



## **Diseño y construcción de un vehículo monoplaza impulsado eléctricamente**

Boada Veintimilla, Willians Salomón; Montenegro Usama, Oswaldo Israel y Raza Mera, Nicolás

Alexander

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Torres Muñoz, Guido Rafael

03 de febrero del 2023

Latacunga

## Reporte de verificación de contenido

TESIS BOADA MONTENEGRO RAZA 2023.docx  
Scanned on: 15:9 February 3, 2023 UTC



Overall similarity score



Results found



Total words in text

	Word count
Identical	528
Minor Changes	142
Paraphrased	710
Omitted	0

COPYLEAKS

Nota: Colocar únicamente la página que indica el porcentaje de similitud de la herramienta contratada por la Universidad.

Firma:

**Ing. Torres Muñoz, Guido Rafael.**

C. C.: 180162435-2



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

### **Certificación**

Certifico que el trabajo de titulación: **"Diseño y construcción de un vehículo monoplaza impulsado eléctricamente"** fue realizado por los señores **Boada Veintimilla, Willians Salomón ; Montenegro Usama, Oswaldo Israel y Raza Mera, Nicolás Alexander** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

**Latacunga, 03 de febrero del 2023**

Firma:

**Ing. Torres Muñoz, Guido Rafael.**

C. C.: 180162435-2



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
Carrera de Ingeniería Automotriz

**Responsabilidad de Autoría**

Nosotros, **Boada Veintimilla, Willians Salomón ; Montenegro Usama, Oswaldo Israel y Raza Mera, Nicolás Alexander**, con cédulas de ciudadanía N°175177452-0; 100380127-9; 180441764-8, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de un vehículo monoplaza impulsado eléctricamente”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 03 de febrero del 2023

Firma

**Boada Veintimilla Willians Salomón**  
C.C.: 175177452-0

Firma

**Montenegro Usama Oswaldo Israel**  
C.C.: 100380127-9

Firma

**Raza Mera Nicolás Alexander**  
C.C.: 180441764-8



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Autorización de Publicación**

Nosotros, **Boada Veintimilla, Willians Salomón ; Montenegro Usama, Oswaldo Israel y Raza Mera, Nicolás Alexander**, con cédulas de ciudadanía N° 175177452-0; 100380127-9; 180441764-8, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de un vehículo monoplaza impulsado eléctricamente”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

**Latacunga, 03 de febrero del 2023**

Firma

**Boada Veintimilla Willians Salomón**  
C.C.: 175177452-0

Firma

**Montenegro Usama Oswaldo Israel**  
C.C.: 100380127-9

Firma

**Raza Mera Nicolás Alexander**  
C.C.: 180441764-8

## **Dedicatoria**

El Presente proyecto de titulación se lo dedico a Dios por ser el que me ha dado las fuerzas y sabiduría para poder encaminarme en un camino de rectitud para cumplir mis metas y objetivos propuestos.

A toda mi familia en especial a mi querida madre Sara, a mi papa Carlos y a mi abuelo Benjamín quienes me vieron crecer guiándome y brindándome su apoyo incondicional día a día con amor y enseñanza he aprendido de ellos hacer una persona con valores.

A mi hermanos y hermanas Carina, Cinthya, Benjamín por ser el motor y un apoyo emocional en todos lo momento por darme la fuerza y alegría de hermanos y también para ser un ejemplo para mi hermano menor Benjamín.

A mis amigos y parientes más cercanos que hemos compartido buenos y tristes momentos que me han sabido dar un consejo y me han sabido motivar para poder seguir mis sueños a esos amigos que la vida me apuesto para hacerla más alegre y emocionate.

## **Agradecimiento**

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas que me ha llenado de conocimientos y valores que me han servido para poder desarrollar un proyecto innovador, sin los conocimientos impartidos por los docentes en las aulas no hubiera sido posible, a mi tutor y amigo de tesis Ingeniero Guido por apoyarnos, agradezco a mi familia por brindarme el apoyo económico y emocional en esta trayectoria muy importante de mi vida, y a aquellos que con mucha ganas orgullo y optimismo de verme salir adelante me han ayudado a cumplir metas.

