de gravedad muy alto daría como resultado un vehículo muy inestable en curvas cerradas a una velocidad considerable, para ello se debe reducir

la altura del centro de gravedad lo más cerca al suelo para de esta manera conseguir mayor estabilidad y seguridad (Barbecho, 2017).

### 1.10.5 Materiales

La mayor parte de estructuras realizadas para Fórmula SAE son de tubos de acero y hierro, estos materiales son capaces de soportar los esfuerzos aplicados, pero el problema principal es su peso excesivo en comparación con la fibra de carbono. La mayoría de los bastidores están unidos mediante soldadura, aunque también se opta por unión con pernos o atornilladas, además se puede incluir otros materiales como el aluminio en partes donde no haya esfuerzos altos y con la finalidad de reducir peso (Pons Estruch, 2016), en la tabla 1.1 se señala los requerimientos sugeridos por la organización.

**Tabla 1.1** Requisitos mínimos para cada tamaño especificado.

| Tubo | Momento mínimo de inercia del área | Área de sección transversal mínima | Diámetro exterior mínimo o ancho cuadrado | Espesor mínimo de pared | Tamaños de ejemplo de tubo redondo           |
|------|------------------------------------|------------------------------------|---|-------------------------|--|
| A    | 11320 mm                           | 173 mm                             | 25.0 mm                                   | 2.0 mm                  | <i>1.0" x 0.095"</i><br><i>25 x 2.5 mm</i>   |
| B    | 8509 mm                            | 114 mm                             | 25.0 mm                                   | 1.2 mm                  | <i>1.0" x 0.065"</i><br><i>25.4 x 1.6 mm</i> |
| C    | 6695 mm                            | 91 mm                              | 25.0 mm                                   | 1.2 mm                  | <i>1.0" x 0.049"</i><br><i>25.4 x 1.2 mm</i> |
| D    | 18015 mm                           | 126 mm                             | 35.0 mm                                   | 1.2 mm                  | <i>1.375" x 0.049"</i><br><i>35 x 1.2 mm</i> |

Fuente: (INTERNATIONAL SAE, 2020, pág. 27).

“Los materiales comúnmente usados en la competencia Formula Student para el desarrollo de un chasis tubular es aleación de acero baja en carbono. Entre estas aleaciones destacan los siguientes aceros: acero grado SAE 1010, 1020 y 4130” (Álvarez, 2018).

#### Acero SAE 1010

“Es un acero medio al carbono entre 0.08% y 0.013% los bajos porcentajes de carbón definen al material como relativamente blandos y poco resistentes, pero con extraordinaria ductilidad y maleabilidad” (Álvarez, 2018, pág. 18).

### Acero SAE 1020

Este acero posee un número más alto de carbono en comparación con el acero SAE 1010, aplicado en el ámbito de la construcción de mediana resistencia. La resistencia máxima a la tracción es 394.7 MPa y límite elástico de 294.8 MPa (Álvarez, 2018, pág. 19).

### Acero SAE 4130

Pertenece a los aceros de alta resistencia y baja aleación, conformados por cromo y molibdeno de los cuales es llamado acero cromo – molibdeno, en relación con su peso este material tiene una alta resistencia a la tracción y ductilidad (Álvarez, 2018, pág. 19).

#### **1.10.6 Elementos desmontables y fijos**

Elementos desmontables, son todos aquellos elementos o sistemas sujetos al bastidor de manera no permanente, con elementos de unión mecánica desmontable, como pueden ser el volante, la columna de dirección, el asiento, todo el acolchado que se puedan quitar, entre otros. La palanca de cambios o el mecanismo de cambio no se puede quitar a menos que sea integral con el volante y se quite con este. Los elementos fijos son aquellos que están unidos al bastidor, ya sea por soldadura o algún elemento de sujeción permanente. El cortafuegos no se debe mover ni quitar. Cables, alambres, mangueras, tubos, etc. no deben obstaculizar la plantilla (Álvarez, 2018)

#### **1.10.7 Pruebas y puntajes**

La calificación con la que se evalúa a los coches participantes de la competencia es sobre 1000 puntos y dividida en dos eventos, estáticos y dinámicos.

**Tabla 1.2** Puntuación competencia Fórmula SAE Electric

| EVENTOS ESTÁTICOS    |                    |
|----------------------|--------------------|
| EVENTOS              | PONDERACIÓN        |
| Presentación         | 75                 |
| Diseño               | 150                |
| Análisis de costo    | 100                |
| <b>TOTAL</b>         | <b>325</b>         |
| EVENTOS DINÁMICOS    |                    |
| EVENTOS              | PONDERACIÓN        |
| Aceleración          | 100                |
| Skid-Pad             | 75                 |
| Autocross            | 125                |
| Eficiencia           | 100                |
| Endurance            | 275                |
| <b>TOTAL</b>         | <b>675</b>         |
| <b>PUNTAJE TOTAL</b> | <b>1000 puntos</b> |

Fuente: (INTERNATIONAL SAE, 2020)

### 1.10.7.1 Eventos estáticos

El monoplaza tendrá que estar en reposo y con las indicaciones que se detallan en fases de evaluación, este proceso se divide en 2 eventos que se exponen a continuación.

- **Escrutinio.** – se trata de una inspección técnica con el fin de evaluar el estado del vehículo en general, este proceso se subdivide en dos partes:

Pruebas de inclinación, en esta etapa se sube al vehículo en una plataforma que inclina al vehículo lateralmente en dos inclinaciones distintas, la primera a 45° con el afán de verificar que no exista derrame de líquidos o elementos que cuelguen, en la segunda inclinación se pone al vehículo a 60° en esta parte el monoplaza tiene que mantener sus cuatro ruedas sobre la plataforma con el objetivo de evitar posibles volcamientos.

Prueba Ready to drive sound, aquí se evalúa el nivel de ruido que producirá el vehículo para indicar el momento en que esté listo para ser conducido, este sonido debe alcanzar un mínimo

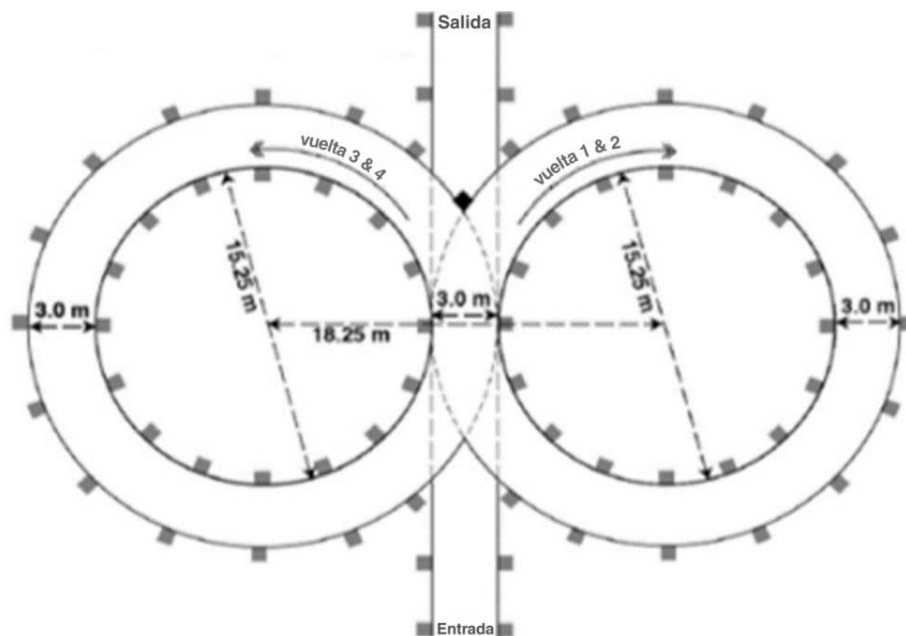
de 80 dBA, con un mínimo de 1 segundo y un máximo de 3 segundos, dicho sonido debe ser específico de cada vehículo.

- Prueba de frenos. – es una prueba sencilla donde el vehículo tiene que ser capaz de lograr un óptimo frenado con el sistema de tracción apagado (Malla & Samaniego, 2017).

### 1.10.7.2 Eventos dinámicos

Este evento se divide en 5 etapas:

- Maniobrabilidad. – se evalúa la capacidad del vehículo que tiene para tomar curvas en un circuito que consta de dos circunferencias cerradas por otras dos en una especie de 8, como se muestra en la figura 1.3, en dicha imagen se muestra las dimensiones de las circunferencias el sentido de las dos primeras vueltas y el sentido de las dos últimas vueltas. Cabe recalcar que el puntaje de esta prueba se basa en el tiempo que transcurre con el monoplaza en pista y las infracciones que cometa al tirar o no los conos que existen dentro de pista



**Figura 1.3** Trazado del circuito para prueba de maniobrabilidad

(INTERNATIONAL SAE, 2020)

- Aceleración. – se trata de una prueba sencilla en el cual se evalúa la aceleración del monoplaza en una pista recta de 75 m de largo por 4.9 m de ancho.
- Auto Cross. – Es una prueba que reúne las capacidades de frenado, aceleración y la capacidad para tomar las curvas del vehículo en espacios más reducidos, la velocidad

promedio suele estar entre 40 a 50 km/h y la distancia total del circuito no debe ser mayor a 900 m

- Eficiencia. – en esta etapa se evalúa cuan eficiente resultó el vehículo después de la prueba de resistencia, entonces la calificación va en relación con la prueba mencionada.
- Resistencia. – es la prueba más larga en la cual la distancia en las zonas rectas será de máximo 77 m, curvas de 30 m a 54 m de diámetro, además constará de slaloms, todo ese recorrido tendrá una distancia máxima de 22 km (Malla & Samaniego, 2017)

### **1.10.7.3 Fases de evaluación**

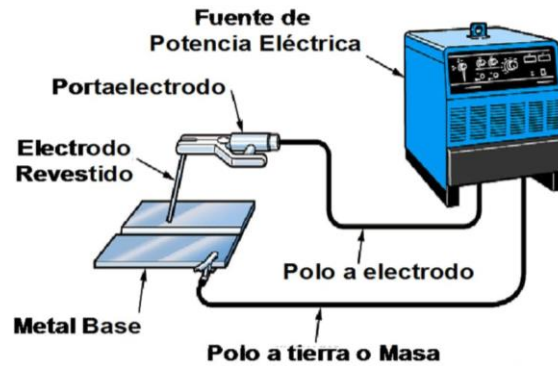
En el momento de realizarse la lista de comprobación del vehículo, este tendrá que someterse a 4 fases:

- Fase 1. – en esta fase el vehículo obligatoriamente debe permanecer estático, sus cuatro neumáticos en su posición, la nariz de la carrocería desarmada y por último desactivar los sistemas de alto y bajo voltaje
- Fase 2. – para las pruebas a realizarse en esta fase el vehículo debe estar embancado, es decir los neumáticos desacoplados y con los sistemas de alto y bajo voltaje desactivados.
- Fase 3. – similar a la anterior fase, pero esta vez se debe activar los sistemas de alto y bajo voltaje.
- Fase 4. - en esta fase es necesario que el monoplaza se encuentre armado en su totalidad, es decir con los neumáticos en su posición, desembancado, la nariz y todos los elementos de la carrocería en su sitio, pero con los sistemas de alto y bajo voltaje desactivados.

## **1.11 TIPOS DE SOLDADURAS**

### **1.11.1 Soldadura SMAW**

Las siglas SMAW provienen de “Shield Metal Arc Welding”, este tipo de proceso de soldadura trata de un electrodo revestido y un metal base, esto produce el arco eléctrico para llevar a cabo este proceso. Es uno de los métodos más antiguos de soldadura, en donde el amperaje puede ser modificado según el revestido del electrodo, el espesor del metal base y de la posición de soldadura (Alvarado & Montalván, 2019).



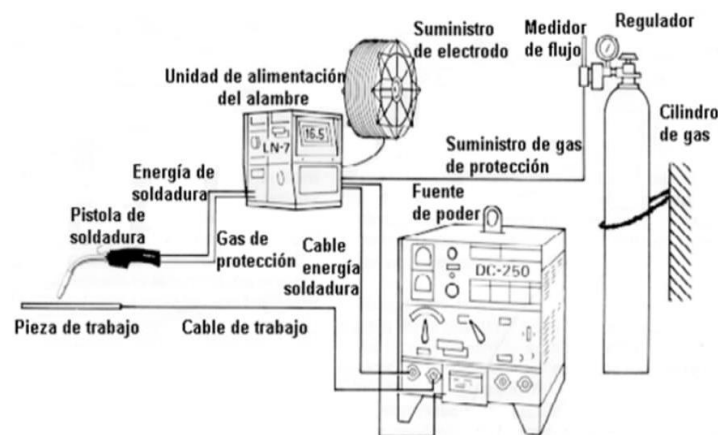
**Figura 1.4** Proceso SMAW

(Alvarado & Montalván, 2019)

Entre las ventajas de relevancia se tiene que actualmente es uno de los métodos de suelda más económicos existentes, puede acceder a lugares difíciles ya que el electrodo tiene una gran longitud y no tiene problema de uso en exteriores e interiores, como desventaja se puede mencionar que el rendimiento es menor, producen mayor contaminación y son menos eficientes.

### 1.11.2 Soldadura MIG/MAG

Las siglas MIG provienen de “Metal Inerte Gas”, también es un tipo de soldadura por arco eléctrico, con electrodo consumible continuo y metal base, pero con la diferencia que este tiene la protección de un gas inerte (Argón, Helio) o gas activo (CO<sub>2</sub>), en el caso de este último las siglas cambian a MAG, que quiere decir “Metal Active Gas”. La función de este gas es actuar como una barrera entre el arco y el aire (Becerra & Pachito, 2021).



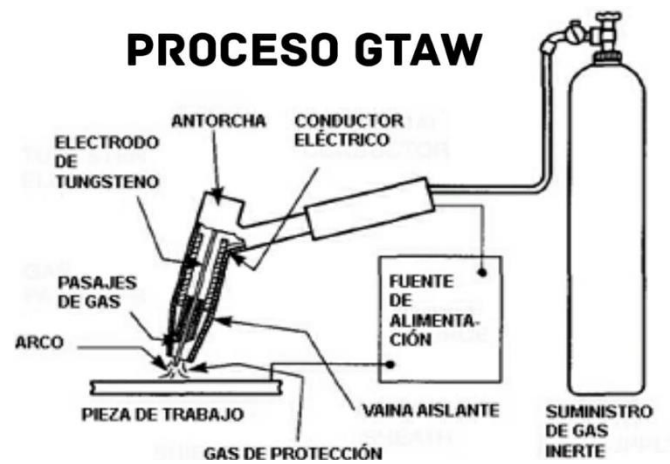
**Figura 1.5** Elementos que intervienen en MIG/MAG

(Alvarado & Montalván, 2019)

Como ventajas de este proceso se tiene que permite cordones de suelda más rápidos, no deforma a los materiales más delgados, estéticamente es mejor que el anterior proceso, es mucho más eficiente ya que no requiere un cambio continuo de electrodo, por su parte las desventajas que muestra este proceso, es que no tiene buena penetración en elementos de gran espesor, problemas al soldar en lugares con corrientes de aire, así como al soldar metales con corrosión, elementos más costosos y por ende el mantenimiento es mayor.

### 1.11.3 Soldadura TIG

Este proceso de soldadura también usa la protección de un gas inerte en este caso el Argón, la diferencia es que el electrodo no se consume en este caso es de tungsteno, debido a esto es necesario el uso de un material de aporte, el arco eléctrico es generado mediante el calor que produce el electrodo y el metal base (Bermeo, Calle, & Carrión, 2014).



**Figura 1.6** Elementos que intervienen en soldadura TIG

(Alvarado & Montalván, 2019)

Por una parte, entre las ventajas se tiene que, estéticamente es mejor que los anteriores, .no ocasiona salpicaduras, no necesita limpiezas posteriores, por otra parte, las desventajas que brinda este proceso es que, es relativamente más costoso, requiere mayor técnica de soldadura y tiene problemas para soldar con corrientes de aire.



## 1.12 SISTEMAS COMPLEMENTARIOS DEL VEHÍCULO MONOPLAZA ELÉCTRICO

### 1.12.1 Sistema de suspensión

Se conoce como sistema de suspensión, al conjunto de componentes que conecta toda la masa suspendida con las ruedas del vehículo, entre una de sus prioridades está la de absorber las oscilaciones que suele ocasionar la carretera, se encarga también de reducir las oscilaciones que se generan al frenar o acelerar (Pilataxi, 2018), entonces de una manera general se puede decir que este sistema es el encargado de dar confort a los ocupantes del vehículo, así como también generar estabilidad para la conducción.

Según (Pilataxi, 2018) los tipos de suspensión más conocidos son:

- Eje rígido, es el más sencillo, cuenta con un eje que une un par de ruedas y sobre este un par de ballestas.
- Semirrígida, una variante más suave para el confort, sin embargo, no deja de ser rígida ni tampoco independiente.
- Independiente, básicamente el impacto que absorbe es único en cada rueda, es decir que no afectara a su opuesta, usualmente en ruedas delanteras.
- McPherson, este tipo de suspensión tiene adaptaciones de brazos articulados en la parte inferior, mientras tanto en la parte superior se unirá a la carrocería o bastidor.

Costin & Phipps (1965 como se citó en (Palacios & Sangopanta, 2018)) menciona que uno de los factores a tomar en cuenta para un auto de competencia, es que mientras más superficie mantenga la llanta en relación con el suelo, mejor trabajara su sistema de suspensión y dirección.

### 1.12.2 Sistema de frenos

Forma parte del sistema de seguridad activa del vehículo, básicamente se trata de la aplicación de una aceleración negativa o una fuerza en sentido contrario, con el fin de disminuir la energía cinemática de acuerdo con la necesidad que el conductor lo requiera (Ayala, 2018), de esta manera se puede detener el vehículo de manera parcial o total.

Según (Carpio, 2018), los vehículos que participan para *Formula Student* tienen diferentes tipos de sistema de frenos, pero lo más habitual es del tipo pinza y disco de freno para cada rueda.

Se puede clasificar a los sistemas de frenos en dos grandes grupos, por un lado, se tiene los frenos mecánicos y, por otro lado, existen a los frenos hidráulicos, hoy en día estos últimos son más habituales.

La mayoría de los prototipos también usan sistema de frenos hidráulicos y los elementos que la componen son los siguientes:

- Líquido de freno. – su función es brindar la presión que el sistema requiere, estará almacenada en el depósito de líquido de frenos, se transporta por las cañerías y como características debe ofrecer un alto punto de ebullición, bajo grado de congelación y mantener su fluidez sin importar ningún factor climatológico (Ayala, 2018).
- Depósito de líquido. – este es el lugar donde se aloja el líquido de freno, para así abastecer a la bomba maestra.
- Bomba maestra. – se le conoce también como bomba principal, su función es transformar la fuerza mecánica que se aplica sobre el pedal en una presión hidráulica, de esta manera la presión del líquido de frenos llegara hasta la mordaza de freno (Carpio, 2018).
- Cañerías. – (Ayala, 2018) afirma que son conductos solidos de diámetro diminuto normalmente de acero o cobre y son mejores que los flexibles, en relación a soportar altas presiones.
- Pinza de freno. – conocida habitualmente como mordaza o caliper, tienen como objetivo el oprimir las pastillas de freno contra el disco de freno, esta acción la realiza mediante uno o un par de pistones que tienen dentro de su composición.
- Pastillas de freno. – es el elemento de sacrificio del sistema de frenos, ya que este es el que se fricciona contra el disco en el momento del frenado, por lo que su desgaste es necesario.
- Disco de freno. – su trabajo es muy importante dentro del sistema de frenos, en este elemento existe la transformación de la energía cinética en calorífica, cuando es aplicado el frenado sobre él.

### **1.12.3 Sistema de dirección**

Se conoce como sistema de dirección al conjunto de mecanismos con el fin de hacer girar las ruedas a una dirección que el conductor haya maniobrado, de una manera más detallada se puede decir que mediante una fuerza aplicada sobre el volante para que este gire se debe conseguir que el vehículo tenga una dirección (Llavisaca, 2018).

Según (Morillo, 2018) entre las obligaciones de este sistema se encuentran las siguientes:

- Brindar seguridad en todo momento para que la conducción sea la adecuada.
- Evitar sobreesfuerzos para hacer girar al volante y por ende a la dirección.
- Soportar las fuerzas y esfuerzos que pueden ocasionar la superficie de desplazamiento.

Existe muchos tipos de dirección, su principal diferencia se encuentra en su caja de dirección, (Morillo, 2018) les clasifica de la siguiente manera:

- Piñón cremallera.
- Tornillo sin fin.
- Sin fin y tuerca.
- Sin fin y sector dentado.
- Sin fin y rodillo.

Estos tipos de dirección pueden incluir las siguientes asistencias.

- Eléctrica.
- Hidráulica.
- Electrohidráulica.

Para (Llavisaca, 2018) los más usados en prototipos monoplaza, son los de tipo cremallera y sus partes se detallan a continuación.

Volante de dirección. – es el elemento con el cual las manos del conductor tienen contacto, por ende, debe ser cómodo y ergonómico, el giro de este determina el giro en la dirección del vehículo.

Columna de dirección. – representa el medio de conexión entre el volante con la caja de la dirección, además de esto transmite el giro efectuado sobre el volante, de esta manera estará sometido a esfuerzos de torsión.

Cremallera. - se trata de una barra dentada con la finalidad de transformar el movimiento circular en un movimiento lineal hacia las ruedas delanteras del vehículo.

Brazos de la dirección. – son los elementos de conexión entre la cremallera y la mangueta.

## **1.13 ACCIONES AERODINÁMICAS SOBRE LOS CUERPOS SÓLIDOS**

### **1.13.1 Aerodinámica del vehículo**

(Porras, 2018) asegura que la configuración aerodinámica del auto actúa directamente sobre la resistencia al avance por medio del aire, de una manera más sencilla se refiere al impacto que ocasionara el aire cuando el vehículo se desplace.

La aerodinámica de un vehículo es demasiado importante, influye en factores como consumo de combustible o energía, puede restar potencia, emitir ruidos, afectar a la estabilidad del vehículo, entre otros (Aguilar, Caldas, Rivera, & Tapia, 2017).

### **1.13.2 Fuerza de arrastre y sustentación**

Se conoce como fuerza de arrastre a la fuerza que se opone al desplazamiento del vehículo al avanzar entre el aire (Quito & Ávila, 2017), por su parte la fuerza de sustentación o empuje esta perpendicular a la de arrastre, en ambas se usan coeficientes adimensionales (Morales, 2018)

Es necesario realizar este cálculo, en el que interfieren datos referenciales como el torque y potencia de los motores eléctricos preseleccionados, peso neto del vehículo y otras variantes. De esta manera se puede conocer la capacidad real necesaria que deben brindar los motores eléctricos y por ende las características necesarias en las baterías.

## CAPITULO II

### 2 MATERIALES Y METODOS

#### 2.1 MATERIALES

##### 2.1.1 Motor eléctrico

Los motores sin escobillas utilizados en el monoplaza se encuentran especificados en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Especificaciones motor eléctrico

| Motor eléctrico.  | Especificaciones.                          |
|-------------------|--|
| Tipo.             | Brushless - Imanes permanentes- Trifásico. |
| Voltaje           | 60V  |
| Potencia          | 2000W                                      |
| Velocidad nominal | 3000-3200 rpm                              |
| Par nominal       | 85 N.m                                     |
| Peso              | 5 (kg)                                     |

Fuente: (Fabricante, 2021)

##### 2.1.2 Baterías

En la tabla 2.2 se detalló las características de la fuente de energía utilizada en el monoplaza.