**Boada Veintimilla, Willians Salomón**

### **Dedicatoria**

El presente proyecto de investigación le dedico primeramente a Dios ya que en mi familia siempre ha sido algo fundamental para la sabiduría y fortaleza de poder sobrellevar cualquier circunstancia y sobre todo para culminar mis estudios académicos en esta etapa de mi vida.

A mis padres Oswaldo Montenegro y María Usama que jamás dejaron de dar su mejor esfuerzo y darme el apoyo incondicional en todo momento para cumplir esta meta, además por transmitir sus valores y principios que siempre han estado presentes.

A mis hermanos: Mary, Viviana, Johnny, Andrea y Kenny que desde el primer momento siempre me dieron un apoyo y cariño ilimitado en todo el transcurso de esta etapa y de mi vida.

Por último, a mi novia y amiga Shanty Portilla que con el pasar de los años tuve la oportunidad de conocer la maravillosa persona que es, ha sido mi confidente y en mis dificultades siempre ha estado brindándome su apoyo para mejorar mis ánimos.

**Montenegro Usama, Oswaldo Israel**



### **Agradecimiento**

Primeramente, agradezco a Dios por la salud y la vida que me ha dado y permitir seguir concluyendo con las metas propuestas. A mis padres por el sacrificio que hicieron y estar al pendiente de mi etapa universitaria y a toda mi familia por darme consejos y ánimos en todo momento. Finalmente agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe sede Latacunga y docentes, especialmente al ingeniero Guido Torres por compartir sus conocimientos en el desarrollo de la tesis y su gran aporte como profesional.

**Montenegro Usama, Oswaldo Israel**

## Dedicatoria

Este trabajo de titulación se lo dedico a toda mi familia, principalmente a mis padres Rocío y Franklin quienes han sido un apoyo fundamental e infaltable en todo este proceso académico y además han sido los pilares fundamentales para convertirme en la persona que soy hoy en día.

A mis hermanos Catalina e Israel que me han apoyado siempre y han estado atentos en todo el proceso de mi formación, además de brindarme todo su apoyo emocional y ser un ejemplo a seguir.

A Jennifer, que ha sido un apoyo incondicional durante todo este proceso y me ha dado ánimos en todo momento, sobre todo en los momentos más difíciles.

A mis familiares y amigos más cercanos quienes me han ayudado y motivado siempre para seguir adelante y no desfallecer en los momentos más difíciles y a los compañeros que han sido parte de todos estos años de estudio, con quienes he compartido muchos momentos inolvidables.

**Raza Mera, Nicolás Alexander**

## **Agradecimiento**

Agradezco primeramente a Dios, por ser el ser divino que ha dado fuerza y esperanza en todo aspecto; a la Universidad de las Fuerzas Armadas y sus docentes, quienes han impartido sus conocimientos y me han dado la oportunidad de crecer tanto académica como personalmente; al Ingeniero Guido Torres por apoyarnos y brindarnos conocimientos adicionales en el desarrollo de esta tesis; finalmente, agradezco a mi familia por brindarme el apoyo emocional y económico que ha sido muy importante para poder terminar esta etapa de vida y que ha sido fundamental en todo momento.

**Raza Mera, Nicolás Alexander**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Dedicatoria.....	8
Agradecimiento.....	9
Dedicatoria.....	10
Agradecimiento.....	11
Índice de contenido.....	12
Índice de tablas.....	17
Índice de figuras.....	19
Índice de ecuaciones.....	23
Resumen.....	24
Abstract.....	25
Capítulo I: Planteamiento del problema de investigación.....	26
Antecedentes investigativos.....	26
Planteamiento del problema.....	27
Descripción resumida de proyecto.....	30
Justificación e importancia.....	31
Objetivos del proyecto.....	32
<i>Objetivo general</i> .....	32
<i>Objetivos específicos</i> .....	32

Metas .....	32
Hipótesis .....	33
VARIABLES DE INVESTIGACIÓN .....	33
Metodología del desarrollo del proyecto .....	35
Capítulo II: Fundamento teórico .....	37
Historia de vehículos eléctricos .....	37
Componentes del vehículo eléctrico .....	39
<i>Cargador</i> .....	40
<i>Batería</i> .....	40
<i>Convertidor</i> .....	41
<i>Inversor</i> .....	41
<i>Motor Eléctrico</i> .....	42
Tipos de vehículos eléctricos .....	44
Movilidad eléctrica .....	45
<i>Tecnologías actuales en baterías</i> .....	45
<i>Motores eléctricos trifásicos</i> .....	46
<i>Controladores de motores eléctricos</i> .....	47
<i>Sistema de carga</i> .....	48
Sistemas automotrices de un monoplaza .....	48
<i>Sistema de chasis</i> .....	49
Materiales utilizados para la fabricación de estructuras .....	49
Cálculos estructurales .....	52
<i>Sistema de propulsión</i> .....	55
Fuerzas presentes en pendiente .....	55
Potencia del motor .....	57
<i>Sistema de dirección</i> .....	58

<i>Sistema de suspensión</i> .....	60
<i>Sistema de freno</i> .....	63
<i>Sistema de iluminación y auxiliares</i> .....	65
Pruebas del monoplaza eléctrico .....	66
<i>Prueba de autonomía</i> .....	66
<i>Prueba de velocidad máxima</i> .....	66
<i>Prueba de carga de batería</i> .....	67
Capítulo III: Diseño y análisis del vehículo monoplaza eléctrico .....	68
Estructura .....	68
<i>Análisis de cargas</i> .....	68
Carga viva.....	68
Carga muerta.....	69
Carga de giro.....	70
Carga de frenado .....	71
<i>Modelado de la estructura</i> .....	71
<i>Selección del material</i> .....	72
<i>Simulación de cargas</i> .....	72
Simulación carga viva .....	72
Simulación carga muerta .....	73
Simulación carga de giro .....	74
Simulación carga de frenado.....	74
Carrocería .....	75
<i>Condiciones iniciales de geometría de la carrocería</i> .....	75
<i>Bocetos iniciales para el modelado</i> .....	75
<i>Modelado 3D de la carrocería</i> .....	76
<i>Simulación aerodinámica</i> .....	77

<b><i>Coeficiente de arrastre</i></b> .....	<b>79</b>
<b>Sistemas automotrices</b> .....	<b>80</b>
<b><i>Sistema de dirección</i></b> .....	<b>80</b>
<b><i>Sistema de freno</i></b> .....	<b>84</b>
<b><i>Sistema de suspensión</i></b> .....	<b>85</b>
<b><i>Sistema de propulsión y control</i></b> .....	<b>88</b>
<b>Fuerza de ascenso (<math>F_h</math>)</b> .....	<b>90</b>
<b>Fuerza de fricción (<math>F_r</math>)</b> .....	<b>90</b>
<b>Fuerza aerodinámica (<math>F_{ad}</math>)</b> .....	<b>91</b>
<b>Fuerza de tracción eléctrica (<math>F_t</math>)</b> .....	<b>91</b>
<b>Potencia del motor</b> .....	<b>91</b>
<b>Selección del motor eléctrico</b> .....	<b>93</b>
<b>Selección del controlador</b> .....	<b>94</b>
<b>Selección de la batería de alto voltaje</b> .....	<b>94</b>
<b>Diagrama de conexión del sistema de propulsión y control</b> .....	<b>97</b>
<b><i>Sistema de iluminación y auxiliares</i></b> .....	<b>99</b>
<b>Diagrama de conexión</b> .....	<b>100</b>
<b>Capítulo IV: Construcción y pruebas del vehículo monoplaza eléctrico</b> .....	<b>102</b>
<b>Construcción de la estructura del monoplaza</b> .....	<b>102</b>
<b>Construcción y ensamblado de la carrocería</b> .....	<b>104</b>
<b>Instalación del sistema de propulsión</b> .....	<b>106</b>
<b><i>Motor y eje trasero</i></b> .....	<b>106</b>
<b><i>Sistema de carga</i></b> .....	<b>108</b>
<b>Instalación de los sistemas automotrices</b> .....	<b>109</b>
<b><i>Sistema de suspensión</i></b> .....	<b>109</b>
<b><i>Sistema de dirección</i></b> .....	<b>110</b>