**Tabla 2.2** Especificaciones batería

| Batería          | Especificaciones.                   |
|------------------|-------------------------------------|
| Marca            | Songli Battery                      |
| Tipo             | Batería de plomo                    |
| Voltaje          | 12 V                                |
| Amperios         | 12.2 A                              |
| Peso             | 4.45 (kg)                           |
| Dimensiones (mm) | 150 (largo), 98 (ancho), 100 (alto) |

Fuente: (Fabricante, 2021)

### 2.1.3 Cargador

El cargador encargado de energizar el conjunto de baterías está detallado en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3** Especificaciones cargador

| Cargador     | Especificaciones |
|--------------|------------------|
| Tipo         | Carga rápida     |
| Input        |                  |
| 100-240 V AC | 50/60 Hz         |
| Output       |                  |
| 60 V DC      | 20 amperios      |

Fuente: (Fabricante, 2021)

### 2.1.4 Tubería para el bastidor

La tubería de acero estructural se utilizó en la construcción del bastidor, sus especificaciones se detallan en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4** Especificaciones de tubería de bastidor

| <b>Acero estructural redondo</b> |                 |
|----------------------------------|-----------------|
| <b>Especificaciones</b>          | <b>Detalles</b> |
| Largo normal                     | 6.00 (m)        |
| Medida exterior                  | 25.4 (mm)       |
| Medida interior                  | 23.4 (mm)       |
| Espesor                          | 2 (mm)          |
| Norma                            | NTE INEN 2415   |
| Acabado superficial              | Acero negro     |
| Calidad                          | SAE J 403 1008  |
| Peso                             | 3.60 (Kg)       |

Fuente: (IPAC, 2021)

### 2.1.5 Lámina

La lámina de acero negro se utilizó como refuerzo en la suspensión y como refuerzos estructurales en el bastidor.

**Tabla 2.5** Especificaciones de la laminada acero

| <b>Plancha de acero laminada en caliente</b> |                           |
|--|---------------------------|
| <b>Especificaciones</b>                      | <b>Detalles</b>           |
| Largo normal                                 | 2.43 (m)                  |
| Ancho normal                                 | 1.21 (m)                  |
| Espesor                                      | 3 (mm)                    |
| Norma  | NTE INEN 115              |
| Acabado superficial                          | Acero negro               |
| Calidad                                      | ASTM A36 - SAE J 403 1008 |

Fuente: (IPAC, 2021)

### 2.1.6 Suelda

La soldadora empelada es tipo Inverter MIG es utilizada por su resistencia y estética al momento de usarla, detallada a continuación en la tabla 2.6.

**Tabla 2.6** Especificaciones de la soldadora

| <b>Soldadora Gladiator Inverter MIG IM 8200-220</b> |                 |
|---|-----------------|
| <b>Datos técnicos</b>                               | <b>Detalles</b> |
| Voltaje   | 220 (V)         |
| Frecuencia  | 50 – 60 (Hz)    |
| Potencia  | 4.84 (kVA)      |
| Torque  | 0.6 – 0.9 (mm)  |
| Rango de amperaje                                   | 50 – 200 (A)    |
| Voltaje en vacío                                    | 43 (V)          |
| Peso  | 6 (Kg)          |
| Tipo de alambre                                     | Acero de 9 (mm) |

Fuente: (Gladiator PRO, 2020)

### 2.1.7 Aros y neumáticos

**Tabla 2.7** Especificación de aros y neumáticos

| <b>Aros Rin 13</b>          |            |
|-----------------------------|------------|
| Ancho                       | 127 (in)   |
| Diámetro                    | 13 (in)    |
| Peso                        | 7 – 8 (Kg) |
| <b>Neumáticos 185/50R13</b> |            |
| Ancho                       | 185 (mm)   |
| Perfil                      | 0.5 %      |
| Diámetro interior           | 13 (in)    |
| Valor de carga              | 475 (Kg)   |
| Peso                        | 5 (Kg)     |

Fuente: (Fabricante, 2021)

### 2.1.8 Sistemas complementarios

**Tabla 2.8** Sistemas complementarios

| <b>SISTEMA DE SUSPENSIÓN</b>          |                    |
|---------------------------------------|--------------------|
| <b>Monoshock hidráulico</b>           |                    |
| Longitud                              | 40 (cm)            |
| Diámetro del vástago                  | 1.90 (cm)          |
| <b>SISTEMA DE DIRECCIÓN</b>           |                    |
| Manzanas delanteras                   | Chevrolet San Remo |
| Manzanas posteriores                  | Fabricadas         |
| Rotulas                               | Chevrolet Aveo     |
| Terminales                            | Chevrolet Aveo     |
| Cremallera                            | Chevrolet D-Max    |
| <b>SISTEMA DE FRENOS</b>              |                    |
| Bomba de freno hidráulica             | Motocicleta        |
| Cañerías de freno                     | Motocicleta        |
| Caliper de doble pistón               | Motocicleta        |
| <b>Discos de freno de motocicleta</b> |                    |



**Tabla 2.8** Sistemas complementarios (Continuación...)

|          |         |
|----------|---------|
| Diámetro | 20 (cm) |
| Espesor  | 3 (mm)  |

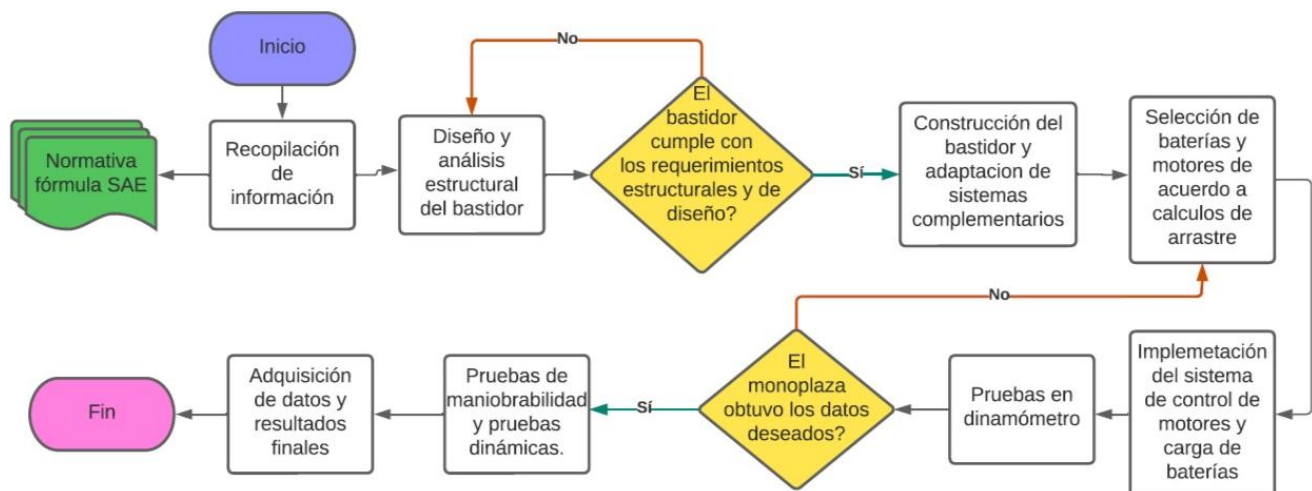
Fuente: (Fabricante, 2021)

### 2.1.9 Software cad

En este caso se usó SolidWorks 2018 con licencia estudiantil, esta es una aplicación de diseño en 2D y 3D con la ventaja de elaborar piezas y luego ensamblarlas. El software ofrece una gama de soluciones que cubren todos los aspectos involucrados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar datos de procesos de diseño (SOLIDWORKS, 2020)

## 2.2 METODOLOGÍA

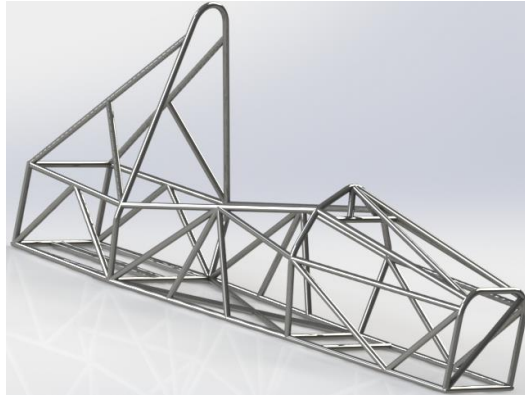
En esta sección se presenta de una manera metódica y práctica todo el proceso que se llevó a cabo para cumplir con la “CONSTRUCCIÓN DE UN MONOPLAZA ELÉCTRICO CON MOTORES INDEPENDIENTES”, de esta manera en la Figura 2.1 se muestra mediante un diagrama de flujo los pasos a seguir para llegar al objetivo principal.



**Figura 2.1** Diagrama de flujo proceso metodológico

### 2.2.1 Diseño de bastidor

Para el diseño del monoplaza se usó el software SolidWorks, siguiendo con las instrucciones de la normativa SAE 2020 y se mejoró algunos puntos en su infraestructura con el fin de brindar mayor confort, seguridad al conducir, consiguiendo que se pueda acoplar a las necesidades del mismo.

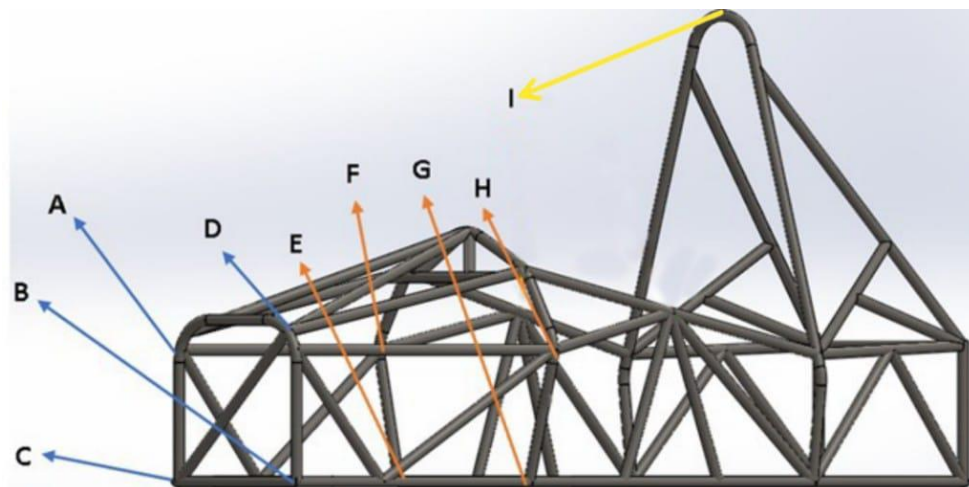


**Figura 2.2** Diseño bastidor en 3D.

Como se muestra en la figura 2.2 el bastidor se diseñó en 3D y en este caso se usó un solo tipo de tubo para todo el modelo, el que se muestra en la tabla 2.4, las cotas del modelo se encuentran en la parte de anexos.

### 2.2.2 Simulación esfuerzos bastidor

Una vez concluido con la fabricación del bastidor en SolidWorks, en el mismo software se procedió a someter al bastidor a diferentes esfuerzos para poder simularlo ante diferentes aspectos.

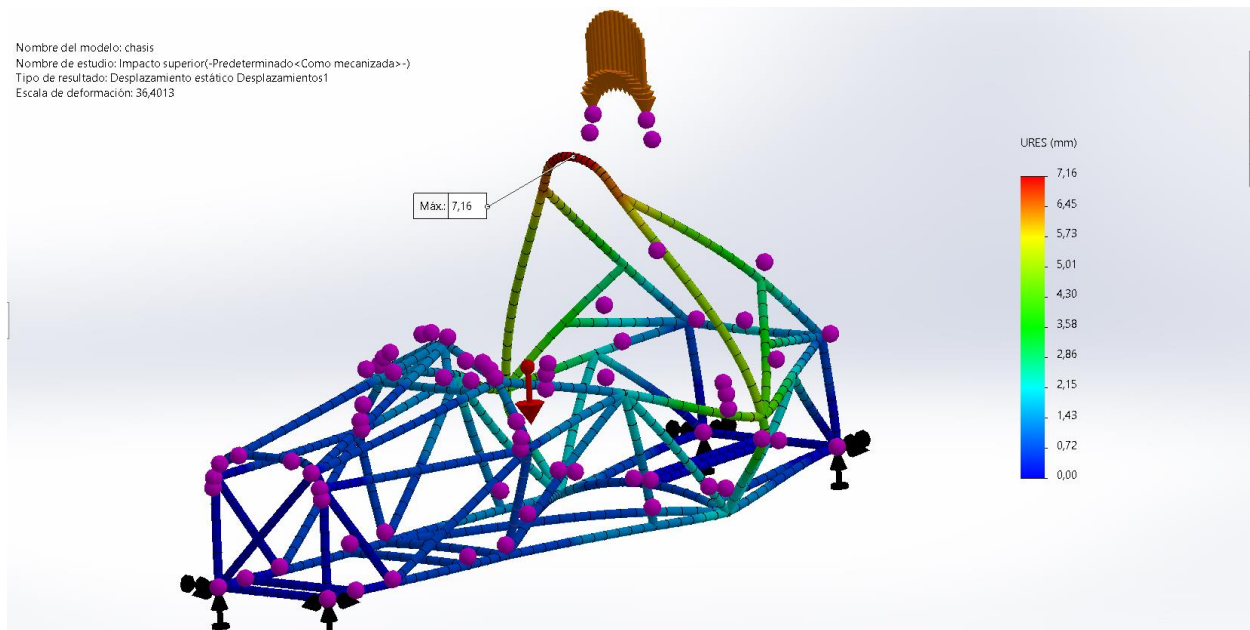


**Figura 2.3** Juntas para simulación

En este caso se sometió a 3 procesos al bastidor, prueba de impacto frontal, superior y otra prueba adicional de torsión, con una fuerza 4G, en la tabla 2.9 se muestra las fuerzas a considerar para la simulación, el material de los tubos es ASTM A36, con un límite elástico de 2.50 GPa.

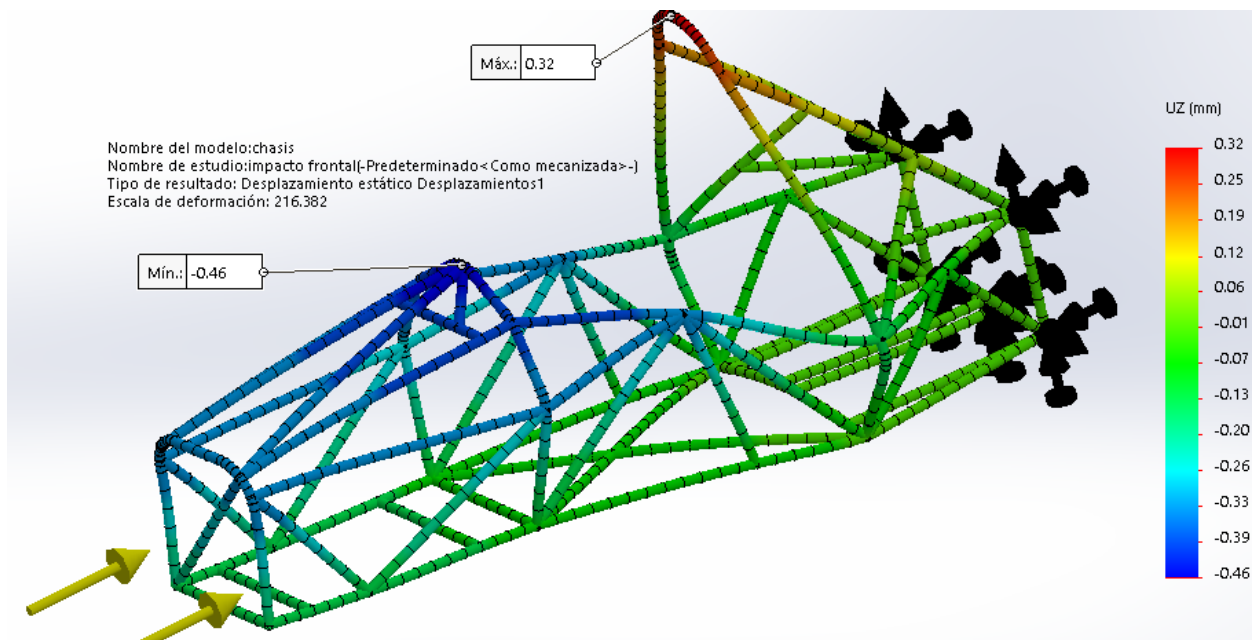
**Tabla 2.9** Valores para la simulación

|   |       |
|---|-------|
| $4G = 4 * 10 * m$   | [2.1] |
| <p>En donde:</p> <p>m= masa total del monoplaza incluida con la del conductor (233 kg)</p>  |       |
| <p>Desarrollo:</p> $4G = 4 * 10 * 233$ $4G = 9200 \text{ Newtons}$  |       |
| <p>En este caso en la prueba superior se analizó en un solo miembro el valores de fuerza es el mismo que se calculó 9200 N, para la prueba frontal se analizó en 4 puntos o juntas por lo que la fuerza a insertar es de 2300N, para la prueba de torsión se lo realizó en 8 puntos con 250N.</p> |       |



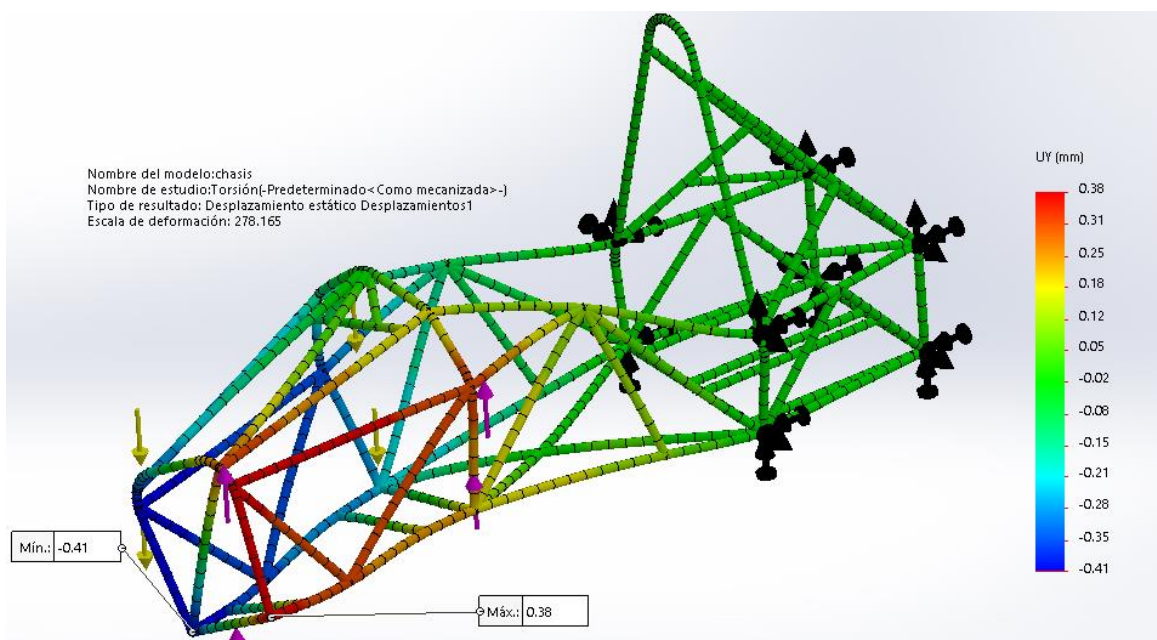
**Figura 2.4** Aplicación de fuerza superior

De esta manera como se observa en la figura 2.4, se sometió al chasis a prueba 4G descendente en donde las flechas de color negro son los puntos de referencia fijos del monoplaza, han sido elegidos estos puntos debido a que en un caso de impacto superior son los puntos de menor impacto, la flecha roja muestra la acción de la gravedad sobre el bastidor y las flechas amarillas son los puntos donde actúa la fuerza de comprobación, en este caso pertenece a al miembro I de la figura 2.3, de esta manera como resultado se pudo observar que es la parte superior del arco donde existe mayor desplazamiento en el “eje y” en este caso muestra un valor de 7.16 mm lo que quiere decir que el desplazamiento es descendente, por otra parte, el mayor desplazamiento en el “eje X” se tiene una deformación máxima de 0.09 mm en el mismo punto que fue aplicada la fuerza, ante esta prueba el límite elástico máximo en los puntos críticos fue de 2.48 GPa, por lo que está dentro del límite.



**Figura 2.5** Simulación impacto frontal

En este caso en la figura 2.5 se puede observar como el bastidor fue sometido a una prueba de impacto frontal con fuerza de 2300N en 4 puntos A, B, C y D de la figura 2.3, dando como resultado una deformación máxima en el “eje x” en la parte superior del arco principal de 0.32 mm es decir que esta deformación actúa en sentido contrario a la fuerza aplicada, por otra parte, la otra deformación es de -0.46 mm ubicada en el arco medio, esta deformación está en sentido similar a la fuerza aplicada, analizando la deformación en el “eje y” se puede apreciar la deformación máxima en el punto B y C con un valor de 1.02 mm, es necesario mencionar que para esta prueba el límite elástico fue de 1.4 GPa, demostrando el resultado favorable que se tuvo ante esta prueba. Los puntos fijos ubicados en la parte trasera han sido elegidos de acuerdo a sugerencias de impacto frontal según Álvarez (2018).



**Figura 2.6** Simulación torsión en 8 puntos.

En este caso fue aplicada fuerzas en diferentes direcciones para provocar la torsión y ver su comportamiento, 4 fuerzas ascendentes en los puntos B, D, H, G y 4 fuerzas descendentes en los puntos A, C, E, F que se muestran en la Figura 2.3, por su parte los punto fijos de igual manera han sido seleccionados bajo especificación de Álvarez (2018), en este caso el resultado de esta simulación mostró una deformación máxima ascendente en el “eje Y” de 0.38mm en el punto B y una deformación descendente de -0.41 mm en el punto C como se observa en la figura 2.6, por su parte la deformación máxima en el “eje x” se encuentra cercana al arco intermedio y es de 0.38mm, dando como resultado un valor de 1.6 GPa en su límite máximo de elasticidad.

### 2.2.3 Fabricación bastidor

Con la ayuda de los planos obtenidos de acuerdo con el diseño del bastidor, lo primero que se realizó fue el corte y dobles de los arcos principales, arcos secundarios y la parte inferior del bastidor como se muestra en la figura 2.7.



**Figura 2.7** Arco principal y secundarios

El proceso de corte se realizó con la ayuda de herramientas que dividen el material y lo separa según la forma deseada. El modelo de corte en boca 45 grados es utilizado para la unión correcta de tubería redonda, el tubo con desbaste debe acoplar perfectamente con la superficie del tubo consecutivo, tal cual se puede observar en la figura 2.8.



**Figura 2.8** Modelo de corte en boca a 45 grados

La construcción empieza desde la parte inferior o piso del monoplaza como se muestra en la figura 2.9, como siguiente punto se procedió ensamblar los arcos principales, secundarios y todos los miembros que conforman el bastidor.





**Figura 2.9** Proceso bastidor

Es necesario tomar en cuenta los siguientes puntos para el ensamble del bastidor:

- En cada unión de los miembros estructurales es necesario hacer el acople de boca de pescado para asegurar una buena unión entre los mismos.
- Así mismo cada unión en su primera etapa, se realizó soldaduras por puntos, con el fin de comprobar o corregir su posición.
- Una vez comprada la posición se procedió a efectuar los cordones de suelda correspondientes.

#### **2.2.4 Masas principales sobre el bastidor**

En este apartado se toma en cuenta toda masa que estará sujeta al bastidor de manera permanente, incluyendo la masa del piloto, con el fin de luego hacer lo que se conoce como una distribución de masas adecuada.