<b>Sistema de frenos .....</b>	<b>112</b>
<b>Sistema eléctrico.....</b>	<b>113</b>
<b>Control electrónico.....</b>	<b>113</b>
<b>Iluminación e indicadores.....</b>	<b>117</b>
<b>Pruebas del monoplaza .....</b>	<b>119</b>
<b>Prueba de autonomía.....</b>	<b>119</b>
<b>Autonomía calculada.....</b>	<b>119</b>
<b>Primera prueba: Pista 1 – Estrategia 1 .....</b>	<b>121</b>
<b>Segunda prueba: Pista 1 – Estrategia 2 .....</b>	<b>125</b>
<b>Tercera prueba: Pista 2 – Estrategia 1 .....</b>	<b>128</b>
<b>Cuarta prueba: Pista 2 – Estrategia 2 .....</b>	<b>131</b>
<b>Autonomía experimental.....</b>	<b>135</b>
<b>Prueba de velocidad máxima y aceleración .....</b>	<b>137</b>
<b>Prueba de carga de batería .....</b>	<b>138</b>
<b>Costo de carga.....</b>	<b>146</b>
<b>Capítulo V: Marco Administrativo .....</b>	<b>148</b>
<b>Recursos.....</b>	<b>148</b>
<b>Recursos Humanos.....</b>	<b>148</b>
<b>Recursos Tecnológicos.....</b>	<b>149</b>
<b>Recursos materiales .....</b>	<b>149</b>
<b>Presupuesto.....</b>	<b>152</b>
<b>Financiamiento.....</b>	<b>155</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>156</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>158</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>159</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>163</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Variable Independiente</i> .....	<b>34</b>
<b>Tabla 2</b> <i>Variable Dependiente</i> .....	<b>35</b>
<b>Tabla 3</b> <i>Partes de los sistemas automotrices del monoplaza con su masa</i> .....	<b>69</b>
<b>Tabla 4</b> <i>Parámetros iniciales</i> .....	<b>78</b>
<b>Tabla 5</b> <i>Peso del vehículo eléctrico</i> .....	<b>89</b>
<b>Tabla 6</b> <i>Valores de coeficiente de rodadura de neumáticos</i> .....	<b>90</b>
<b>Tabla 7</b> <i>Especificaciones del motor eléctrico</i> .....	<b>93</b>
<b>Tabla 8</b> <i>Especificaciones del controlador</i> .....	<b>94</b>
<b>Tabla 9</b> <i>Características de las celdas de ion-litio</i> .....	<b>95</b>
<b>Tabla 10</b> <i>Código de colores de cables</i> .....	<b>98</b>
<b>Tabla 11</b> <i>Consumo de corriente de componentes eléctricos</i> .....	<b>100</b>
<b>Tabla 12</b> <i>Componentes del sistema eléctrico de propulsión</i> .....	<b>115</b>
<b>Tabla 13</b> <i>Componentes del sistema eléctrico de iluminación y auxiliares</i> .....	<b>118</b>
<b>Tabla 14</b> <i>Parámetros de prueba</i> .....	<b>120</b>
<b>Tabla 15</b> <i>Datos de la primera prueba</i> .....	<b>121</b>
<b>Tabla 16</b> <i>Potencia y consumo calculados</i> .....	<b>123</b>
<b>Tabla 17</b> <i>Datos de la segunda prueba</i> .....	<b>125</b>
<b>Tabla 18</b> <i>Potencia y consumo calculados</i> .....	<b>126</b>
<b>Tabla 19</b> <i>Datos de la tercera prueba</i> .....	<b>128</b>
<b>Tabla 20</b> <i>Potencia y consumo calculados</i> .....	<b>129</b>
<b>Tabla 21</b> <i>Datos de la cuarta prueba</i> .....	<b>132</b>
<b>Tabla 22</b> <i>Potencia y consumo calculados</i> .....	<b>132</b>
<b>Tabla 23</b> <i>Valores de velocidad máxima y aceleración</i> .....	<b>137</b>
<b>Tabla 24</b> <i>Carga de batería Tiempo/Voltaje</i> .....	<b>139</b>

<b>Tabla 25</b> <i>Comparación de costos de energía</i> .....	<b>146</b>
<b>Tabla 26</b> <i>Recursos Humanos</i> .....	<b>148</b>
<b>Tabla 27</b> <i>Recursos Tecnológicos</i> .....	<b>149</b>
<b>Tabla 28</b> <i>Recursos materiales</i> .....	<b>149</b>
<b>Tabla 29</b> <i>Presupuesto del proyecto</i> .....	<b>152</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Árbol de problemas</i> .....	<b>29</b>
<b>Figura 2</b> <i>La Jamais Contente</i> .....	<b>37</b>
<b>Figura 3</b> <i>Peugeot 106 eléctrico</i> .....	<b>38</b>
<b>Figura 4</b> <i>Tesla Modelo S</i> .....	<b>39</b>
<b>Figura 5</b> <i>Cargador de vehículo eléctrico</i> .....	<b>40</b>
<b>Figura 6</b> <i>Batería de un Tesla Modelo S</i> .....	<b>41</b>
<b>Figura 7</b> <i>Convertor de vehículo eléctrico</i> .....	<b>41</b>
<b>Figura 8</b> <i>Inversor de Tesla Modelo S</i> .....	<b>42</b>
<b>Figura 9</b> <i>Motor AC Trifásico de un Tesla Modelo S</i> .....	<b>43</b>
<b>Figura 10</b> <i>Esquema de vehículo eléctrico</i> .....	<b>43</b>
<b>Figura 11</b> <i>Vehículos eléctricos actuales</i> .....	<b>45</b>
<b>Figura 12</b> <i>Batería para vehículos eléctricos</i> .....	<b>46</b>
<b>Figura 13</b> <i>Partes del motor eléctrico trifásico</i> .....	<b>47</b>
<b>Figura 14</b> <i>Controlador de motor eléctrico</i> .....	<b>47</b>
<b>Figura 15</b> <i>Sistema de carga de vehículo eléctrico</i> .....	<b>48</b>
<b>Figura 16</b> <i>Chasis de un vehículo</i> .....	<b>49</b>
<b>Figura 17</b> <i>Acero utilizado en chasis</i> .....	<b>50</b>
<b>Figura 18</b> <i>Aluminio utilizado en chasis</i> .....	<b>51</b>
<b>Figura 19</b> <i>Magnesio utilizado en chasis</i> .....	<b>51</b>
<b>Figura 20</b> <i>Parámetros para cálculo de cargas de giro</i> .....	<b>54</b>
<b>Figura 21</b> <i>Sistema de dirección mecánica</i> .....	<b>59</b>
<b>Figura 22</b> <i>Muelle helicoidal</i> .....	<b>61</b>
<b>Figura 23</b> <i>Componentes del sistema de frenos</i> .....	<b>63</b>
<b>Figura 24</b> <i>Sistema de iluminación</i> .....	<b>66</b>
<b>Figura 25</b> <i>Modelado de la estructura</i> .....	<b>72</b>