**Tabla 2.10** Masas principales

| <b>Elemento</b> | <b>Masa (Kg)</b> |
|-----------------|------------------|
| Piloto          | 70               |
| Motores         | 10               |
| Baterías        | 45               |
| Suspensión      | 70               |
| Dirección       | 14               |
| Frenos          | 12               |
| Varios          | 12               |



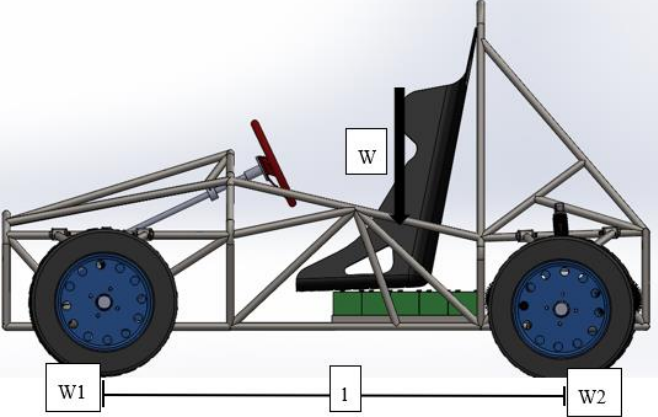
Como se muestra en la Tabla 2.10 el peso previsto del vehículo monoplaza eléctrico es de 233 kg, el cual está dentro del rango que Fórmula SAE ha dispuesto, dentro de la normativa el peso máximo es de 300 kg.

## 2.2.5 Construcción suspensión

### 2.2.5.1 Distribución de masas del monoplaza

Se analizó cual ha sido la distribución de masas en cada eje del vehículo

**Tabla 2.11** Cálculo distribución de masas

|   |       |   |       |
|---|-------|---|-------|
| $W1 = \frac{w}{2} - \frac{w * x}{l}$  | [2.2] | $W2 = \frac{w}{2} + \frac{w * x}{l}$                            | [2.3] |
|    |       |   |       |
| <p>Donde: W1= eje delantero<br/> W2= eje trasero<br/> w= el 100% del peso del monoplaza<br/> l= distancia entre ejes (1530 mm)<br/> x= centro de gravedad desde el eje neutro (60 mm)</p> |       |   |       |
| $W1 = \frac{100\%}{2} - \frac{100\% * 60}{1530}$ $W1 = 46.08\%$   |       | $W2 = \frac{100\%}{2} + \frac{100\% * 60}{1530}$ $W2 = 53.92\%$ |       |

De esta manera si el 100% del peso del vehículo es 233 kg, la distribución de masas es la siguiente:

W1= 125.64 kg

W2= 107.36 kg

### 2.2.5.2 Cálculo antivuelco

Normativa SAE en este aspecto señala que el valor mínimo debe ser 60% estable en una curva

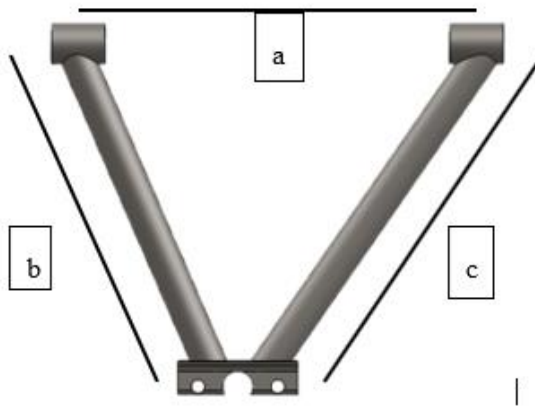
**Tabla 2.12** Cálculo antivuelco.

|  |       |
|--|-------|
| $\beta = \tan^{-1}\left(\frac{t}{2 * h}\right)$  | [2.4] |
| <p>Donde:</p> <p><math>\beta</math>= Inclinación máxima.</p> <p>t= Ancho de vía (1300 mm)</p> <p>h= Altura del centro de gravedad (260 mm)</p> |       |
| <p>Desarrollo:</p> $\beta = \tan^{-1}\left(\frac{1300}{2 * 260}\right)$ $\beta = 68.19\%$  |       |

De acuerdo con el resultado de la tabla 2.12, y en relación con lo que plantea Fórmula SAE ante el cálculo antivuelco, se puede determinar que el prototipo supera las exigencias mínimas.

### 2.2.5.3 Geometría suspensión

La Suspensión independiente tiene la ventaja principal de obtener mayor estabilidad, ya que el movimiento de los neumáticos se transmite por separado. La suspensión de paralelogramo deformable cuenta con dos mesas, cada mesa se une en dos puntos específicos al bastidor y en un punto a la mangueta, a través de una rótula.



**Figura 2.10** Mesa de suspensión.

De esta manera cada mesa de la suspensión tiene las siguientes dimensiones.

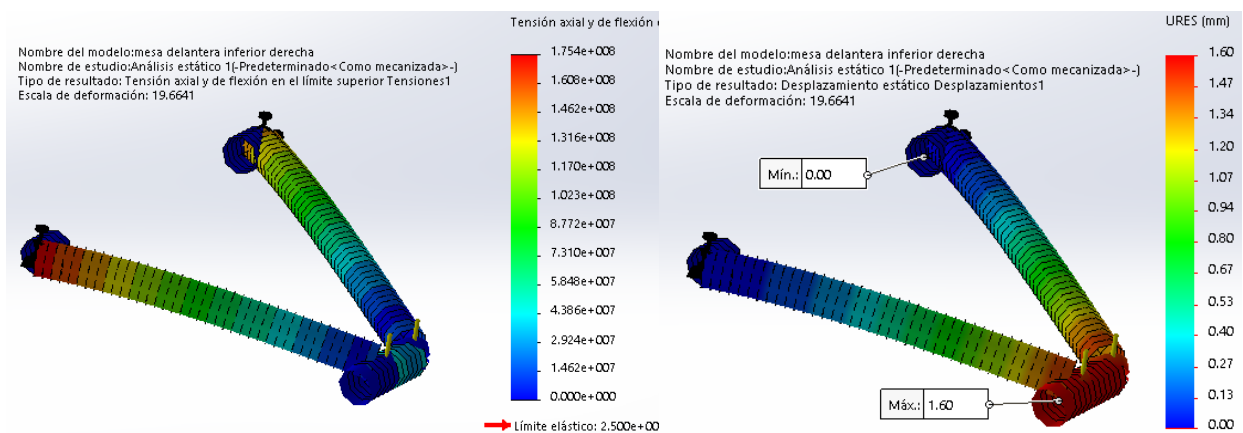
**Tabla 2.13** Dimensiones mesas de suspensión

|                    |                 |        |
|--------------------|-----------------|--------|
| Delantera inferior | a= 340<br>b=260 | c= 290 |
| Delantera superior | a= 330<br>b=240 | c=230  |
| Trasera inferior   | a= 290<br>b=235 | c= 290 |
| Trasera superior   | a= 330<br>b=235 | c= 290 |

Las medidas que se observan en la tabla 2.13 están en mm, además de esto como se observa en la figura 2.10 hay 2 tubos de 40 mm que hacen la función de bocines y un ángulo de 1 ¼ in con una dimensión de 90 mm, por este se sujetó las rótulas.

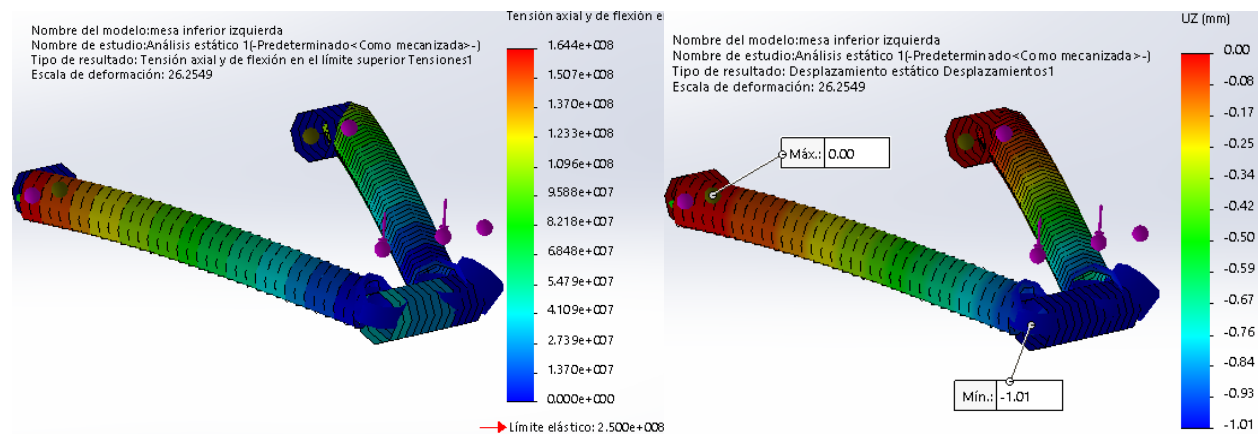
#### 2.2.5.4 Simulación mesas de suspensión

En este caso como se analiza en la figura 2.11 existe un límite elástico de 1.75 GPa, el cual es el adecuado ya que no supera al límite elástico máximo del material que es de 2.50 GPa, así mismo existe un desplazamiento máximo de 1.60 mm con un factor de seguridad de 1.40, todos los puntos fijos en esta y las siguientes simulaciones han sido elegidas debido a que son los puntos de conexión al bastidor.



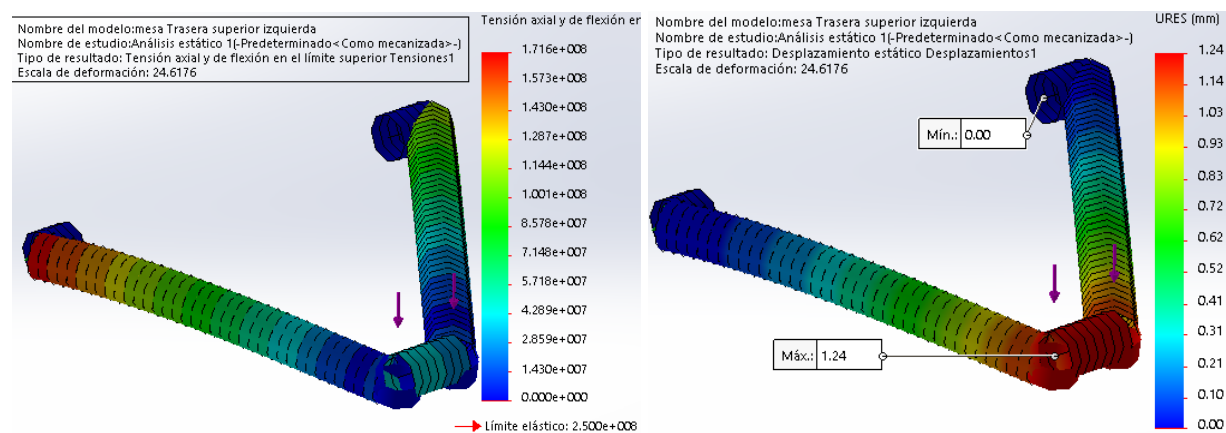
**Figura 2.11** Análisis estructural mesa inferior delantera

A continuación, se muestra el análisis estructural de la mesa inferior trasera en el que una vez más el límite de elasticidad está dentro del rango permitido en este caso con un valor de 1.64 GPa en su punto más crítico, por otra parte, la deformación máxima es de 1.01 mm, y factor de seguridad de 1.5, tal cual se puede observar en la figura 2.12.



**Figura 2.12** Análisis estructural mesa inferior trasera

En la figura 2.13 se puede visualizar una deformación máxima de 1.24 mm en el “eje y”, un factor de seguridad de 1.5 y como en los casos anteriores una deformación elástica máxima de 1.71 GPa que es inferior al rango permitido por el material seleccionado.



**Figura 2.13** Análisis estructural mesa superior trasera

### 2.2.5.5 Fabricación suspensión

Se realizó los cortes respectivos de los tubos con las medidas que se muestran en la tabla 2.13, la unión entre tubos es por medio de soldadura MIG, los tubos b y c de la figura 2.10 son unidos por

un perfil de 2in y 6mm de espesor formando un ángulo de 60° entre sí, en este punto se sujeta una rótula que está unida a la mangueta figura 2.14.



**Figura 2.14** Punto de unión con la mangueta

Las mesas delanteras superiores cuentan con un sistema de regulación de camber, el mismo que puede variar según las condiciones de la pista, ya sea positivo, negativo o neutro. Para ello se utiliza un eje roscado que se suelda a los tubos b y c que se muestran en la figura 2.10, una rótula de perno se une al eje roscado y es la encargada de cambiar el camber en la suspensión, tal cual se puede apreciar en la figura 2.15, además de esto se colocó una lámina de acero soldada en la unión b y c con una longitud de 9 cm, que cumple la función de reforzar la zona que se somete a más esfuerzo.



**Figura 2.15** Sistema de regulación de camber

En los puntos de unión se colocó un buje de 40mm respectivamente, los mismos que se acoplaran a dos bases de perfil en “U” de 31.75mm y 4mm de espesor que están soldadas al bastidor figura

2.16, para la unión de la mesa con el bastidor se utiliza pernos de acero de  $\frac{5}{8}$  in con tuercas de seguridad, tanto en las mesas superiores como en las mesas inferiores.



**Figura 2.16** Punto de unión mesa – bastidor

El monoshock está unido a la mesa inferior y al bastidor mediante un perno de acero de 15mm, acoplado a una base de perfil en “U” en cada extremo.



**Figura 2.17** Instalación de monoshock

## 2.2.6 Construcción dirección

### 2.2.6.1 Simulación dirección

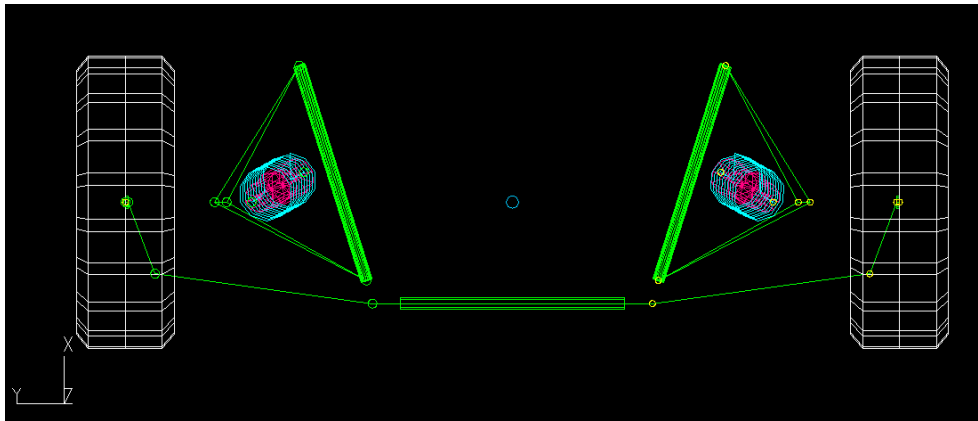
La normativa SAE no especifica algún tipo de dirección o disposición en específico a usar, solo recomienda los siguientes aspectos:

- Que el espacio usado para el sistema sea el adecuado y óptimo para su función y confort.
- Eficiencia de la geometría.
- Todos los elementos que intervengan en la suspensión tendrán que asegurar una eficiencia estructural.

- La configuración de este sistema tendrá que mantener la armonía y acoplarse al sistema de suspensión.

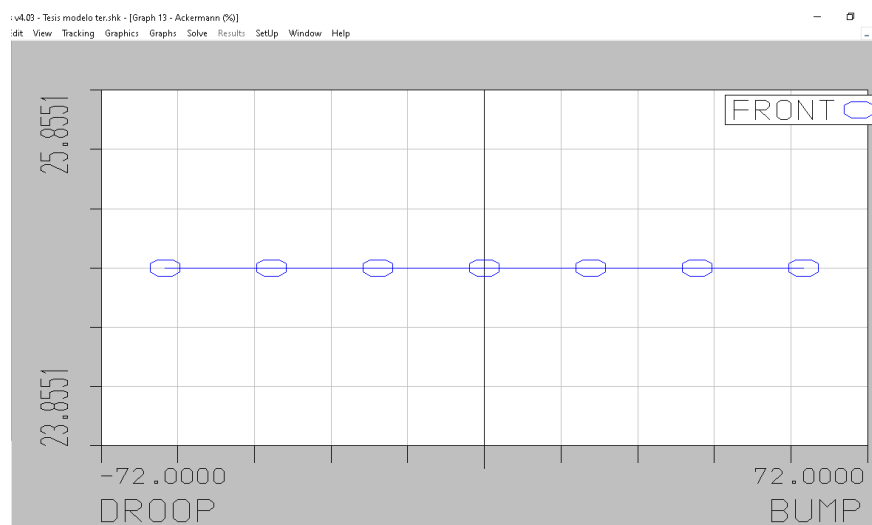
Con los antecedentes mencionados, la geometría adecuada para el sistema de dirección ha sido la geometría de Ackermann, básicamente este tipo de dirección permitirá que la rueda interior a la curva tenga un mayor ángulo y velocidad en comparación con la rueda que está en la parte exterior a la curva.

Con la ayuda de las coordenadas que se pueden obtener en la simulación que se hizo previamente en SolidWorks, se procedió al análisis de Ackermann con la ayuda del programa “Lotus Suspension Analysis” como se observa en la figura 2.18.



**Figura 2.18** Simulación dirección en “Lotus Suspension Analysis”

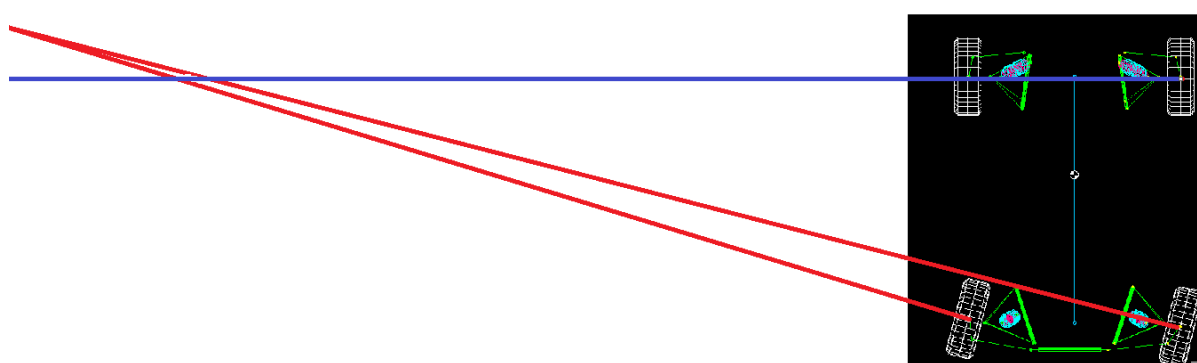
De esta manera el software muestra el siguiente diagrama.



**Figura 2.19** Diagrama de Ackermann



El software ha calculado un valor de 24.85% de Ackermann, de acuerdo con los valores que se han insertado en referencia a valores reales del monoplaza. Este valor al ser menor que 100% nos indica un Ackermann positivo, lo que quiere decir que el corte de las prolongaciones de los neumáticos delanteros (líneas rojas), se dará más específicamente por detrás de la línea del eje posterior (línea azul), como se muestra en la figura 2.20.



**Figura 2.20** Prolongaciones geometría de Ackermann

### 2.2.6.2 Instalación de dirección

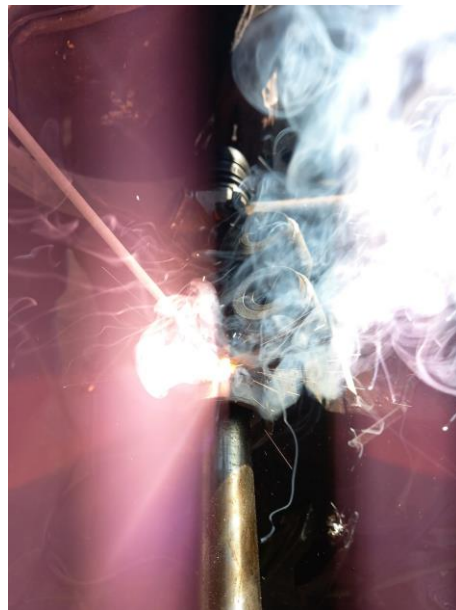
La cremallera de la camioneta Chevrolet D-Max tiene una longitud de 1.20m y por cuestiones de espacio fue reducida a la longitud de 70cm. Después de obtener la medida necesaria tomando en cuenta los agujeros donde acoplan los terminales en la mangueta, se corta la carcasa y el eje interior del lado opuesto al de la cremallera y tornillo sinfín.



**Figura 2.21** Corte de carcasa y eje de la cremallera



Con la ayuda de una soldadora SMAW Inverter para aluminio se une la punta de la carcasa sobrante con la carcasa seccionada. Terminado este proceso se colocó los retenes y guarda polvos.



**Figura 2.22** Proceso de soldadura de carcasa

Debido a que la cremallera está sometida a grandes fuerzas transmitidas por el conductor y la oscilación de la suspensión, se colocó un perfil de ángulo de 5.08cm y 4mm de espesor en la base de la cremallera, unida por pernos de acero de 15.87mm, el mismo que esta soldado al bastidor. La cremallera tiene un eje dentado que es acoplado a una columna de dirección que tiene la función de transmitir el movimiento de rotación del volante.



**Figura 2.23** Instalación de la cremallera en el bastidor

### 2.2.7 Instalación sistema de frenos

Como se detalla en la tabla 2.8 para el sistema de frenos se utilizó en su mayoría elementos de motocicleta, que quizá no sea el óptimo por el peso o eficiencia misma del sistema, pero debido a que este trabajo de grado no se enfoca en este sistema se ha optado por usar estos componentes, el disco de freno cuenta con una base mecanizada en torno, la cual acopla con los ejes de transmisión respectivamente. Se utilizó dos discos de freno, uno en cada eje de transmisión.



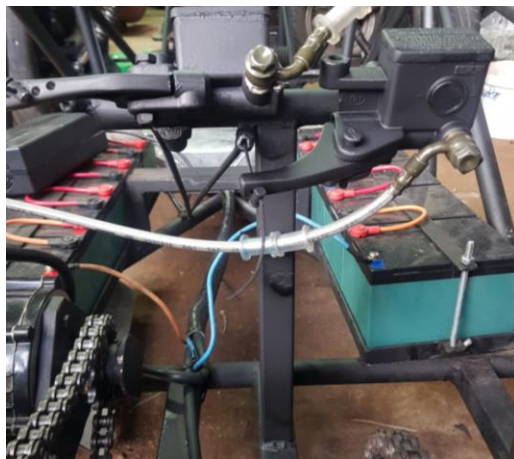
**Figura 2.24** Base y disco de freno

Una base soldada a los pernos que sujetan a la chumacera es la encargada de sujetar el caliper de doble pistón mediante dos pernos de acero de 6mm, de igual forma se utilizó dos calipers de doble pistón para cada eje de transmisión.



**Figura 2.25** Caliper de doble pistón

Se optó por usar dos bombas de freno hidráulica que están unidas al bastidor mediante un tubo cuadrado de 2.54 cm y 3 mm de espesor, esta es accionada por el pedal de freno cuando el conductor lo requiera, un cable de acero es el encargado de transmitir el movimiento, desde el pedal hasta las bombas de freno hidráulicas, situadas en la parte posterior del asiento del conductor.



**Figura 2.26** Bombas de freno hidráulicas

## 2.2.8 Selección de motores

Para poder seleccionar los motores adecuados para el vehículo monoplaza eléctrico fue necesario realizar los siguientes cálculos:

### 2.2.8.1 Radio del neumático

**Tabla 2.14** Cálculo radio del neumático

| <b>165/50 R13</b>   |       |
|---|-------|
| Perfil = ancho del neumático x perfil                                     | [2.5] |
| Diámetro del neumático = $(2 \times \text{perfil}) + \text{Diámetro aro}$ | [2.6] |
| Radio del neumático = $\frac{\text{Diámetro del neumático}}{2}$           | [2.7] |
| Desarrollo:   |       |
| Perfil = $165 \times 0.50$<br>= 82.5 mm.                                  |       |

**Tabla 2.14** Cálculo radio del neumático (Continuación...)

|  |
|--|
| <p>Diámetro del neumático = (2 x 82.5) + (13 x 25.4)</p> <p>= 495.2 mm.</p> <p>Radio del neumático = 247.6 mm = 0.2476 m</p> |
|--|

**2.2.8.2 Relación de transmisión****Tabla 2.15** Cálculo de relación de transmisión

|   |       |
|---|-------|
| $Rt = \frac{Z2}{Z1}$  | [2.8] |
| <p>Donde:</p> <p>Z2= Número de dientes catalina (37).</p> <p>Z1= Número de dientes piñón salida motor eléctrico (13).</p> |       |
| <p>Desarrollo</p> $Rt = \frac{37}{13}$ $Rt = 2.84$  |       |

**2.2.8.3 Selección de motores**

Para la selección de los motores lo más sencillo fue empezar por un análisis de cuerpo libre en donde se encuentra la fuerza necesaria por los motores para poder partir del reposo y luego para alcanzar la velocidad deseada de 50km/h.