<b>Figura 26</b> Selección del material.....	<b>72</b>
<b>Figura 27</b> Análisis estático con factor de seguridad de la carga viva .....	<b>73</b>
<b>Figura 28</b> Análisis estático con factor de seguridad de la carga muerta.....	<b>73</b>
<b>Figura 29</b> Análisis estático con factor de seguridad de la carga de giro.....	<b>74</b>
<b>Figura 30</b> Análisis estático con tensión nodal de la carga de frenado .....	<b>75</b>
<b>Figura 31</b> Bosquejo de vista isométrica a mano .....	<b>76</b>
<b>Figura 32</b> Sólido en 3D de la carrocería .....	<b>77</b>
<b>Figura 33</b> Selección de la fuerza de arrastre .....	<b>77</b>
<b>Figura 34</b> Selección de la fuerza de arrastre en el software.....	<b>79</b>
<b>Figura 35</b> Diagrama de cuerpo libre del vehículo .....	<b>81</b>
<b>Figura 36</b> Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería.....	<b>86</b>
<b>Figura 37</b> Fuerzas presentes en pendiente .....	<b>88</b>
<b>Figura 38</b> Batería cilíndrica de ion-litio 18650.....	<b>95</b>
<b>Figura 39</b> Configuración interna de la batería.....	<b>96</b>
<b>Figura 40</b> Pack de batería.....	<b>97</b>
<b>Figura 41</b> Diagrama de conexión propulsión y control.....	<b>97</b>
<b>Figura 42</b> Convertidor DC-DC.....	<b>99</b>
<b>Figura 43</b> Diagrama de conexión iluminación y auxiliares .....	<b>101</b>
<b>Figura 44</b> Parte trasera de la estructura .....	<b>102</b>
<b>Figura 45</b> Parte delantera de la estructura.....	<b>103</b>
<b>Figura 46</b> Soportes de controlador.....	<b>103</b>
<b>Figura 47</b> Soporte para convertidores de voltaje .....	<b>104</b>
<b>Figura 48</b> Estructura de madera para la carrocería .....	<b>104</b>
<b>Figura 49</b> Masillado de la carrocería.....	<b>105</b>
<b>Figura 50</b> Fondeado y pintado de la carrocería .....	<b>105</b>
<b>Figura 51</b> Acabados de la carrocería .....	<b>106</b>

<b>Figura 52</b> <i>Ensamble motor – eje trasero</i> .....	<b>107</b>
<b>Figura 53</b> <i>Elementos de sujeción del eje al chasis</i> .....	<b>107</b>
<b>Figura 54</b> <i>Ensamble del eje posterior al chasis</i> .....	<b>108</b>
<b>Figura 55</b> <i>Cargador para el vehículo eléctrico</i> .....	<b>109</b>
<b>Figura 56</b> <i>Sistema de suspensión en el vehículo</i> .....	<b>109</b>
<b>Figura 57</b> <i>Modificación de columna de dirección</i> .....	<b>110</b>
<b>Figura 58</b> <i>Sistema de dirección con cremallera</i> .....	<b>111</b>
<b>Figura 59</b> <i>Rótulas de dirección</i> .....	<b>111</b>
<b>Figura 60</b> <i>Neumáticos del vehículo</i> .....	<b>112</b>
<b>Figura 61</b> <i>Frenos de tambor en el vehículo</i> .....	<b>112</b>
<b>Figura 62</b> <i>Pines del controlador electrónico de potencia</i> .....	<b>113</b>
<b>Figura 63</b> <i>Conexiones del control electrónico</i> .....	<b>115</b>
<b>Figura 64</b> <i>Pista 1</i> .....	<b>120</b>
<b>Figura 65</b> <i>Pista 2</i> .....	<b>121</b>
<b>Figura 66</b> <i>Primera prueba: Distancia vs Consumo</i> .....	<b>123</b>
<b>Figura 67</b> <i>Primera prueba: Regresión lineal</i> .....	<b>124</b>
<b>Figura 68</b> <i>Segunda prueba: Distancia vs Consumo</i> .....	<b>127</b>
<b>Figura 69</b> <i>Segunda prueba: Regresión lineal</i> .....	<b>127</b>
<b>Figura 70</b> <i>Tercera prueba: Distancia vs Consumo</i> .....	<b>130</b>
<b>Figura 71</b> <i>Tercera prueba: Regresión lineal</i> .....	<b>131</b>
<b>Figura 72</b> <i>Cuarta prueba: Distancia vs Consumo</i> .....	<b>133</b>
<b>Figura 73</b> <i>Cuarta prueba: Regresión lineal</i> .....	<b>134</b>
<b>Figura 74</b> <i>Condiciones iniciales de la prueba</i> .....	<b>135</b>
<b>Figura 75</b> <i>Ruta establecida para prueba de autonomía</i> .....	<b>136</b>
<b>Figura 76</b> <i>Vehículo realizando la prueba de autonomía</i> .....	<b>136</b>
<b>Figura 77</b> <i>Condiciones finales de la prueba</i> .....	<b>137</b>