**Tabla 2.16** Cálculo para la selección de motores

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| $P = m * g$                       | [2.9]  |
| $Fr = \mu * N$                    | [2.10] |
| $Pot = F * V$                     | [2.11] |
| $Pot\ requerida = \frac{Pot}{Rt}$ | [2.12] |

**Tabla 2.16** Cálculo para la selección de motores (**Continuación...**)

En donde:

P= peso

m= masa total del monoplaza (233kg)

g= gravedad ( $9.8 \text{ m/s}^2$ )

Fr= Fuerza de rozamiento.

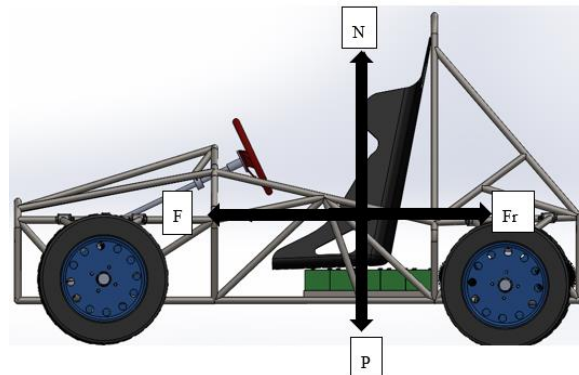
$\mu$ = coeficiente de fricción (0.35)

N= Normal.

Pot= Potencia.

F=Fuerza necesaria para partir del reposo.

V= Velocidad (13.88 m/s)



Desarrollo:

Sumatoria de fuerzas en X:

$$P = N \quad (a)$$

[2.9] en (a)

$$m * g = N$$

$$N = 233 * 9.8$$

$$N = 2283.4 \text{ Newtons (N)}$$

Sumatoria de fuerzas en Y:

$$Fr = F \quad (b)$$

[2.10] en (b)

$$\mu * N = F$$

$$F = 0.35 * 2283.4$$

$$F = 799.19 \text{ N}$$

**Tabla 2.16** Cálculo para la selección de motores (**Continuación...**)

|   |        |
|---|--------|
| $Pot = F * V$ $Pot = 799.19 * 13.88$ $Pot = 11099.86 W$   |        |
| <p>En este valor de potencia aún no se toma en cuenta la relación de transmisión ni el número de motores, entonces:</p>   |        |
| $Pot\ requerida = \frac{Pot}{Rt}$ $Pot\ requerida = \frac{11099.86}{2.84}$ $Pot\ requerida = 3899.95 W$   |        |
| <p>Como en este caso del monoplaza se ubicó dos motores eléctricos, esta potencia requerida debe ser dividida para dos, de esta manera:</p>   |        |
| $Pot\ requerida = 1949.97W$   |        |
| <p>O lo que es igual a <math>Pot\ requerida = 2.65 HP</math></p>  |        |
| <p>De esta manera los motores con las especificaciones de la tabla 2.1 cumplen con el requisito de potencia necesaria.</p>  |        |
| <p>Otro punto para considerar antes de seleccionar el motor es, que, si las revoluciones del eje del motor en conjunto con la relación de transmisión son capaces de alcanzar la velocidad deseada de 50km/h, de esta manera:</p> |        |
| $Giro\ eje\ de\ tracción = \frac{Giro\ eje\ de\ motor\ máximo}{Rt}$   | [2.13] |
| $Velocidad\ en\ la\ rueda = Giro\ eje\ de\ tracción * re * \pi$   | [2.14] |
| <p>Giro eje de motor máximo como muestra en la Tabla 2.1 rpm max = 3200, los demás valores ya han sido calculados previamente.</p>  |        |
| $Giro\ eje\ de\ tracción = \frac{3200\ rpm}{2.84}$ $Giro\ eje\ de\ tracción = 1134.32\ rpm$   |        |
| $Velocidad\ en\ la\ rueda = 1134.32\ rpm * 0.2401mm * \pi$ $Velocidad\ en\ la\ rueda = 874565.054\ mm/min$  |        |
| <p>Lo que es igual a: <math>Velocidad\ en\ la\ rueda = 52.47\ km/h</math></p>   |        |
| <p>De esta manera se puede ahora si afirmar que el motor Brushless de 60V, 2000W y con 3200 rpm cumple con las necesidades planteadas.</p>  |        |

### 2.2.9 Selección de baterías

Una vez seleccionados los motores fue necesario elegir una o varias baterías que sean capaces de por una parte satisfacer el voltaje de alimentación que es de 60V que necesita cada motor, por otra parte, también es necesario cumplir con lo que dice Fórmula SAE respecto a la autonomía de los prototipos, el vehículo debe ser capaz de dar 22 vueltas en una pista de 1 km, es decir la autonomía debe ser mayor a 22 km.

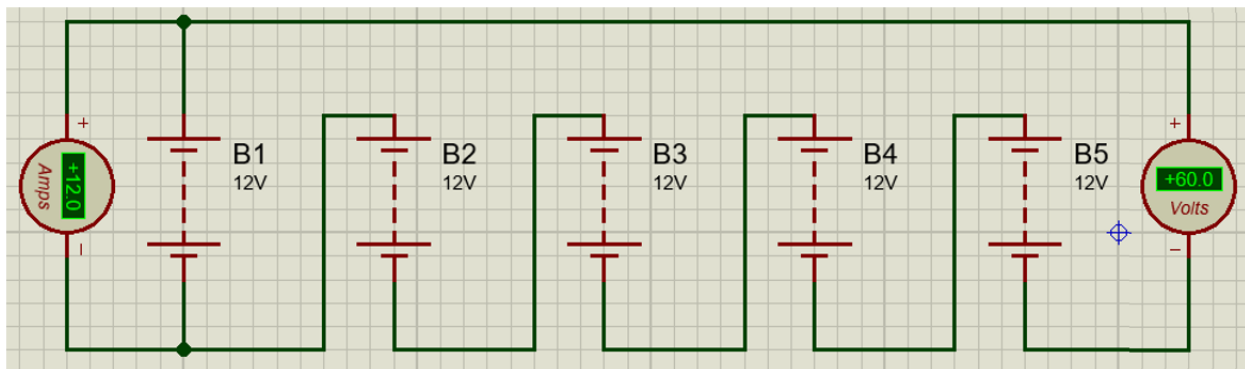
De esta manera:

**Tabla 2.17** Cálculo para la selección de batería

|   |        |
|---|--------|
| $t = \frac{d}{V}$   | [2.15] |
| $\text{Consumo (Amperios)} = \frac{\text{Pot motor}}{V \text{ motor}}$  | [2.16] |
| $\text{Bat necesaria} = \text{Consumo} * \% \text{ media de potencia} * t * 1.3$  | [2.17] |
| <p>Donde:</p> <p>t= tiempo</p> <p>d= distancia (22 km)</p> <p>V= velocidad, en este caso no se usó la velocidad máxima sino una velocidad promedio de (40km/h)</p> <p>% media de potencia= se recomienda el uso del 75%</p>   |        |
| <p>Desarrollo:</p> $t = \frac{22}{40}$ $t = 0.55 \text{ h} = 33 \text{ mins}$ $\text{Consumo (Amperios)} = \frac{2000W}{60V}$ $\text{Consumo} = 33.33 \text{ A}$ $\text{Bat necesaria} = 33.33 \text{ A} * 0.75 * 0.55 \text{ h} * 1.3$ $\text{Bat necesaria} = 17.87 \text{ Ah}$ |        |

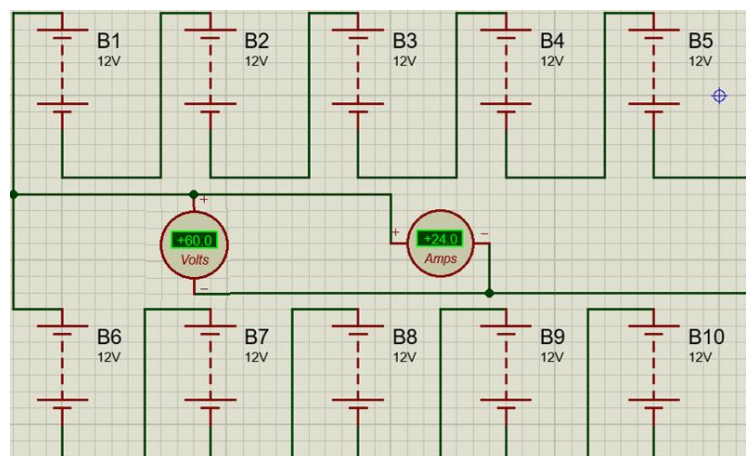
Es decir que es necesario una o más baterías que mediante la conexión necesaria se logre un amperaje mínimo de 17.87 Ah y alcanzar 60V, de este modo se ha seleccionado las baterías que se muestran en la Tabla 2.2.

Según las especificaciones de la batería mostrada y para alcanzar las necesidades del monoplaza es necesario el uso de 10 baterías de este tipo, la conexión entre las mismas en una primera fase se las realiza en serie en dos grupos de 5 baterías, para posteriormente hacer una conexión en paralelo obteniendo 60V y 24A necesarios para todo el sistema eléctrico.



**Figura 2.27** Conexión de baterías en serie

Usando la conexión en serie entre las baterías como se muestra en la Figura 2.27 se consigue 60V y 12 A.



**Figura 2.28** Conexión serie paralelo

Como se muestra en la Figura 2.28 la conexión serie paralelo de las 10 baterías de plomo entrega 60 V y 24 A, por lo que este tipo de conexión es la más adecuada para satisfacer las necesidades del prototipo.



### 2.2.9.1 Autonomía real de las baterías seleccionadas.

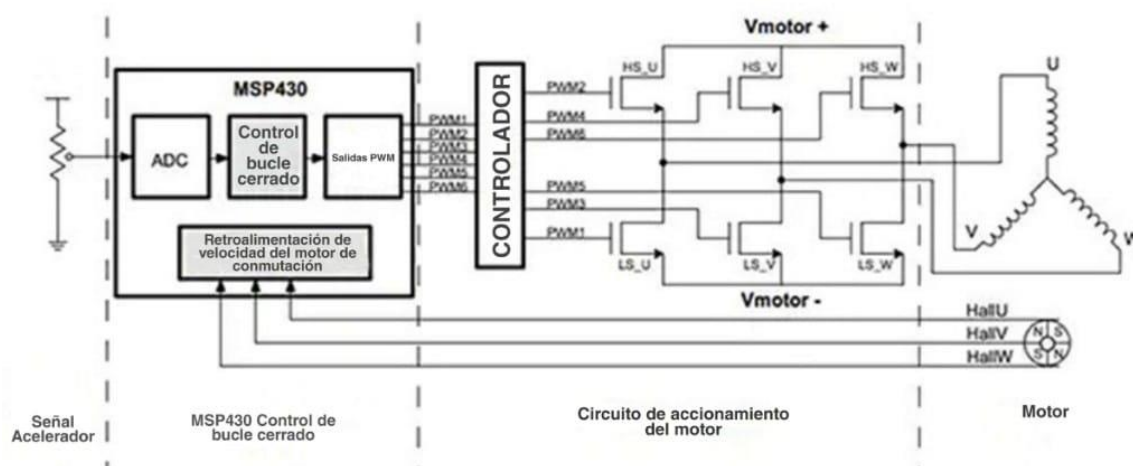
**Tabla 2.18** Cálculo autonomía real de baterías

|   |        |
|---|--------|
| $Wb = lb * Vb$  | [2.18] |
| $Wc = lc * Vb$  | [2.19] |
| $Autonomía = \frac{Wb}{Wc}$   | [2.20] |
| <p>Donde:</p> <p>Wb= Potencia de la batería</p> <p>Wc= Potencia consumida</p> <p>lb= corriente de la batería (12 A)</p> <p>lc= corriente consumida (33.33 A)</p> <p>Vb= voltaje batería (60 V)</p>  |        |
| <p>Desarrollo:</p> $Wb = 24 Ah * 60 V$ $Wb = 1440 Wh$<br>$Wc = 33.33A * 60V$ $Wc = 2000 W$<br>$Autonomía = \frac{1440 Wh}{2000 W}$ $Autonomía = 0.72 h = 43.2 mins$<br><p>Ahora transformando esto a distancia:</p> $d = V * t$ $d = 40km/h * 0.72h$ $d = 28.8 km$<br><p>Es decir que se tiene una autonomía de 28.8 kilómetros</p> |        |

### 2.2.10 Módulo de control

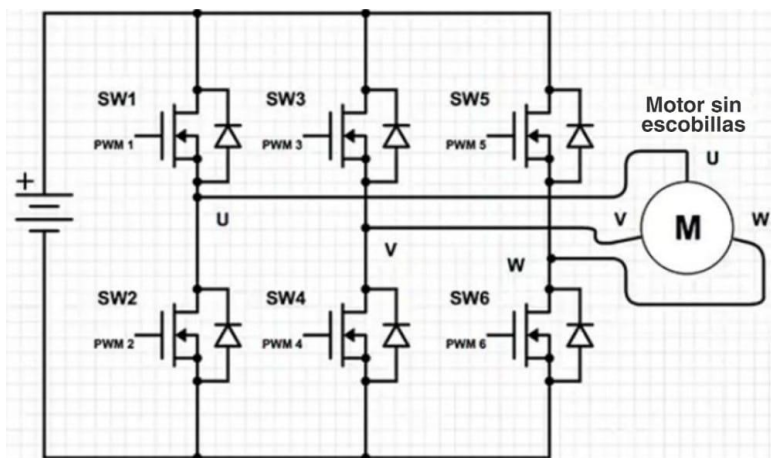
En esta parte cumpliendo con el objetivo específico número cuatro, se desarrolló un solo módulo capaz de controlar a los dos motores eléctricos existentes, de esta manera se parte desde el uso de dos controladores existentes dentro del mercado, tratando de unificar a los dos en uno solo, de manera que las señales eléctricas que lleguen a los motores sean las mismas en todo momento, así mismo que este controlador sea capaz de manejar el encendido y carga de las baterías.

De esta manera se optó por usar controladores de modo dual y de acuerdo con los motores trifásicos, de tipo sin escobillas, tiene por características que se alimentan con 60 V y 2 000 W.



**Figura 2.29** Diagrama de conexión módulo de control

(Flores, 2018)



**Figura 2.30** Diagrama de conmutación controlador-motor

(Flores, 2018)

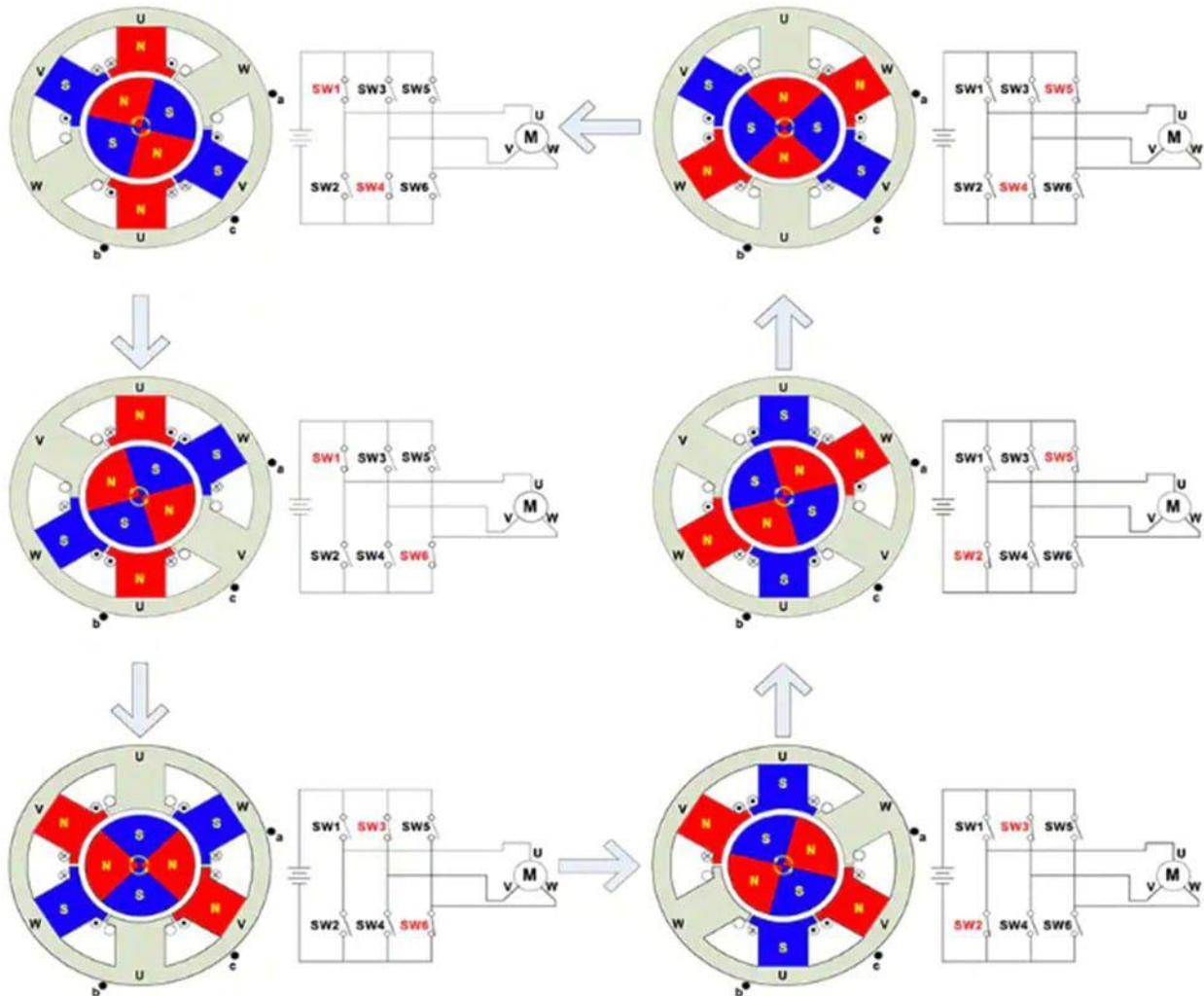
El funcionamiento del controlador para un motor sin escobillas se basa en un circuito que ha sido simplificado en la figura 2.30, el cual explica una secuencia de conmutación entre los sensores tipo Hall, los transistores y sus respectivas bobinas.

Gracias a los sensores de efecto Hall se conoce la posición del eje rotor con respecto al estator, dicho sensor está conectado a dos interruptores, uno con señal lógica alta y otro con señal lógica baja (Mejía, 2018).

La secuencia de conmutación de un motor sin escobillas puede ser en sentido horario o antihorario dependiendo de la polaridad de sus campos magnéticos, los sensores de efecto Hall (a, b, c) que se muestran en la figura 2.31, los mismos pueden estar distribuidos en el estator ya sea a 60 o 120 grados de diferencia. Dos de las bobinas del motor (u, v, w) permanecen activas y la tercera inactiva ya sea con una señal alta o baja, por ejemplo:

En la esquina superior izquierda de la Figura 2.31, el interruptor de altas (SW1) activa la bobina “U” con polo “N” (positivo), mientras el interruptor de baja (SW4) activa a la bobina “V” con polo “S” (negativo) cerrando así el circuito, la bobina “W” permanece inactiva en esta etapa, dando como resultado un campo magnético que en este caso movería al rotor con un giro antihorario, los imanes permanentes se alejan mientras son atraídos por los siguientes.

En la siguiente etapa la bobina “U” sigue activada en alta, la bobina “V” es desactivada y la bobina “W” se activa debido a que el transistor (SW6) se activa cerrando el circuito, manteniendo así la dirección del campo magnético y con ello la dirección de giro del rotor, este proceso continúa hasta formar una vuelta mecánica del rotor.



**Figura 2.31** Secuencia de conmutación controlador-motor

(Flores, 2018)

### 2.2.11 Instalación sistema de propulsión eléctrica en el monoplaza

Las baterías han sido colocadas debajo del asiento del conductor en dos hileras verticales de 5, esta decisión se tomó para mejorar la distribución de masas y facilitar la conexión entre las mismas, la única condición fue verificar que estas no interfieran en el confort y seguridad del conductor, de esta manera se hizo dos bases con ángulo de 1 pulgada para cada hilera de baterías como se observa en la figura 2.32.



**Figura 2.32** Ubicación baterías y motores eléctricos

Así mismo como se observa en la figura 2.32 los motores eléctricos han sido colocados de manera independiente para cada eje y en paralelo, de manera que tengan el mismo sentido de giro y espacio para una buena refrigeración del aire al estar separados. Están sujetos al bastidor por medio de una base y pernos de sujeción.

Para el módulo de control se fabricó una base con lamina de acero y que se unió al bastidor mediante pernos, en la misma base está colocado el pin de carga para las baterías, de este modo se colocó a este conjunto en un lugar asequible.

Para la instalación eléctrica se usó dos borneras y dos conectores tipo sockets, en la tabla 2.19 se describe los respectivos pines de conexión, su función y colores.

**Tabla 2.19** Conexión de terminales

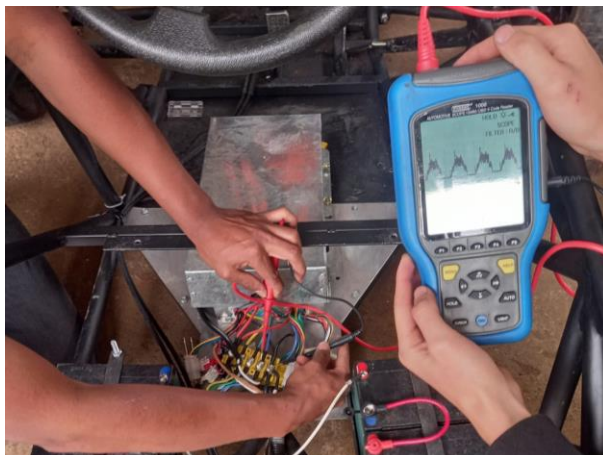
| Conector  | Función      | Output y colores   |
|-----------|--------------|--|
| Bornera 1 |              |  |
| Pin 1     | Positivo 60V | Positivo paquete de 1 baterías. Cable color naranja<br>Positivo paquete de 2 baterías. Cable color blanco<br>Cargador. Cable color negro<br>Pantalla electrónica. Cable color rojo |
| Pin 2     | Negativo     | Negativo paquete 1 baterías. Cable color azul<br>Negativo paquete 2 baterías. Cable color negro<br>Cargador. Cable color negro   |

**Tabla 2.19** Conexión de terminales (**Continuación...**)

|  |                            |                      |
|--|----------------------------|----------------------|
| Pin 3  | Señal bobina motor 1 U     | Cable color verde    |
| Pin 4  | Señal bobina motor 1 V     | Cable color azul     |
| Pin 5  | Señal bobina motor 1 W     | Cable color amarillo |
| Bornera 2                                      |                            |                      |
| Pin 1  | Señal bobina motor 2 U     | Cable color verde    |
| Pin 2  | Señal bobina motor 2 V     | Cable color azul     |
| Pin 3  | Señal bobina motor 2 W     | Cable color amarillo |
| Socket 1 conexión motor-módulo de control      |                            |                      |
| Pin 1  | Sensor efecto Hall a       | Cable color verde    |
| Pin 2  | Sensor efecto Hall b       | Cable color azul     |
| Pin 3  | Sensor efecto Hall c       | Cable color amarillo |
| Pin 4  | Alimentación sensores      | Cable color rojo     |
| Pin 5  | Negativo                   | Cable color negro    |
| Socket 2 conexión acelerador-módulo de control |                            |                      |
| Pin 1  | Alimentación potenciómetro | Cable color rojo     |
| Pin 2  | Masa potenciómetro         | Cable color negro    |
| Pin 3  | Voltaje de salida o señal  | Cable color verde    |
| Pin 4  | Señal velocidad            | Cable color rojo     |

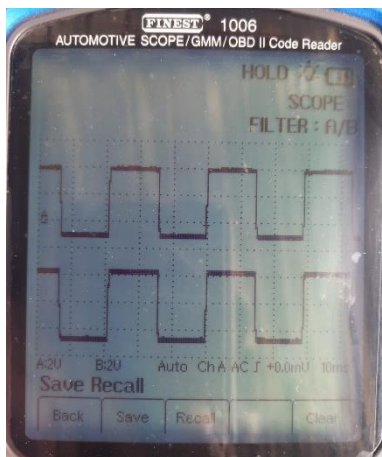
De esta manera se consiguió que el módulo de control administre los 60 V y los 24 A para los dos motores eléctricos, así mismo este módulo de control mediante una pantalla electrónica ubicada sobre la columna de dirección informara el nivel de carga del paquete de 10 baterías y la velocidad relativa del vehículo, es importante conocer que la velocidad que indique esta pantalla electrónica no es exacta ya que principio está diseñada para otra relación de transmisión y diferentes neumáticos.