<b>Figura 78</b> <i>Gráfico Tiempo-Voltaje</i> .....	<b>145</b>
------------------------------------------------------	------------

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b>	<i>Carga viva</i> .....	<b>52</b>
<b>Ecuación 2</b>	<i>Cargas muertas</i> .....	<b>53</b>
<b>Ecuación 3</b>	<i>Cargas de giro</i> .....	<b>53</b>
<b>Ecuación 4</b>	<i>Carga de frenado</i> .....	<b>54</b>
<b>Ecuación 5</b>	<i>Fuerza de ascenso</i> .....	<b>55</b>
<b>Ecuación 6</b>	<i>Fuerza de fricción</i> .....	<b>56</b>
<b>Ecuación 7</b>	<i>Fuerza aerodinámica</i> .....	<b>56</b>
<b>Ecuación 8</b>	<i>Fuerza de tracción</i> .....	<b>57</b>
<b>Ecuación 9</b>	<i>Potencia calculada en plano horizontal</i> .....	<b>57</b>
<b>Ecuación 10</b>	<i>Potencia en plano horizontal</i> .....	<b>58</b>
<b>Ecuación 11</b>	<i>Distancia rueda – eje de giro</i> .....	<b>59</b>
<b>Ecuación 12</b>	<i>Fuerza normal ruedas delanteras</i> .....	<b>59</b>
<b>Ecuación 13</b>	<i>Momentos rueda delantera</i> .....	<b>60</b>
<b>Ecuación 14</b>	<i>Momentos del timón</i> .....	<b>60</b>
<b>Ecuación 15</b>	<i>Fuerza del piloto sobre el timón</i> .....	<b>60</b>
<b>Ecuación 16</b>	<i>Constante de rigidez</i> .....	<b>62</b>
<b>Ecuación 17</b>	<i>Número de espiras del muelle</i> .....	<b>62</b>
<b>Ecuación 18</b>	<i>Período de oscilación del muelle</i> .....	<b>63</b>
<b>Ecuación 19</b>	<i>Tiempo de frenado</i> .....	<b>64</b>
<b>Ecuación 20</b>	<i>Distancia de frenado</i> .....	<b>64</b>
<b>Ecuación 21</b>	<i>Potencia eléctrica</i> .....	<b>122</b>
<b>Ecuación 22</b>	<i>Consumo calculado</i> .....	<b>122</b>
<b>Ecuación 23</b>	<i>Consumo de carga</i> .....	<b>146</b>