### 2.2.12 Comprobación de funcionamiento mediante osciloscopio



**Figura 2.33** Obtención señales bobina

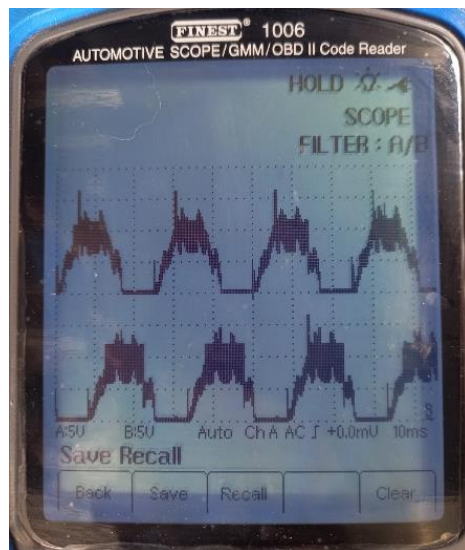
En la Figura 2.34 se muestra una gráfica con señal cuadrática que representa a los sensores tipo Hall, donde se compara dos de los tres sensores “C y A” que tiene el motor Brushless, para ellos se utilizó un osciloscopio de dos canales, en canal 1 se conectó al pin 3 y pin 4, el otro canal se conectó al pin 1 y pin 4 del socket 1, como se había aclarado anteriormente estos sensores sirven para indicar la posición del rotor con respecto al estator y así dar movimiento al activar las bobinas. La señal siempre será igual una con otra, ya que los sensores tipo Hall están colocados a 120 grados entre sí, de esta manera los tres sensores son equidistantes.



**Figura 2.34** Señal sensores tipo Hall

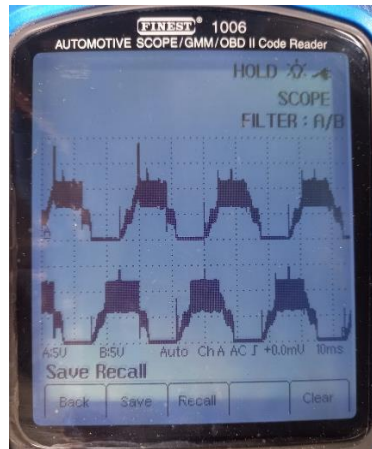
**Tabla 2.20** Duty cycle

|   |        |
|---|--------|
| $Dc = \frac{\text{tiempo de activación}}{\text{tiempo total de ciclo}}$   | [2.21] |
| <p>Donde:</p> <p>Dc = Duty cycle</p> <p>Tiempo de activación (300rpm rueda) = 16ms</p> <p>Tiempo total de ciclo (300rpm rueda) = 30ms</p> $\frac{16ms}{30ms} = 0.53$ $0.53 \times 100 = 53\%$ |        |

**Figura 2.35** Señal bobinas W y U

En la figura 2.35 se observa el funcionamiento de activación de las bobinas “W y U” canales A y B respectivamente, en canal A se conectó al pin 1 y pin 5, el otro canal se conectó al pin 1 y pin 3 de la bornera 1, en este caso el pico más alto muestra un voltaje aproximado de 16 V, existe una diferencia en el tiempo de activación de cada bobina, en este caso un desfase de 8ms, a aproximadamente 300 rpm en la rueda, debido a la posición de los sensores “W y U”. Lo mismo ocurre en la figura 2.36 con las bobinas “W y V”, en la que el desfase es de 15ms. La gráfica presenta algunas imperfecciones debido a los ruidos provocados por factores externos.





**Figura 2.36** Señal bobinas W y V

### 2.2.13 Pintura y acabados

Una vez finalizado y comprobado el funcionamiento de los diferentes sistemas complementarios del monoplaza, se inició la etapa de desmontaje de elementos para posteriormente limpiarlos de impurezas, residuos de soldadura y óxido con la ayuda de herramientas como pulidora, cepillo de acero, removedor de óxido y lijas. Se desmontó el sistema de suspensión delantera y posterior, sistema de transmisión, sistemas de dirección, asiento y frenos.

La pintura y acabado superficial del monoplaza fue de primera calidad, ya que además de la apariencia, la pintura ofrece una protección del material contra posibles oxidaciones y corrosión del acero, para ello se aplicó una capa de fondo premium de relleno catalizado para la pintura final.



**Figura 2.37** Monoplaza después de haber usado fondo

Para la capa final se utilizó pintura catalizada negra mate, debido a su óptima calidad, acabados y sus propiedades como dureza, sellado y resistencia a la corrosión del material. Una vez finalizado el proceso de pintura se procedió a realizar el montaje de los sistemas complementarios detallados anteriormente y los demás elementos que terminan conformando al monoplaza.



**Figura 2.38** Proceso final pintura

## CAPÍTULO III

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN





#### 3.1 Simulación y análisis en Optimum Lap

El Software Optimum Lap es una aplicación gratuita que permite la simulación y cálculo de la velocidad máxima, aceleración, torque y potencia de un vehículo, de esta manera es necesario ingresar los datos reales del monoplaza y condiciones que afectan sobre este, de esta manera como se muestra en la tabla 3.1, los datos a ingresar son los siguientes.

**Tabla 3.1** Valores del vehículo Fórmula SAE

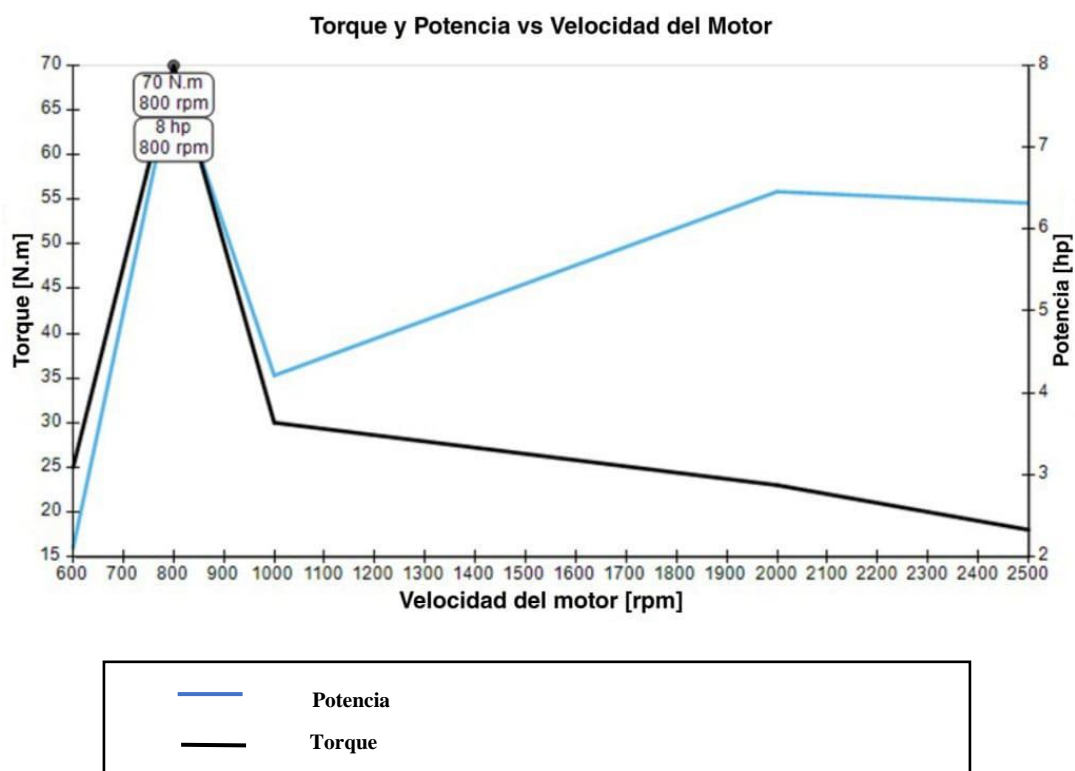
|                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| Masa total                         | 233 kg                  |
| Tipo de transmisión                | 2WD                     |
| Coefficiente de rozamiento         | 0.35                    |
| Coefficiente de carga aerodinámica | 0.28                    |
| Área frontal                       | 0.73 m <sup>2</sup>     |
| Densidad aire                      | 1.225 kg/m <sup>3</sup> |
| Radio del neumático                | 0.248 m                 |
| Resistencia a la rodadura          | 0.030                   |
| Relación de transmisión            | 2.84                    |
| Tipo de energía utilizada          | Plomo-ácido             |
| Potencia nominal                   | 4 kW                    |

#### Performance Metrics

| Metric  | Value                 |
|---|-----------------------|
|  Top Speed                           | 50.19 km/h            |
|  Time for 0 to 100 km/h              | 0 s                   |
|  Time for 100 to 0 km/h              | 0 s                   |
|  Lateral Acceleration - Skidpad 50 m | 3.89 m/s <sup>2</sup> |

**Figura 3.1** Resultado simulación de velocidad y aceleración

Como se puede observar en la figura 3.1 se obtiene una velocidad máxima de 50.19 km/h, al comparar con los datos obtenidos en el anterior capítulo, velocidad en la rueda= 52.47 km/h y velocidad sugerida de 50km/h, el valor de velocidad máxima que ofrece el software Optimum Lap es el más cercano a la realidad ya que toma en su cálculo todos los factores que intervienen o afectan a la velocidad por ejemplo, densidad del aire, coeficiente de rozamiento, carga aerodinámica, relación de transmisión, torque del motor, entre otros, por esta razón se considera a este valor más cercano a la realidad, posteriormente se comparará con valores obtenidos en dinamómetro.



**Figura 3.2** Torque y potencia Optimum Lap

En la figura 3.2 se visualiza como en 800 rpm se consigue el punto más alto de torque entregado por los motores de 70Nm, por su parte, la potencia máxima es de 8 hp a iguales rpm.

### 3.2 Pruebas en dinamómetro



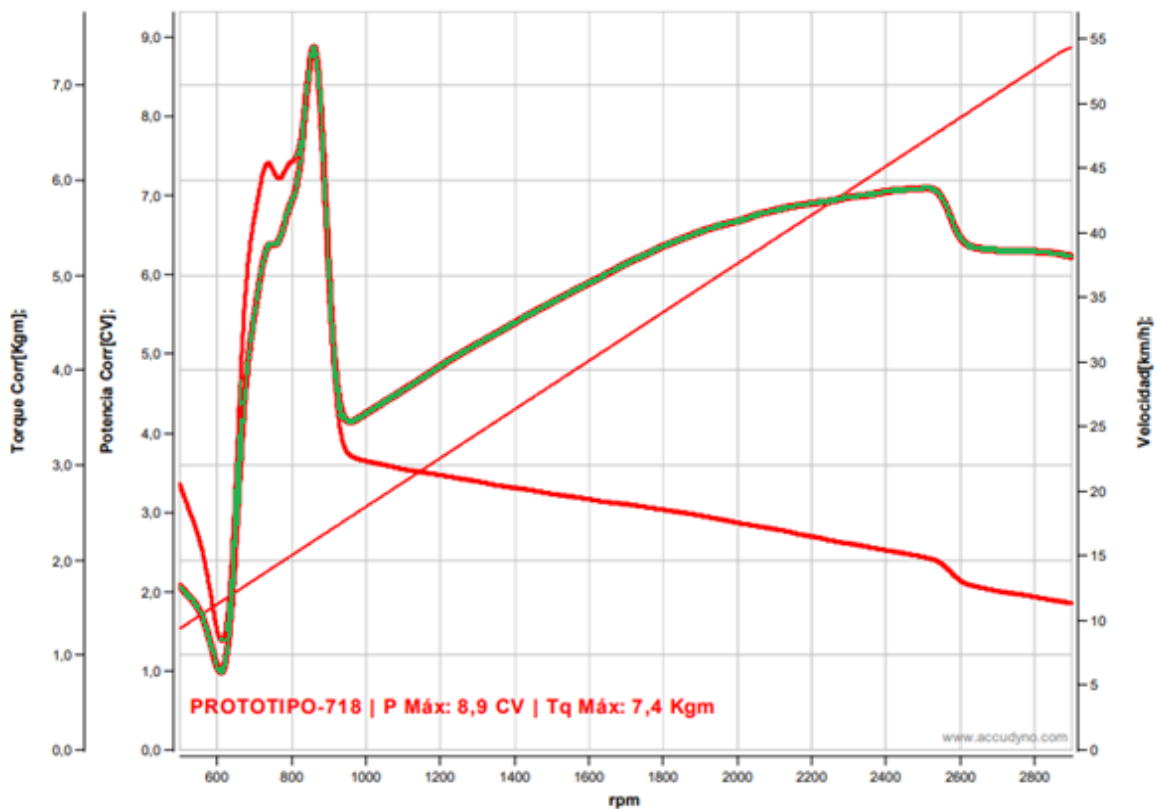
**Figura 3.3** Monoplaza en dinamómetro

El resultado después de hacer 5 pruebas de la misma clase, con el nivel de carga en las baterías en su capacidad máxima al inicio de las pruebas muestran los siguientes resultados:

**Tabla 3.2** Resultados prueba de dinamómetro

| # DE PRUEBA | POTENCIA |         | TORQUE  |          | VELOCIDAD |
|-------------|----------|---------|---------|----------|-----------|
|             | CV       | HP      | Kgm     | Nm       |           |
| 1           | 8.9 CV   | 8.77 HP | 7.4 Kgm | 72.56 Nm | 54.5 km/h |
| 2           | 8.5 CV   | 8.38 HP | 6.6 Kgm | 64.72 Nm | 52 km/h   |
| 3           | 7.0 CV   | 6.90 HP | 5.9 Kgm | 57.85 Nm | 54 km/h   |
| 4           | 6.8 CV   | 6.70 HP | 3.1 Kgm | 30.40 Nm | 52 km/h   |
| 5           | 6.2 CV   | 6.12 HP | 5.2 Kgm | 50.99 Nm | 50 km/h   |
| Resultado   | 7.4 CV   | 7.38 HP | 5.6 Kgm | 55.30 Nm | 52.5 km/h |

De esta manera el resultado promedio para la potencia es de 7.38 HP, 55.30 Nm y una velocidad de 52.5 km/h que una vez más está dentro del rango calculado y sugerido. La variación en los resultados en cada prueba se debe al consumo de intensidad de corriente que va teniendo el monoplaza a lo largo de la prueba, tomando en cuenta que se está sometiendo al vehículo a mostrar su máximo potencial y que la duración de cada prueba fluctúa en periodos de 2 minutos.

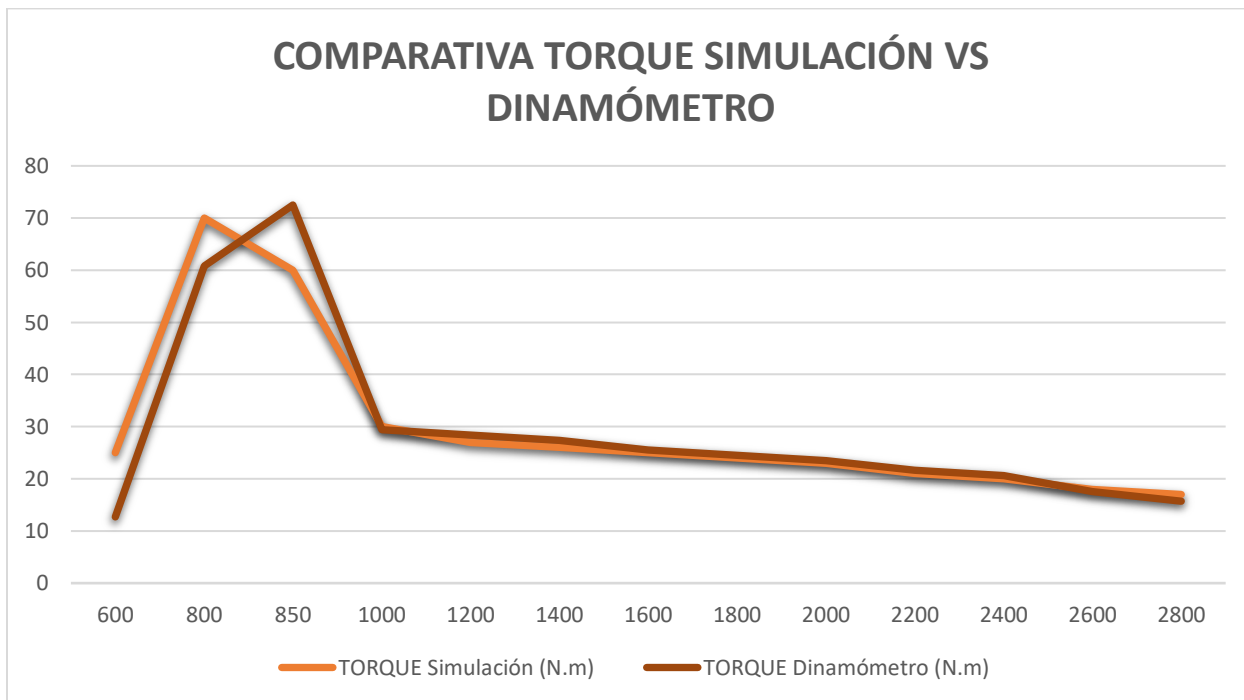
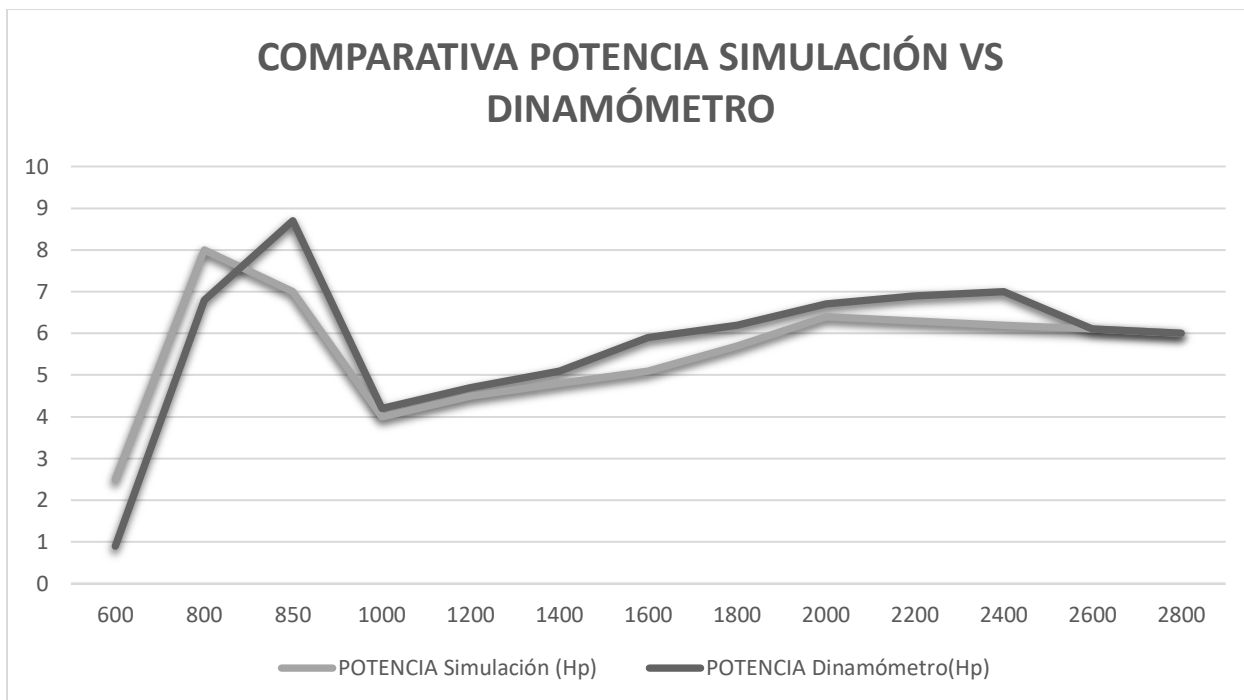


**Figura 3.4** Torque, potencia y velocidad con baterías en su capacidad máxima

Como se muestra en la figura 3.4 el torque (línea roja gruesa) y potencia (línea verde) máximos alcanzados por el monoplaza con las baterías totalmente cargadas es de 8.9 CV y 7.4 Kg, en aproximadamente 850 rpm, con una velocidad máxima (línea roja delgada) de 54.5 km/h, estos valores mas altos fueron alcanzados en la primera prueba.

### 3.3 Comparativa simulación y prueba dinamométrica

En la figura 3.5 se observa de una manera semejante los resultados de la simulación y los resultados reales arrojados por el dinamómetro, los valores fueron insertados mediante las tablas que se muestran en los anexos, dichos valores fueron entregados por el software y por el dinamómetro.



**Figura 3.5** Comparativa torque y potencia simulación vs dinamómetro

En la primera grafica se analiza la potencia entre la simulación y el resultado del dinamómetro, el resultado de este análisis demuestra que, si bien no son iguales en todo momento, la simulación no se encuentra tan lejana a la realidad, en el caso del torque las gráficas son muy similares a partir



de 1000 rpm y antes de este punto no son tan diferentes. La diferencia más notoria en ambas graficas de encuentra en los picos máximos de potencia y torque, por una parte, en la simulación el pico se encuentra en 800 rpm, en el caso del dinamómetro el pico más alto está en 850 rpm.

### 3.4 Simulación pruebas fórmula SAE

Se hizo el trasado de las pistas que se muestran en los eventos dinámicos de fórmula SAE que se expusieron anteriormente, en este sentido se plantea un simulacro ante estas pruebas para analizar el rendimiento del monoplaza.



**Figura 3.6** Prueba de maniobrabilidad

En la prueba de maniobrabilidad se analiza el comportamiento en una pista en forma de 8, teniendo que dar 2 vueltas en un sentido y otras 2 vueltas en otro sentido, dando como resultado un promedio de 22.6 km/h con un tiempo de 36.72 segundos. La tabla completa con las 5 pruebas que se realizaron se encuentra en el Anexo VIII.

**Tabla 3.3** Resultado pruebas de maniobrabilidad

| 5 pruebas          | Velocidad máxima | Tiempo         |
|--------------------|------------------|----------------|
| Resultado promedio | 22.6 km/h        | 36.72 segundos |

En la segunda prueba realizada que se enfoca en la aceleración y velocidad máxima que se alcanza después de 75 m, se destaca un promedio de 33.2 km/h en 12.17 segundos. La tabla completa con las 5 pruebas que se realizaron se encuentra en el Anexo IX.



**Tabla 3.4** Resultado pruebas dinámicas

| 5 pruebas          | Velocidad máxima | Tiempo         |
|--------------------|------------------|----------------|
| Resultado promedio | 33.2 km/h        | 12.17 segundos |

**Figura 3.7** Prueba de aceleración

### 3.5 Hoja de revisión fórmula SAE

La lista de comprobaciones técnicas del vehículo consta de 4 fases:

FASE 1: el vehículo debe permanecer estático, los neumáticos sobre el suelo y el sistema eléctrico desactivado.

FASE 2: el vehículo debe estar embancado, sin neumáticos y con el sistema eléctrico desactivado.

FASE 3: el vehículo debe estar embancado, sin neumáticos y con el sistema eléctrico activado.

FASE 4: el vehículo debe permanecer estático, los neumáticos sobre el suelo, desmontado la carrocería y el sistema eléctrico desactivado.

Dicha lista facilitó la visualización y evaluación de los sistemas mecánicos y sistema eléctrico del vehículo, así como la verificación de implementos de protección y seguridad del piloto, el resultado de la hoja de revisión fue en todos sus puntos aprobada a excepción de aspectos de la carrocería, esta se encuentra en el Anexo XI.

## CAPÍTULO IV

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Una vez revisada la Normativa SAE 2021, se encontró un apartado especial para todos los prototipos con propulsión eléctrica, donde se destacan los siguientes requerimientos, peso máximo del monoplaza de 300 Kg, tensión máxima de los motores 60 V, potencia máxima de motores 6000 W, carrocería obligatoria, distancia mínima entre ejes 1.52 m. En el caso del prototipo presentado se cumplió con todos los requerimientos a excepción de la carrocería.
- Con el modelado del bastidor en 3D acorde a los lineamientos de la normativa Fórmula SAE 2021 y este sometido a pruebas de impacto 4G, se concluye que, en relación del límite máximo de elasticidad es de 2.50 GPa para el material seleccionado y el resultado de la simulación para impacto superior de 2.48 GPa, impacto frontal 1.4 GPa y el resultado a la torsión 1.6 GPa, los resultados están dentro del límite permisible, por lo que el diseño y elección del material es el adecuado.
- Teniendo en cuenta los requerimientos de normativa Fórmula SAE 2021, en el cual señala una autonomía mínima de 22 km y una velocidad promedio de 40 km/h, el resultado de los cálculos mostraron que es necesario el uso de 2 motores Brushless de tipo sin escobillas e imanes permanentes de 2000 W de potencia cada uno y 10 baterías de 12V y 12 A de plomo-ácido con conexión serie-paralelo, dando como resultado 60V y 24 A, de esta manera se cumple con las necesidades del prototipo y requerimientos de la Normativa SAE, consiguiendo así una velocidad máxima 52.47 km/h con autonomía de 28.8 km.
- Una vez evaluado el rendimiento del vehículo monoplaza los resultados son los siguientes, aceleración en 75m, una velocidad máxima promedio de 32.3 km/h en 12.17 s, los resultados promedio en la prueba de maniobrabilidad fueron de 22.6 km/h en 36.72 s, por último los resultados de torque y potencia, en la simulación en software y análisis de pruebas en dinamómetro se ha obtenido valores similares, velocidad máxima 54.5 km/h, torque máximo 72.56 Nm y potencia 8.77 HP estando las baterías en su capacidad máxima.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda tomar en consideración que la Normativa SAE se encuentra en constante actualización debido a avances tecnológicos y nuevas prestaciones de los materiales a usar, por lo que es importante leer la normativa antes de la construcción del monoplaza. Antes de construir el bastidor, es necesario diseñar en algún software en 3D de esta manera es posible hacer simulaciones y cambios necesarios antes de la construcción física, así mismo para los sistemas complementarios, es una manera muy útil de ahorrar tiempo, gastos innecesarios y procesos contraproducentes.
- Para mejorar el rendimiento del sistema de propulsión eléctrico se puede usar motores con las mismas capacidades, pero con refrigeración, por otra parte, usando baterías de litio se puede mejorar la autonomía y reducir peso del vehículo, se recomienda también no usar al monoplaza cuando el nivel de carga de baterías sea igual o inferior al 20% de carga total, esto ayudará a mantener la vida útil de las baterías y daños futuros en el sistema eléctrico y electrónico.
- Revisar que el módulo de control y el motor eléctrico cuenten con las mismas características de funcionamiento, específicamente de los ángulos de posición, esto facilitará la comunicación y sincronización entre ambos, otro factor a tomar en cuenta es la capacidad de trabajo.
- En el caso de plantearse llevar al monoplaza hasta competencias de Fórmula SAE, se recomienda hacer un análisis especial en los sistemas de frenos, suspensión y dirección para evaluar que los mismos sean los óptimos dentro de pista, considerando también que se puede reducir el peso con materiales más adecuados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, Y., Caldas, I., Rivera, A., & Tapia, E. (2017). Estudio de la influencia de la apertura de las ventanas y la velocidad de circulación en la aerodinámica de un vehículo de turismo. *Ingenius*.
- Aguirre, P., Hidalgo, D., Panamá, J., Padilla, J., & Veintimilla, D. (2014). *Diseño de un Vehículo Eléctrico prototipo monoplaza para una persona parapléjica y construcción de su chasis*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Alvarado, R., & Montalván, J. (2019). *Diseño de un chasis monoplaza tipo autocross según la normativa FIA*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana .
- Alvarez, V. R. (2018). *Diseño y construcción de un chasis tubular de un vehículo de competencia formula SAE eléctrico*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Ayala, D. (2018). *Diseño e implementación de un sistema de frenos para un vehículo tipo formula student*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Barbecho, B. I. (2017). *Diseño y construcción de un arco para la determinación del centro de gravedad y transferencia de pesos en vehículos livianos*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Becerra, Á., & Pachito, D. (2021). *Diseño y construcción del bastidor y sistema de suspensión de un vehículo según la normativa baja SAE*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Bermeo, L., Calle, J., & Carrión, R. (2014). *Diseño y construcción de un chasis tubular de un vehículo monoplaza para la competición en la fórmula SAE*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Borja, R. S. (2017). *Análisis estructural mediante el método de elementos finitos del chasis del vehículo de formula sae eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Cabrera, A., & Calle, C. (2016). *Selección del motor eléctrico, controlador y batería para el vehículo fórmula SAE de la Universidad Politécnica Salesiana*. CUENCA: Universidad Politécnica Salesiana.

- Calvo, A. (2018). *Diseño y análisis de un chasis para un prototipo de Formula SAE*. Comillas: Universidad Pontificia de Comillas.
- Carpio, D. (2018). *Diseño y construcción del sistema de frenos de un vehículo de competencia Formula SAE eléctrico*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Chuquiguanga, W., & Jiménez, B. (2018). *Análisis de la viabilidad para la implemetación de un vehículo eléctrico que presente el servicio de taxi en la ciudad de Cuenca*. Cuenca.
- Cock, L. (2015). *Diseño de una arquitectura de control para vehículos eléctricos omnidireccionales*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Cruz, M. Á. (2017). *El SCR y sus aplicaciones*. Lima: Universidad Nacional de Educación.
- Cueva, G. (2019). *Análisis de factibilidad de implementación de buses 100% eléctricos (E-Buses) para impulsar la movilidad sostenible en el sistema de transporte urbano del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Pontifica Universidad Católica del Ecuador.
- Díez, P. (2019). *Principios básicos del vehículo eléctrico*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Duque, D., & Rocano, J. (2018). *Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- ECO-DESIGN. (2011). *Subsistemas del vehículo eléctrico e implicaciones de la implantación. GREEN-CAR*.
- Faicán Vasquez, J. G. (2018). *Análisis estructural del comportamiento de un chasis semiremolque de dos pisos construido por la empresa "Carrocerias Faicán", para el transporte de pallets con botellas de agua*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Flores, P. (2018). *Driver basado en procesador arm 32 bits para un motor*. Madrid: Universidad de Madrid.
- Gladiator PRO. (2020). *Soldadora*. Obtenido de <https://herramientasgladiatorpro.com/producto/soldadora-inverter-mig-im-8200-220/>
- Global EV Outlook. (2016). *Beyond One Million Electric Cars*. Paris.
- González, R. (2018). *El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla*. Universidad Tecnológica de Panamá.

INTERNATIONAL SAE. (2020). RULES 2021. *Formula SAE, 1.0(1)*, 23.

IPAC. (2021). Obtenido de Tuberías Acero.

Lara, J. D. (2017). *Diseño y construcción del sistema eléctrico y electrónico de un vehículo monoplaza para la competencia fórmula SAE*. Quito: Universidad Técnica Equinoccial.

Llvisaca, C. (2018). *Diseño y construcción del sistema de dirección de un vehículo de competencia Formula SAE eléctrico*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

Logroño, J. (2017). *Cargador de baterías para vehículos*. Barcelona.

Malla, J., & Samaniego, F. (2017). *Desarrollar un protocolo de pruebas de funcionamiento para el vehículo Fórmula SAE Eléctrico 2017*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

Mejía, A. (2018). *Control de torque de un motor sin escobillas de corriente directa*. México D. F: Instituto Politécnico Nacional.

Miño, F. (2019). *Análisis de motores en vehículos eléctricos*. Quito: Universidad Internacional SEK.

Morales, I. (2018). *Análisis aerodinámico para determinar la eficiencia y condiciones de operación mediante dinámica computacional entre un aerogenerador tipo raptor G5 y un aerogenerador tipo mach 5 de bajas velocidades de viento*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas.

Morillo, F. (2018). *Diseño e implementación de un sistema de dirección para un vehículo tipo Formula SAE*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.

Núñez, F., & Arcos, A. (2019). Análisis comparativo a nivel internacional de la expansión del vehículo eléctrico. *Visión pública*, 61.

Ojeda, D. R., & Ortiz, L. F. (2017). *Diseño y construcción de un prototipo de batería recargable para una bicicleta eléctrica tipo trike mediante el uso de baterías recicladas de ión de litio 18650*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

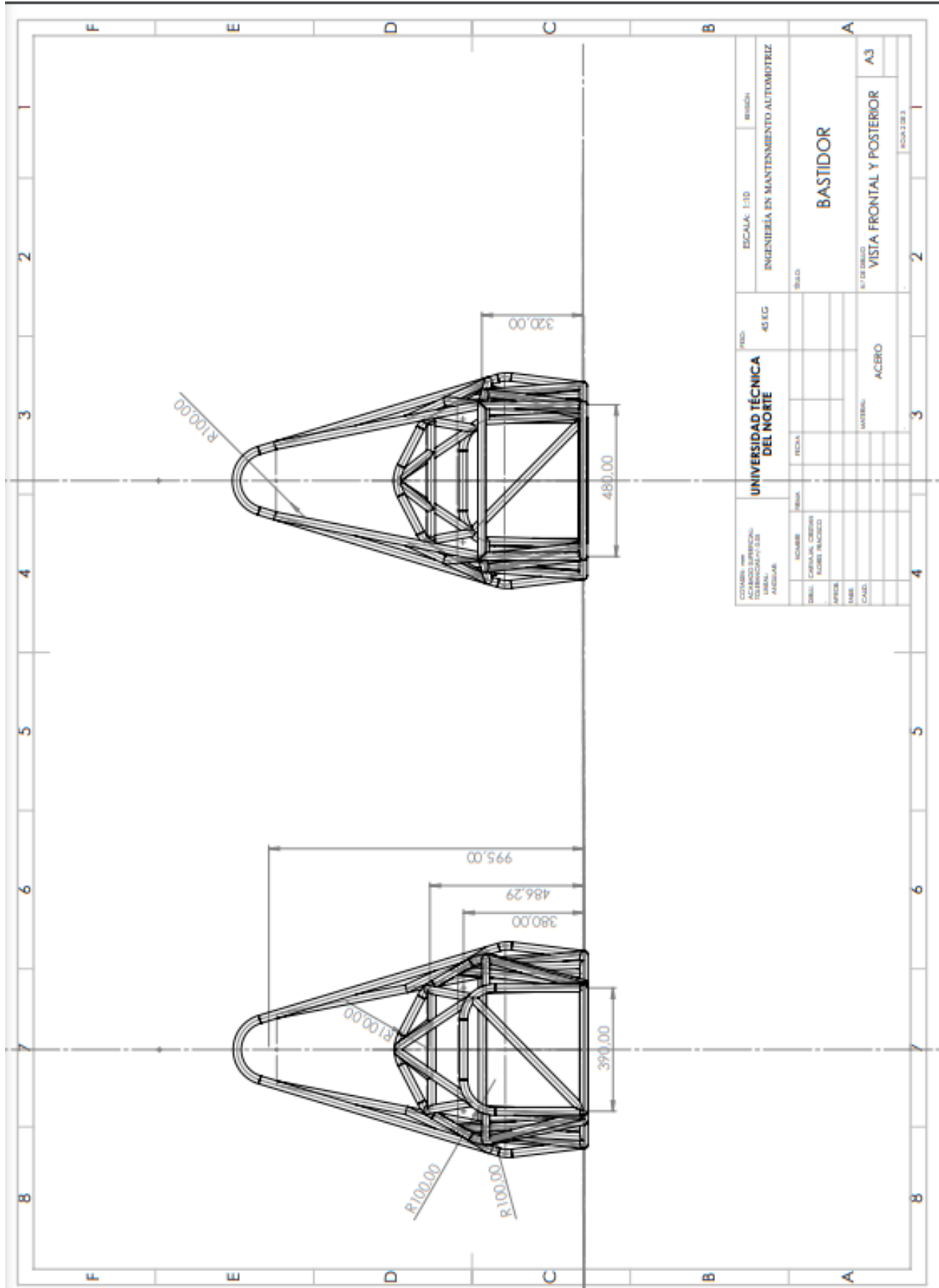
Orbea, L., Toapaxi, J., & Guano, C. (2017). *Análisis de incentivos y proyecciones del vehículo 100% eléctrico en el Ecuador*. Quito.

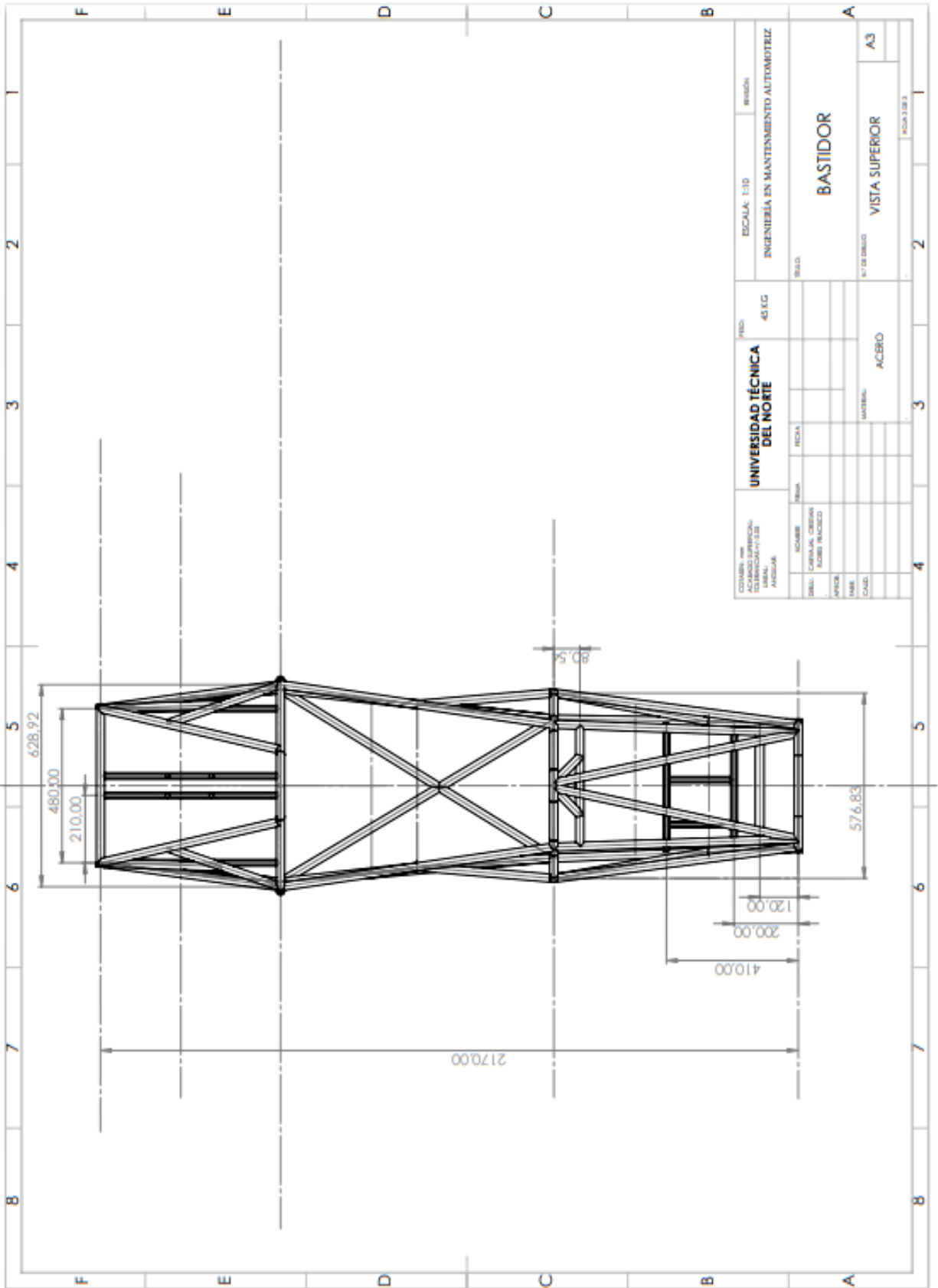
- Orozco, M. (9 de diciembre de 2020). Ecuador impulsará inversión privada en 80 buses y 370 taxis eléctricos con apoyo del BID. *El Comercio*.
- Ortín, J. (2016). *Sistema de seguridad eléctrico para el prototipo de monoplaça eléctrico FS-UPCT-15e del equipo UPCT Racing Team*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Osorio, J. G., & Ramírez, S. L. (2016). *Diagnóstico de un motor de imanes permanentes por medio del MEF*. Cali: Universidad del Valle.
- Palacios, J., & Sangopanta, L. (2018). *Rediseño de la suspensión delantera del vehículo prototipo para competencia en la formula SAE*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Pauta, J. F., & Miguel, S. (2014). *Diseño y construcción de la carrocería de un vehículo de competencia tipo Formula SAE*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Pilataxi, C. (2018). *Análisis e implementación del sistema de suspensión inteligente en el vehículo corsa sport 1.4*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Pons Estruch, A. (2016). *Vehículo de competición formula SAE: diseño y optimización del chasis*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Porras, S. (2018). *Estudio experimental de la aerodinámica de vehículos ligeros*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Quiroz, R. (2012). Vehículos eléctricos.
- Quito, E., & Ávila, A. (2017). Determinación del consumo de combustible de vehículos en base los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis. *Universidad del Azuay*.
- Redondo, M. R. (2017). *Diseño y simulación de un chasis tubular para un vehículo tipo fórmula*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Román, J. C. (2017). *Material Complementario de Motores de Reluctancia Variable*. Santa Clara: Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- Santana, V. (2016). *Análisis de la implantación del uso de vehículos eléctricos como aporte al cambio de la matriz productiva y su impacto en la no utilización de combustibles fósiles en el Ecuador*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

- SENPLADES. (2017). Plan Nacional del Buen vivir 2017-2021. Educational Research.
- SOLIDWORKS. (2020). *SOLIDBI*. Obtenido de <https://solid-bi.es/solidworks/>
- Spencer, D. (2019). *Diseño e implementación de freno regenerativo para motor de corriente continua sin escobillas con imanes permanentes para moto eléctrica*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Suarez, M. (2017). *Revisión bibliográfica y caracterización de motores para vehículos*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Torres, J. D. (2015). *Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de cuenca*. CUENCA: Universidad Politécnica Salesiana.
- Valle, D., & Campoverde, J. (2017). *Diseño y construcción del Chasis de un Vehículo Eléctrico Monoplaza de uso urbano*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Yattah, C. (2015). *Estudio y caracterización de aleaciones tipo AB<sub>2</sub>, en base Zirconio, como ánodos para baterías Ni-MH*. Montevideo: Universidad de la República Uruguay.



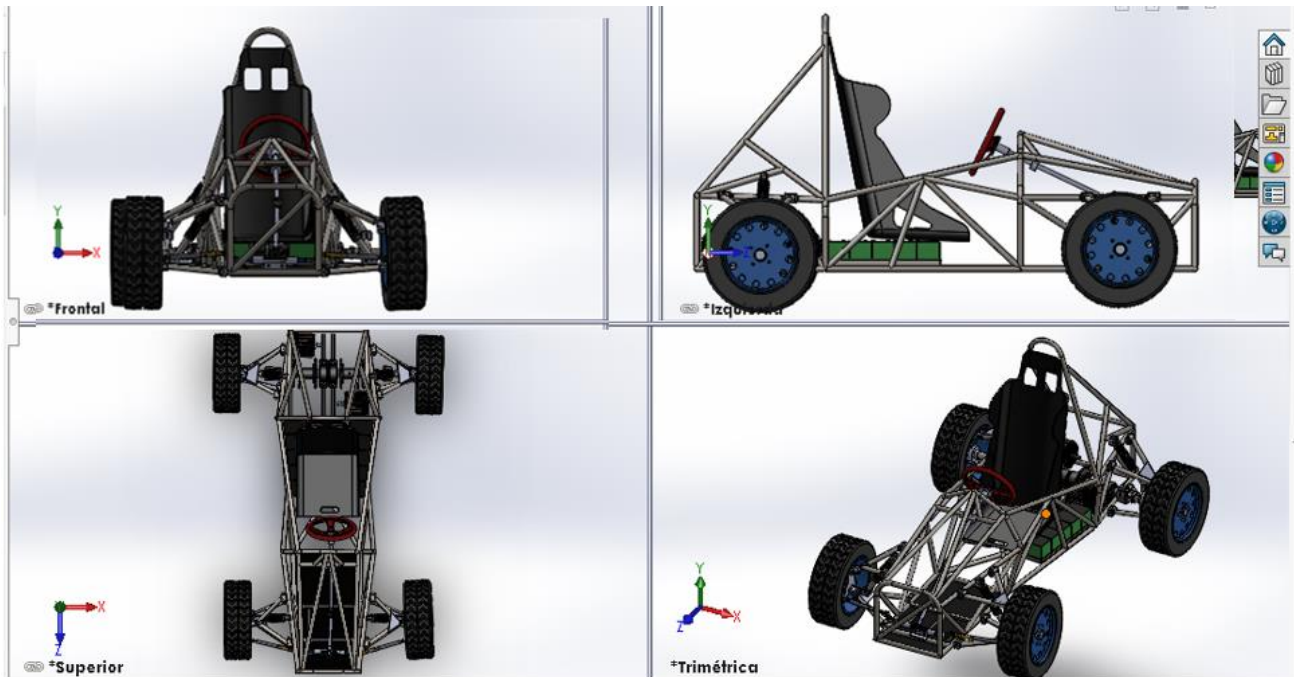
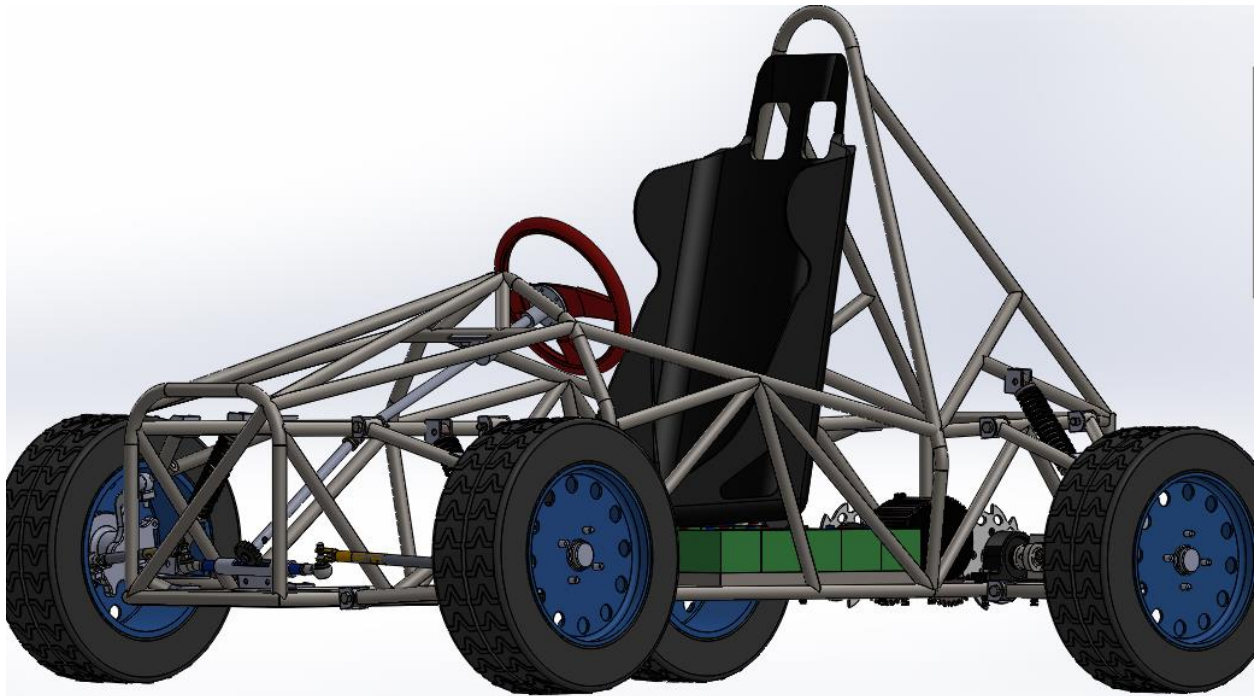






## ANEXO II

## DISEÑO SOFTWARE 3D



## ANEXO III

## ESPECIFICACIONES PRUEBA DE DINAMÓMETRO 1

**Ensayo: PROTOTIPO N°718**

**Cliente: UTN**

|                        |                              |
|------------------------|------------------------------|
| <b>Potencia Máxima</b> | <b>10,7 CV @ 863<br/>rpm</b> |
| <b>Torque Máximo</b>   | <b>8,8 Kgm @ 862<br/>rpm</b> |

|                       | De 500 rpm a 2900 rpm | De 500 rpm a 0 rpm |
|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| <b>Potencia Media</b> | <b>5,0 CV</b>         | <b>1,1 CV</b>      |
| <b>Torque Medio</b>   | <b>1,2 Kgm</b>        | <b>-5,4 Kgm</b>    |
| <b>Aceleración</b>    | <b>79,22 s</b>        | <b>0,40 s</b>      |

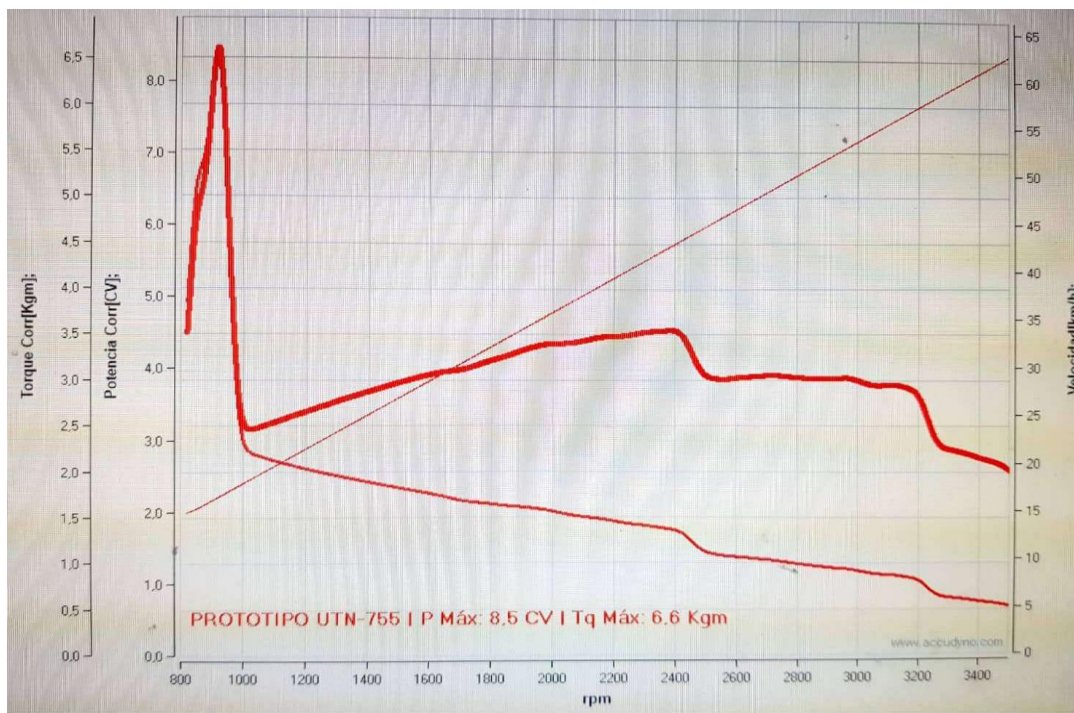
| <b>RPM</b>  | <b>Torque<br/>Corr<br/>[Kgm]</b> | <b>Potencia<br/>Corr<br/>[CV]</b> | <b>Sonda<br/>Lambda<br/>[AFR]</b> | <b>rpm<br/>Pickup<br/>[rpm]</b> | <b>Rel<br/>Transm</b> | <b>Potencia<br/>Perd<br/>[CV]</b> | <b>Potencia<br/>Rueda<br/>[CV]</b> | <b>Velocida<br/>[km/h]</b> |
|-------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| <b>500</b>  | 2,8                              | 2,0                               | 0,00                              | 500                             | 7,614                 | 0,4                               | 1,6                                | 9,4                        |
| <b>600</b>  | 1,0                              | 0,8                               | 0,00                              | 600                             | 7,614                 | 0,5                               | 0,3                                | 11,3                       |
| <b>700</b>  | 4,9                              | 4,8                               | 0,00                              | 700                             | 7,614                 | 0,7                               | 4,1                                | 13,2                       |
| <b>800</b>  | 6,8                              | 7,6                               | 0,00                              | 800                             | 7,614                 | 0,8                               | 6,8                                | 15,1                       |
| <b>900</b>  | 4,2                              | 5,2                               | 0,00                              | 900                             | 7,614                 | 0,9                               | 4,3                                | 16,9                       |
| <b>1000</b> | 3,0                              | 4,2                               | 0,00                              | 1000                            | 7,614                 | 1,0                               | 3,2                                | 18,8                       |
| <b>1100</b> | 3,0                              | 4,5                               | 0,00                              | 1100                            | 7,614                 | 1,2                               | 3,4                                | 20,7                       |
| <b>1200</b> | 2,9                              | 4,8                               | 0,00                              | 1200                            | 7,614                 | 1,3                               | 3,6                                | 22,6                       |
| <b>1300</b> | 2,8                              | 5,1                               | 0,00                              | 1300                            | 7,614                 | 1,4                               | 3,7                                | 24,5                       |
| <b>1400</b> | 2,8                              | 5,4                               | 0,00                              | 1400                            | 7,614                 | 1,6                               | 3,8                                | 26,3                       |
| <b>1500</b> | 2,7                              | 5,7                               | 0,00                              | 1500                            | 7,614                 | 1,7                               | 3,9                                | 28,2                       |
| <b>1600</b> | 2,6                              | 5,9                               | 0,00                              | 1600                            | 7,614                 | 1,9                               | 4,0                                | 30,1                       |
| <b>1700</b> | 2,6                              | 6,1                               | 0,00                              | 1700                            | 7,614                 | 2,0                               | 4,1                                | 32,0                       |
| <b>1800</b> | 2,5                              | 6,4                               | 0,00                              | 1800                            | 7,614                 | 2,1                               | 4,2                                | 33,9                       |

|             |     |     |      |      |       |     |     |      |
|-------------|-----|-----|------|------|-------|-----|-----|------|
| <b>1900</b> | 2,5 | 6,5 | 0,00 | 1900 | 7,614 | 2,3 | 4,3 | 35,7 |
| <b>2000</b> | 2,4 | 6,7 | 0,00 | 2000 | 7,614 | 2,4 | 4,2 | 37,6 |
| <b>2100</b> | 2,3 | 6,8 | 0,00 | 2100 | 7,614 | 2,6 | 4,2 | 39,5 |
| <b>2200</b> | 2,2 | 6,9 | 0,00 | 2200 | 7,614 | 2,8 | 4,1 | 41,4 |
| <b>2300</b> | 2,2 | 7,0 | 0,00 | 2300 | 7,614 | 2,9 | 4,1 | 43,3 |
| <b>2400</b> | 2,1 | 7,1 | 0,00 | 2400 | 7,614 | 3,1 | 4,0 | 45,2 |
| <b>2500</b> | 2,0 | 7,1 | 0,00 | 2500 | 7,614 | 3,2 | 3,8 | 47,0 |
| <b>2600</b> | 1,8 | 6,4 | 0,00 | 2600 | 7,614 | 3,4 | 3,0 | 48,9 |
| <b>2700</b> | 1,7 | 6,3 | 0,00 | 2700 | 7,614 | 3,6 | 2,7 | 50,8 |
| <b>2800</b> | 1,6 | 6,3 | 0,00 | 2800 | 7,614 | 3,8 | 2,5 | 52,7 |
| <b>2900</b> | 1,5 | 6,2 | 0,00 | 2895 | 7,614 | 3,9 | 2,3 | 54,5 |



## ANEXO IV

## ESPECIFICACIONES PRUEBA DE DINAMÓMETRO 2



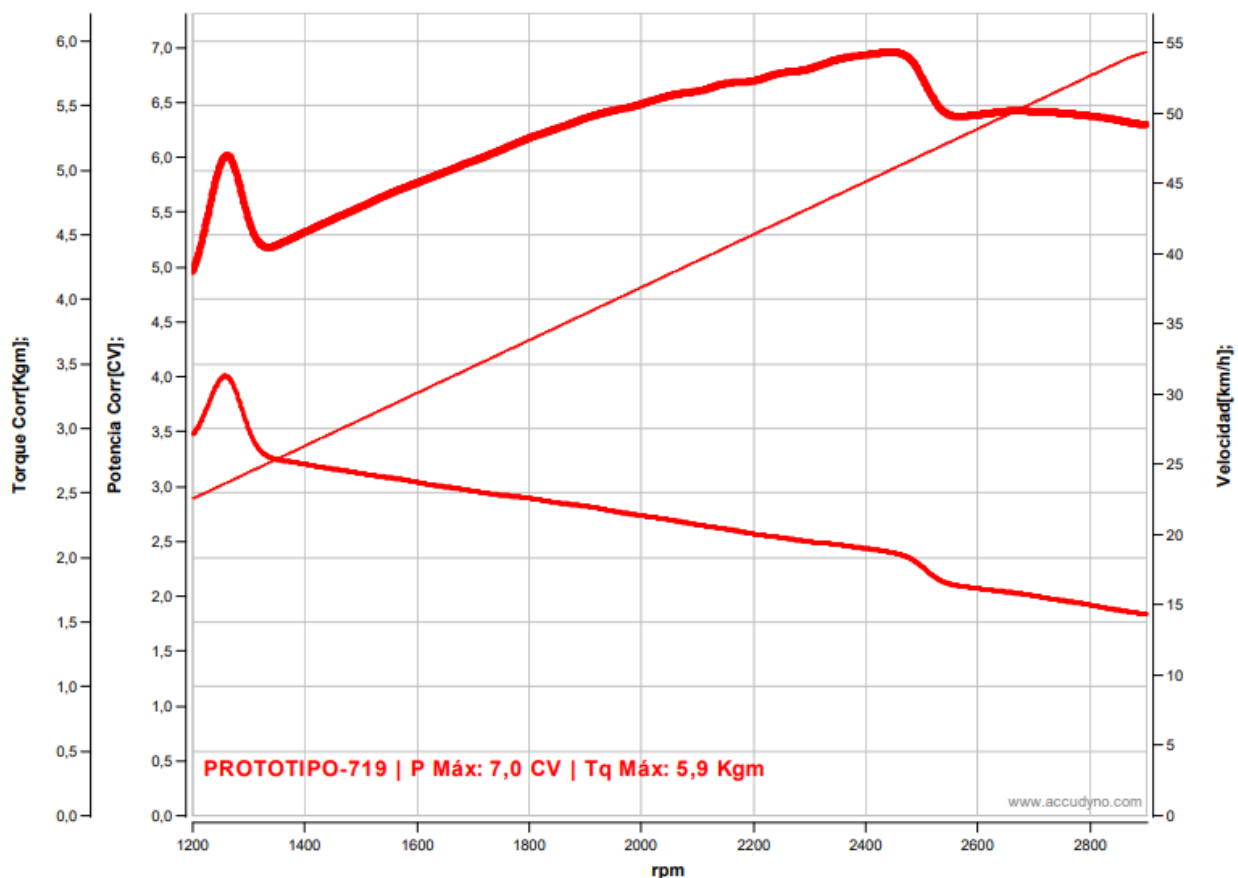
Ensayo: PROTOTIPO UTN N°755

|                 |                       |                    |
|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Potencia Máxima | 10,3 CV @ 921 rpm     |                    |
| Torque Máximo   | 8,0 Kgm @ 921 rpm     |                    |
|                 | De 800 rpm a 3500 rpm | De 800 rpm a 0 rpm |
| Potencia Media  | 4,0 CV                | 3,9 CV             |
| Torque Medio    | 1,6 Kgm               | 3,4 Kgm            |
| Aceleración     | 96,72 s               | 0,00 s             |

| RPM  | Torque Corr [Kgm] | Potencia Corr [CV] | Sonda Lambda [AFR] | Temperatura Amb [°C] | Humedad Amb [%] | rpm Pickup [rpm] | Rel Transm | Potencia Perd [CV] | Potencia Rueda [CV] | Velocidad [km/h] |
|------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------------|-----------------|------------------|------------|--------------------|---------------------|------------------|
| 821  | 3.4               | 3.9                | 0.00               | 24                   | 50              | 826              | 8,000      | 0,0                | 3,9                 | 14,8             |
| 900  | 6.4               | 8.1                | 0.00               | 24                   | 50              | 900              | 8,000      | 0,0                | 8,1                 | 16,1             |
| 1000 | 2.2               | 3.1                | 0.00               | 24                   | 50              | 1000             | 8,000      | 0,0                | 3,1                 | 17,9             |
| 1100 | 2.1               | 3.3                | 0.00               | 24                   | 50              | 1100             | 8,000      | 0,0                | 3,3                 | 19,7             |
| 1200 | 2.0               | 3.4                | 0.00               | 24                   | 50              | 1200             | 8,000      | 0,0                | 3,4                 | 21,5             |
| 1300 | 2.0               | 3.6                | 0.00               | 24                   | 50              | 1300             | 8,000      | 0,0                | 3,6                 | 23,3             |
| 1400 | 1.9               | 3.7                | 0.00               | 24                   | 50              | 1400             | 8,000      | 0,0                | 3,7                 | 25,1             |
| 1500 | 1.8               | 3.8                | 0.00               | 24                   | 50              | 1500             | 8,000      | 0,0                | 3,8                 | 26,9             |
| 1600 | 1.8               | 3.9                | 0.00               | 24                   | 50              | 1600             | 8,000      | 0,0                | 3,9                 | 28,7             |
| 1700 | 1.7               | 4.0                | 0.00               | 24                   | 50              | 1700             | 8,000      | 0,0                | 4,0                 | 30,4             |
| 1800 | 1.6               | 4.1                | 0.00               | 24                   | 50              | 1800             | 8,000      | 0,0                | 4,1                 | 32,2             |
| 1900 | 1.6               | 4.3                | 0.00               | 24                   | 50              | 1900             | 8,000      | 0,0                | 4,3                 | 34,0             |
| 2000 | 1.6               | 4.4                | 0.00               | 24                   | 50              | 2000             | 8,000      | 0,0                | 4,4                 | 35,8             |
| 2100 | 1.5               | 4.4                | 0.00               | 24                   | 50              | 2100             | 8,000      | 0,0                | 4,4                 | 37,6             |
| 2200 | 1.5               | 4.5                | 0.00               | 24                   | 50              | 2200             | 8,000      | 0,0                | 4,5                 | 39,4             |
| 2300 | 1.4               | 4.5                | 0.00               | 24                   | 50              | 2300             | 8,000      | 0,0                | 4,5                 | 41,2             |
| 2400 | 1.4               | 4.6                | 0.00               | 24                   | 50              | 2400             | 8,000      | 0,0                | 4,6                 | 43,0             |

## ANEXO V

## ESPECIFICACIONES PRUEBA DE DINAMÓMETRO 3



**Ensayo: PROTOTIPO N°719**

**Cliente: UTN**

|                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| <b>Potencia Máxima</b> | <b>7,8 CV @ 832 rpm</b>  |
| <b>Torque Máximo</b>   | <b>6,8 Kgm @ 715 rpm</b> |

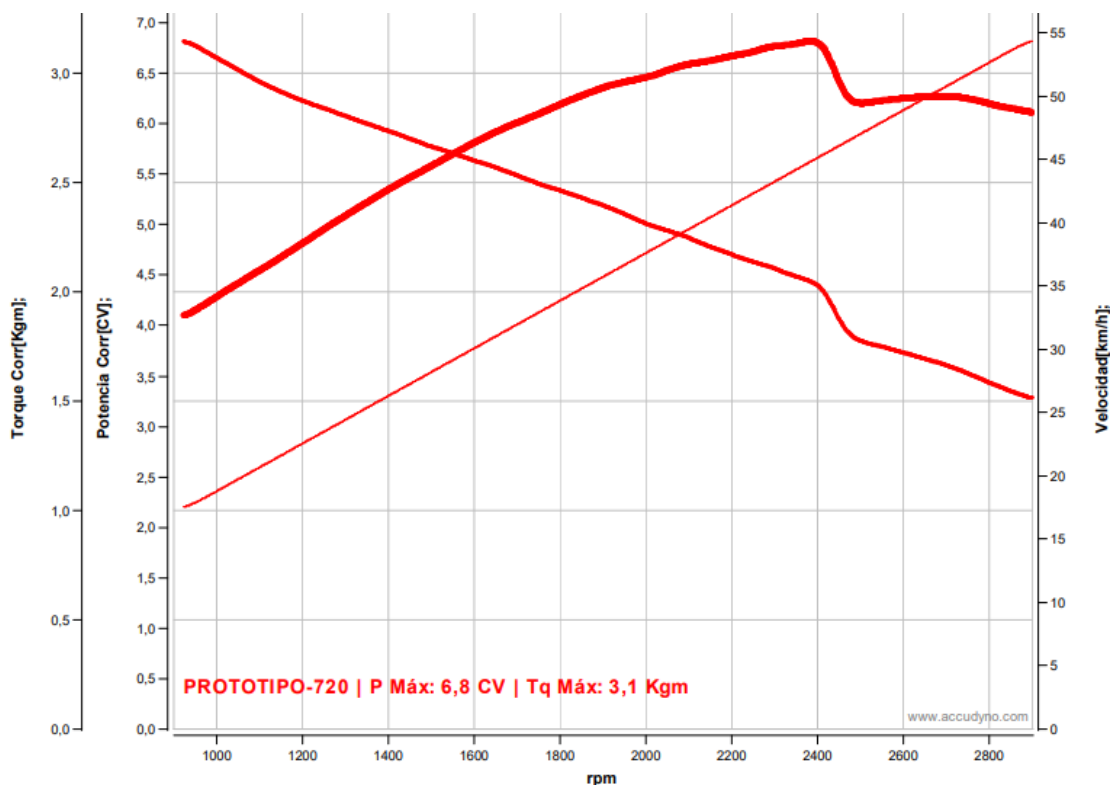
|                       | De 1200 rpm a 2900 rpm | De 1200 rpm a 0 rpm |
|-----------------------|------------------------|---------------------|
| <b>Potencia Media</b> | <b>5,9 CV</b>          | <b>4,9 CV</b>       |
| <b>Torque Medio</b>   | <b>2,6 Kgm</b>         | <b>3,8 Kgm</b>      |
| <b>Aceleración</b>    | <b>68,03 s</b>         | <b>-10,93 s</b>     |



| <b>RPM</b>  | <b>Torque<br/>Corr<br/>[Kgm]</b> | <b>Potenc<br/>Corr<br/>[CV]</b> | <b>Sonda<br/>Lambd<br/>[AFR]</b> | <b>Tempe<br/>Amb<br/>[°C]</b> | <b>Humed<br/>Amb<br/>[%]</b> | <b>rpm<br/>Pickup<br/>[rpm]</b> | <b>Rel<br/>Transm</b> | <b>Potenc<br/>Perd<br/>[CV]</b> | <b>Potenc<br/>Rueda<br/>[CV]</b> | <b>Velocid<br/>[km/h]</b> |
|-------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| <b>1200</b> | 2,9                              | 4,8                             | 0,00                             | 24                            | 92                           | 1200                            | 7,614                 | 1,3                             | 3,5                              | 22,6                      |
| <b>1300</b> | 2,8                              | 5,1                             | 0,00                             | 24                            | 92                           | 1300                            | 7,614                 | 1,4                             | 3,7                              | 24,5                      |
| <b>1400</b> | 2,7                              | 5,3                             | 0,00                             | 24                            | 92                           | 1400                            | 7,614                 | 1,6                             | 3,8                              | 26,3                      |
| <b>1500</b> | 2,7                              | 5,6                             | 0,00                             | 24                            | 92                           | 1500                            | 7,614                 | 1,7                             | 3,8                              | 28,2                      |
| <b>1600</b> | 2,6                              | 5,8                             | 0,00                             | 24                            | 93                           | 1600                            | 7,614                 | 1,9                             | 3,9                              | 30,1                      |
| <b>1700</b> | 2,5                              | 6,0                             | 0,00                             | 24                            | 93                           | 1700                            | 7,614                 | 2,0                             | 4,0                              | 32,0                      |
| <b>1800</b> | 2,5                              | 6,2                             | 0,00                             | 24                            | 93                           | 1800                            | 7,614                 | 2,1                             | 4,0                              | 33,9                      |
| <b>1900</b> | 2,4                              | 6,4                             | 0,00                             | 24                            | 93                           | 1900                            | 7,614                 | 2,3                             | 4,1                              | 35,7                      |
| <b>2000</b> | 2,3                              | 6,5                             | 0,00                             | 24                            | 93                           | 2000                            | 7,614                 | 2,4                             | 4,0                              | 37,6                      |
| <b>2100</b> | 2,2                              | 6,6                             | 0,00                             | 24                            | 93                           | 2100                            | 7,614                 | 2,6                             | 4,0                              | 39,5                      |
| <b>2200</b> | 2,2                              | 6,7                             | 0,00                             | 24                            | 93                           | 2200                            | 7,614                 | 2,8                             | 3,9                              | 41,4                      |
| <b>2300</b> | 2,1                              | 6,8                             | 0,00                             | 24                            | 93                           | 2300                            | 7,614                 | 2,9                             | 3,9                              | 43,3                      |
| <b>2400</b> | 2,1                              | 6,9                             | 0,00                             | 24                            | 93                           | 2400                            | 7,614                 | 3,1                             | 3,9                              | 45,2                      |
| <b>2500</b> | 1,9                              | 6,8                             | 0,00                             | 24                            | 92                           | 2500                            | 7,614                 | 3,2                             | 3,5                              | 47,0                      |
| <b>2600</b> | 1,8                              | 6,4                             | 0,00                             | 24                            | 92                           | 2600                            | 7,614                 | 3,4                             | 3,0                              | 48,9                      |
| <b>2700</b> | 1,7                              | 6,4                             | 0,00                             | 24                            | 92                           | 2700                            | 7,614                 | 3,6                             | 2,8                              | 50,8                      |

## ANEXO VI

## ESPECIFICACIONES PRUEBA DE DINAMÓMETRO 4



**Ensayo: PROTOTIPO N°720**

**Cliente: UTN**

|                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| <b>Potencia Máxima</b> | <b>6,8 CV @ 2404 rpm</b> |
| <b>Torque Máximo</b>   | <b>3,2 Kgm @ 922 rpm</b> |

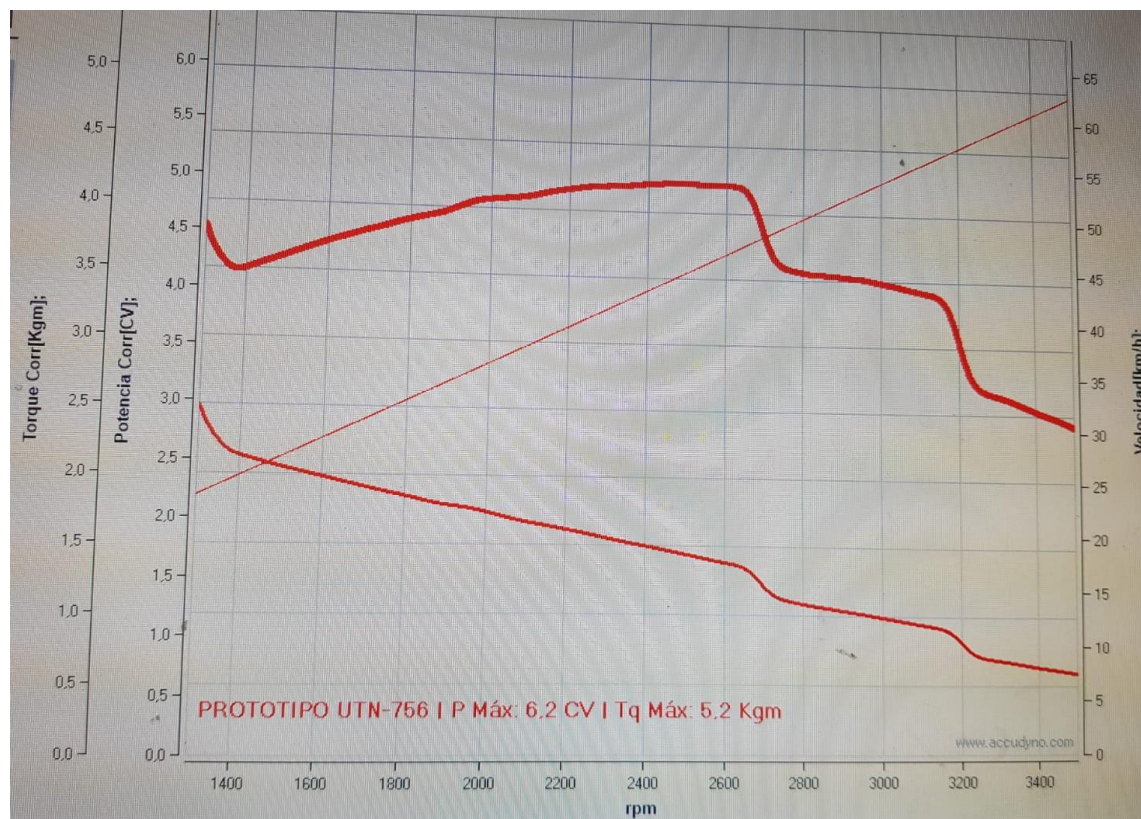
|                       | De 900 rpm a 2900 rpm | De 900 rpm a 0 rpm |
|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| <b>Potencia Media</b> | <b>5,9 CV</b>         | <b>4,1 CV</b>      |
| <b>Torque Medio</b>   | <b>2,3 Kgm</b>        | <b>3,2 Kgm</b>     |
| <b>Aceleración</b>    | <b>76,22 s</b>        | <b>0,00 s</b>      |

| <b>RPM</b>  | <b>Torque<br/>Corr<br/>[Kgm]</b> | <b>Potenc<br/>Corr<br/>[CV]</b> | <b>Sonda<br/>Lambd<br/>[AFR]</b> | <b>Tempe<br/>Amb<br/>[°C]</b> | <b>Humed<br/>Amb<br/>[%]</b> | <b>rpm<br/>Pickup<br/>[rpm]</b> | <b>Rel<br/>Transm</b> | <b>Potenc<br/>Perd<br/>[CV]</b> | <b>Potenc<br/>Rueda<br/>[CV]</b> | <b>Velocid<br/>[km/h]</b> |
|-------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| <b>922</b>  | 3,2                              | 4,1                             | 0,00                             | 24                            | 100                          | 927                             | 7,614                 | 0,9                             | 3,1                              | 17,4                      |
| <b>1000</b> | 3,1                              | 4,3                             | 0,00                             | 24                            | 100                          | 1000                            | 7,614                 | 1,0                             | 3,3                              | 18,8                      |
| <b>1100</b> | 3,0                              | 4,5                             | 0,00                             | 24                            | 100                          | 1100                            | 7,614                 | 1,2                             | 3,4                              | 20,7                      |
| <b>1200</b> | 2,9                              | 4,8                             | 0,00                             | 24                            | 100                          | 1200                            | 7,614                 | 1,3                             | 3,5                              | 22,6                      |
| <b>1300</b> | 2,8                              | 5,1                             | 0,00                             | 24                            | 100                          | 1300                            | 7,614                 | 1,4                             | 3,7                              | 24,5                      |
| <b>1400</b> | 2,7                              | 5,4                             | 0,00                             | 24                            | 100                          | 1400                            | 7,614                 | 1,6                             | 3,8                              | 26,3                      |

|             |     |     |      |    |     |      |       |     |     |      |
|-------------|-----|-----|------|----|-----|------|-------|-----|-----|------|
| <b>1500</b> | 2,7 | 5,6 | 0,00 | 24 | 100 | 1500 | 7,614 | 1,7 | 3,9 | 28,2 |
| <b>1600</b> | 2,6 | 5,8 | 0,00 | 24 | 100 | 1600 | 7,614 | 1,9 | 4,0 | 30,1 |
| <b>1700</b> | 2,5 | 6,0 | 0,00 | 24 | 100 | 1700 | 7,614 | 2,0 | 4,0 | 32,0 |
| <b>1800</b> | 2,5 | 6,2 | 0,00 | 24 | 100 | 1800 | 7,614 | 2,1 | 4,1 | 33,9 |
| <b>1900</b> | 2,4 | 6,4 | 0,00 | 24 | 100 | 1900 | 7,614 | 2,3 | 4,1 | 35,7 |
| <b>2000</b> | 2,3 | 6,5 | 0,00 | 24 | 100 | 2000 | 7,614 | 2,4 | 4,0 | 37,6 |
| <b>2100</b> | 2,3 | 6,6 | 0,00 | 24 | 100 | 2100 | 7,614 | 2,6 | 4,0 | 39,5 |
| <b>2200</b> | 2,2 | 6,7 | 0,00 | 24 | 100 | 2200 | 7,614 | 2,8 | 3,9 | 41,4 |

## ANEXO VII

## ESPECIFICACIONES PRUEBA DE DINAMÓMETRO 5



| Ensayo: PROTOTIPO UTN N°757 |                        |                     |
|-----------------------------|------------------------|---------------------|
| Potencia Máxima             | 7,1 CV @ 875 rpm       |                     |
| Torque Máximo               | 6,0 Kg/m @ 754 rpm     |                     |
|                             | De 1300 rpm a 3300 rpm | De 1300 rpm a 0 rpm |
| Potencia Media              | 3,7 CV                 | 4,0 CV              |
| Torque Medio                | 1,6 Kg/m               | 2,9 Kg/m            |
| Aceleración                 | 85,84 s                | -11,20 s            |

| RPM  | Torque Corr [Kgm] | Potencia Corr[CV] | Sonda Lambda [AFR] | Temperatura Amb[°C] | Humedad Amb[%] | rpm Pickup [rpm] | Rel Transm | Potencia Perd[CV] | Potencia Rueda[CV] | Velocidad [km/h] |
|------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|----------------|------------------|------------|-------------------|--------------------|------------------|
| 1300 | 2,6               | 4,7               | 0,00               | 23                  | 53             | 1300             | 8,000      | 0,0               | 4,7                | 23,3             |
| 1400 | 1,9               | 3,7               | 0,00               | 23                  | 53             | 1400             | 8,000      | 0,0               | 3,7                | 25,1             |
| 1500 | 1,8               | 3,8               | 0,00               | 23                  | 53             | 1500             | 8,000      | 0,0               | 3,8                | 26,9             |
| 1600 | 1,7               | 3,9               | 0,00               | 23                  | 53             | 1600             | 8,000      | 0,0               | 3,9                | 28,7             |
| 1700 | 1,7               | 3,9               | 0,00               | 23                  | 53             | 1700             | 8,000      | 0,0               | 3,9                | 30,4             |
| 1800 | 1,6               | 4,0               | 0,00               | 23                  | 53             | 1800             | 8,000      | 0,0               | 4,0                | 32,2             |
| 1900 | 1,6               | 4,2               | 0,00               | 23                  | 53             | 1900             | 8,000      | 0,0               | 4,2                | 34,0             |
| 2000 | 1,5               | 4,2               | 0,00               | 23                  | 53             | 2000             | 8,000      | 0,0               | 4,2                | 35,8             |
| 2100 | 1,4               | 4,2               | 0,00               | 23                  | 53             | 2100             | 8,000      | 0,0               | 4,2                | 37,6             |
| 2200 | 1,4               | 4,3               | 0,00               | 23                  | 53             | 2200             | 8,000      | 0,0               | 4,3                | 39,4             |
| 2300 | 1,3               | 4,3               | 0,00               | 23                  | 53             | 2300             | 8,000      | 0,0               | 4,3                | 41,2             |
| 2400 | 1,3               | 4,3               | 0,00               | 23                  | 53             | 2400             | 8,000      | 0,0               | 4,3                | 43,0             |
| 2500 | 1,2               | 4,3               | 0,00               | 23                  | 53             | 2500             | 8,000      | 0,0               | 4,3                | 44,8             |
| 2600 | 1,0               | 3,6               | 0,00               | 23                  | 54             | 2600             | 8,000      | 0,0               | 3,6                | 46,6             |
| 2700 | 0,9               | 3,5               | 0,00               | 23                  | 54             | 2700             | 8,000      | 0,0               | 3,5                | 48,3             |
| 2800 | 0,9               | 3,4               | 0,00               | 23                  | 54             | 2800             | 8,000      | 0,0               | 3,4                | 50,1             |
| 2900 | 0,8               | 3,3               | 0,00               | 23                  | 53             | 2900             | 8,000      | 0,0               | 3,3                | 51,9             |
| 3000 | 0,7               | 3,1               | 0,00               | 23                  | 54             | 3000             | 8,000      | 0,0               | 3,1                | 53,7             |

## ANEXO VIII

### RESULTADO DE PRUEBAS DE MANIOBRABILIDAD

| # Prueba  | Velocidad máxima | Tiempo         |
|-----------|------------------|----------------|
| 1         | 23 km/h          | 36.70 segundos |
| 2         | 24 km/h          | 37.07 segundos |
| 3         | 20 km/h          | 36.58 segundos |
| 4         | 25 km/h          | 36.79 segundos |
| 5         | 21 km/h          | 36.47 segundos |
| Resultado | 22.6 km/h        | 36.72 segundos |



**ANEXO IX****RESULTADO DE PRUEBAS DINÁMICAS**

| # Prueba  | Velocidad máxima | Tiempo         |
|-----------|------------------|----------------|
| 1         | 34 km/h          | 11.96 segundos |
| 2         | 32 km/h          | 12.52 segundos |
| 3         | 33 km/h          | 12.07 segundos |
| 4         | 34 km/h          | 12.17 segundos |
| 5         | 33 km/h          | 12.16 segundos |
| Resultado | 33.2 km/h        | 12.17 segundos |

**ANEXO X****TABLA COMPARATIVA SIMULACIÓN VS DINAMÓMETRO**

| SIMULACIÓN |                         |                          | DINAMÓMETRO |                          |                          |
|------------|-------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|
| RPM        | TORQUE Simulación (N.m) | POTENCIA Simulación (Hp) | RPM         | TORQUE Dinamómetro (N.m) | POTENCIA Dinamómetro(Hp) |
| 600        | 25                      | 2,5                      | 600         | 12,7                     | 0,9                      |
| 800        | 70                      | 8                        | 800         | 60,8                     | 6,8                      |
| 850        | 60                      | 7                        | 850         | 72,5                     | 8,7                      |
| 1000       | 30                      | 4                        | 1000        | 29,4                     | 4,2                      |
| 1200       | 27                      | 4,5                      | 1200        | 28,4                     | 4,7                      |
| 1400       | 26                      | 4,8                      | 1400        | 27,4                     | 5,1                      |
| 1600       | 25                      | 5,1                      | 1600        | 25,5                     | 5,9                      |
| 1800       | 24                      | 5,7                      | 1800        | 24,5                     | 6,2                      |
| 2000       | 23                      | 6,4                      | 2000        | 23,5                     | 6,7                      |
| 2200       | 21                      | 6,3                      | 2200        | 21,6                     | 6,9                      |
| 2400       | 20                      | 6,2                      | 2400        | 20,6                     | 7                        |
| 2600       | 18                      | 6,1                      | 2600        | 17,6                     | 6,1                      |
| 2800       | 17                      | 6                        | 2800        | 15,7                     | 6                        |

**ANEXO XI****LISTA DE COMPROBACIONES TÉCNICAS DEL VEHÍCULO**

| CHECK LIST        |                     |
|-------------------|---------------------|
| Inspector:        | Número de revisión: |
| Fecha dd/mm/aaaa: |                     |
| Si= Aprueba       | No= No aprueba      |

| Técnica diagnóstica |    | de                             | Visual | Auditivo   | Tacto           | Uso de herramienta   |
|---------------------|----|--------------------------------|--------|--|-----------------|--|
| <b>FASE 1</b>       |    |                                |        |  |                 |  |
| Código              |    | Operaciones                    |        | Actividades  | Técnica         | Observaciones  |
| Si                  | No | Sistema de bastidor            |        |  |                 |  |
| X                   |    | Bastidor                       |        | Revisar que no exista deformaciones                | Visual          |  |
|                     | X  | Atenuador de impactos          |        | Revisar su estado físico                           | Visual          | El atenuador de impactos se diseña en relación con la carrocería |
|                     | X  | Carrocería                     |        | Revisar materiales aislantes y estado de adhesivos | Visual          | El monoplaza no tiene carrocería                                 |
| X                   |    | Piso del vehículo              |        | Revisar estado del piso del bastidor               | Visual          |  |
| Si                  | No | Sistema de dirección           |        | Actividades  | Técnica         | Observaciones  |
| X                   |    | Volante                        |        | Revisar estado físico                              | Visual          |  |
| X                   |    | Columna de dirección           |        | Verificar la unión al volante y al bastidor        | Visual<br>Tacto |  |
| X                   |    | Terminales                     |        | Verificar el estado físico                         | Visual<br>Tacto |  |
| X                   |    | Elementos de unión - manguetas |        | Revisar estado físico                              | Visual          |  |
| Si                  | No | Sistema de seguridad           |        | Actividades  | Técnica         | Observaciones  |
|                     | X  | Cinturón de seguridad          |        | Revisar estado físico                              | Visual<br>Tacto | El monoplaza no cuenta con cinturones de seguridad               |
| X                   |    | Casco                          |        | Revisar fecha y estado físico                      | Visual          |  |

|    |    |                               |  |                 |               |
|----|----|-------------------------------|--|-----------------|---------------|
| X  |    | Traje de piloto               | Revisar fecha y estado físico  | Visual<br>Tacto |               |
| X  |    | Balaclava                     | Revisar fecha y estado físico  | Visual<br>Tacto |               |
| X  |    | Zapatos                       | Revisar fecha y estado físico  | Visual<br>Tacto |               |
| X  |    | Guantes                       | Revisar fecha y estado físico  | Visual<br>Tacto |               |
| X  |    | Asiento                       | Revisar puntos de sujeción con el bastidor y estado físico                     | Visual<br>Tacto |               |
| Si | No | Sistema de frenos             | Actividades  | Técnica         | Observaciones |
| X  |    | Líquido de frenos             | Revisar que el nivel sea el correcto   | Visual          |               |
| X  |    | Depósito de líquido de frenos | Revisar la correcta sujeción al bastidor                                       | Visual          |               |
| X  |    | Bombas y cañerías             | Verificar el estado físico   | Visual          |               |
| X  |    | Pedales                       | Revisar la sujeción con el bastidor y estado físico de superficies de contacto | Visual<br>Tacto |               |
| Si | No | Sistema de suspensión         | Actividades  | Técnica         | Observaciones |
| X  |    | Anclajes                      | Revisar la unión con el bastidor   | Visual          |               |
| X  |    | Terminales                    | Revisas la unión con las mesas superior e inferior                             | Visual<br>Tacto |               |



|               |    |                          |  |                    |   |
|---------------|----|--------------------------|--|--------------------|---|
| X             |    | Amortiguadores           | Comprobar su funcionamiento y estado físico                        | Visual<br>Tacto    |   |
| X             |    | Muelles                  | Revisar el estado físico   | Visual<br>Tacto    |   |
| X             |    | Mesas                    | Revisar el estado físico   | Visual             |   |
| Si            | No | Sistema de transmisión   | Actividades  | Técnica            | Observaciones   |
|               | X  | Guarda polvos            | Revisar su correcta sujeción y que no exista roturas               | Visual<br>Tacto    | No cuenta con guardapolvos                                |
| X             |    | Semiejes                 | Verificar que no exista ruidos y vibraciones                       | Visual<br>Auditivo |   |
| Si            | No | Sistema eléctrico        | Actividades  | Técnica            | Observaciones   |
| X             |    | Protección de cableado   | Revisar el estado físico   | Visual             |   |
| X             |    | Acelerador               | Verificar los conectores   | Visual<br>Tacto    |   |
| X             |    | Baterías y controladores | Revisar las conexiones   | Visual             |   |
| <b>FASE 2</b> |    |                          |  |                    |   |
| Código        |    | Operaciones              | Actividades  | Técnica            | Observaciones   |
| Si            | No | Sistema de bastidor      |  |                    |   |
|               | X  | Fondo plano              | Revisar la sujeción correcta y el estado físico                    | Visual             | El fondo plano forma parte de la carrocería del monoplaza |
| X             |    | Pernos                   | Revisar el buen estado de los pernos, tuercas y elementos de unión | Visual             |   |
| Si            | No | Sistema de dirección     | Actividades  | Técnica            | Observaciones   |
| X             |    | Volante                  | Revisar que no exista ruidos y mucha resistencia                   | Auditivo<br>Tacto  |   |

|    |    |                               |   |                    |               |
|----|----|-------------------------------|---|--------------------|---------------|
|    |    |                               | cuando es accionado   |                    |               |
| Si | No | Sistema de frenos             | Actividades   | Técnica            | Observaciones |
| X  |    | Disco posterior derecho       | Revisar el espesor (3mm)  | Uso de herramienta |               |
| X  |    | Disco posterior izquierdo     | Revisar el espesor (3mm)  | Uso de herramienta |               |
| X  |    | Mordazas de freno posteriores | Revisar que contenga todos sus elementos (pasadores, guarda polvos) | Visual             |               |

|               |    |                        |   |                 |                                |
|---------------|----|------------------------|---|-----------------|--------------------------------|
| X             |    | Llantas                | Revisar que no exista golpes, grietas o deformaciones | Visual<br>Tacto |                                |
| Si            | No | Sistema de transmisión | Actividades   | Técnica         | Observaciones                  |
|               | X  | Protección del motor   | Revisar que el motor cuente con protección            | Visual          | No existe protección del motor |
| X             |    | Piñón del motor        | Revisar el estado de los dientes                      | Visual<br>Tacto |                                |
| X             |    | Catalina               | Revisar el estado de los dientes                      | Visual<br>Tacto |                                |
| X             |    | Cadena                 | Revisar el estado de la cadena                        | Visual          |                                |
| X             |    | Motor                  | Revisar las bases y sujeción al bastidor              | Visual<br>Tacto |                                |
| X             |    | Cadena                 | Revisarla correcta lubricación                        | Visual<br>Tacto |                                |
| <b>FASE 3</b> |    |                        |   |                 |                                |
| Código        |    | Operaciones            | Actividades   | Técnica         | Observaciones                  |
| Si            | No | Sistema eléctrico      |   |                 |                                |

|    |    |                                    |   |  |               |
|----|----|------------------------------------|---|--|---------------|
| X  |    | Interruptor de encendido y apagado | Revisar su correcto funcionamiento                        | Visual<br>Tacto                        |               |
| Si | No | Sistema de frenos                  | Actividades   | Técnica                                | Observaciones |
| X  |    | Pedal de freno                     | Revisar correcta calibración y funcionamiento             | Visual<br>Uso de herramientas<br>Tacto |               |
| X  |    | Cañerías                           | Revisar fugas de líquido de freno en la línea de cañerías | Visual                                 |               |

|    |    |                              |                                   |                             |               |
|----|----|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------|
| X  |    | Caliper                      | Revisar fuga de líquido de frenos | Visual                      |               |
| X  |    | Bombas de freno y reservorio | Revisar fuga de líquido de frenos | Visual                      |               |
| Si | No | Sistema de transmisión       | Actividades                       | Técnica                     | Observaciones |
| X  |    | Motor                        | Verificar ruidos o vibraciones    | Auditivo<br>Tacto<br>Visual |               |

#### FASE 4

| Código |    | Operaciones                    | Actividades   | Técnica         | Observaciones                         |
|--------|----|--------------------------------|---|-----------------|---------------------------------------|
| Si     | No | Sistema de bastidor            |   |                 |                                       |
| X      |    | Carrocería                     | Revisar que no exista contacto de los neumáticos con el bastidor al girar la dirección por completo | Visual<br>Tacto |                                       |
|        | X  | Carrocería frontal y posterior | Revisar que no exista rozamiento de los neumáticos y la carrocería                                  | Visual<br>Tacto | El monoplaza no cuenta con carrocería |
|        | X  | Carrocería                     | Verificar que todos los puntos  | Visual          | El monoplaza no cuenta con carrocería |

|    |    |                               | de sujeción estén asegurados                     |                     |               |
|----|----|-------------------------------|--|---------------------|---------------|
| Si | No | Sistema de dirección          | Actividades                                      | Técnica             | Observaciones |
| X  |    | Tuercas de llantas            | Comprobar el ajuste de las tuercas (80 a 90 N/m) | Uso de herramientas |               |
| X  |    | Neumáticos                    | Comprobar el desgaste de banda de rodadura       | Visual              |               |
| X  |    | Neumático frontal derecho     | Medir el espesor de la banda de rodadura (2mm)   | Uso de herramientas |               |
| X  |    | Neumático frontal izquierdo   | Medir el espesor de la banda de rodadura (2mm)   | Uso de herramientas |               |
| X  |    | Neumático posterior derecho   | Medir el espesor de la banda de rodadura (2mm)   | Uso de herramientas |               |
| X  |    | Neumático posterior izquierdo | Medir el espesor de la banda de rodadura (2mm)   | Uso de herramientas |               |
| X  |    | Neumático frontal derecho     | Medir la presión de aire (40 psi máx.)           | Uso de herramientas |               |
| X  |    | Neumático frontal izquierdo   | Medir la presión de aire (40 psi máx.)           | Uso de herramientas |               |
| X  |    | Neumático posterior derecho   | Medir la presión de aire (40 psi máx.)           | Uso de herramientas |               |
| X  |    | Neumático posterior izquierdo | Medir la presión de aire (40 psi máx.)           | Uso de herramientas |               |

Fuente: (INTERNATIONAL SAE, 2020)



## ANEXO XII

### MONOPLAZA TERMINADO