## Resumen

En el presente trabajo de titulación se realizó el diseño y la construcción de un vehículo eléctrico monoplace, investigando información sobre la movilidad eléctrica y los componentes principales de un vehículo eléctrico. Se han diseñado y seleccionado los componentes que forman parte de los distintos sistemas automotrices presentes en el automóvil, iniciando con el sistema de propulsión y seguidamente con los sistemas de frenado, suspensión, dirección y de iluminación y auxiliares. Para el diseño de los sistemas automotrices se utiliza los conceptos de dinámica y estática, así como el dibujo asistido por computador para realizar las simulaciones respectivas de componentes como bastidor y carrocería para obtener datos relevantes que ayuden en la construcción del monoplace. Una vez finalizada la construcción del vehículo, se realizaron pruebas para verificar su correcto funcionamiento, la más importante es la de autonomía que da a conocer la distancia máxima que el monoplace recorrerá con una carga de batería, las otras pruebas corresponden a la medición y obtención de datos de varios parámetros como la velocidad, aceleración, torque, potencia y carga de la batería de alto voltaje; para finalmente realizar un análisis de los datos obtenidos en diferentes condiciones de manejo.

*Palabras clave:* vehículo eléctrico, sistema de propulsión eléctrico, autonomía del vehículo, batería de alto voltaje, pruebas de vehículos eléctricos.



### **Abstract**

In the present degree work, the design and construction of a single-seater electric vehicle was carried out, investigating information on electric mobility and the main components of an electric vehicle. The components that are part of the different automotive systems present in the car have been designed and selected, starting with the propulsion system and then with the braking, suspension, steering, lighting and auxiliary systems. For the design of automotive systems, the concepts of dynamics and statics are used, as well as computer-aided drawing to carry out the respective simulations of components such as frame and bodywork to obtain relevant data that help in the construction of the single-seater. Once the construction of the vehicle was finished, tests were carried out to verify its correct operation, the most important is the autonomy test, which reveals the maximum distance that the car will travel with a battery charge, the other tests correspond to the measurement and obtaining data of various parameters such as speed, acceleration, torque, power and high-voltage battery charge; to finally carry out an analysis of the data obtained in different management conditions.

Keywords: electric vehicle, electric propulsion system, vehicle autonomy, high-voltage battery, electric vehicle testing.

## Capítulo I

### Planteamiento del problema de investigación

#### Antecedentes investigativos

La aparición de vehículos completamente eléctricos aumentó en los últimos años como una alternativa de movilidad más amigable con el medio ambiente, a comparación con los vehículos de combustión interna, ya que los mismos producen emisiones contaminantes menores. Además, es una alternativa más económica, en relación a los combustibles fósiles como la gasolina, que tienen un precio más elevado que la electricidad en el medio en el que vivimos.

Existen diversos tipos de vehículos eléctricos con finalidades distintas, de acuerdo a las necesidades en diversos ámbitos como la agricultura, industria, movilidad de personas de capacidades especiales, transporte público y privado, transporte de carga, entre otros.

“Si bien los autos eléctricos tienen amplias ventajas, ya que son más ecológicos, en comparación de un carro típico que funciona con gasolina o Diesel. Numerosas investigaciones han demostrado que los automóviles ecológicos son más eficientes y, por lo tanto, producen menos emisiones dañinas, incluso se consideran que son las emisiones creadas por las plantas que generan la electricidad.” (KIA, 2017)

“En 2018, los conocidos motores de combustión interna puros (ICE - Internal Combustion Engines) todavía representaban el 95% de todas las matriculaciones de turismos en Europa. Durante los próximos cinco años esta cifra cambiará de manera drástica y los vehículos electrificados supondrán casi la mitad del mercado en 2025 y crecerán hasta alcanzar más del 70% en 2030.” (ARVAL - BPN PARIBAS GROUP, 2020)

Según la normativa NTE INEN 2656, en donde se establece la clasificación de vehículos motorizados y no motorizados de acuerdo a sus características y usos, el vehículo eléctrico propuesto pertenece a la categoría L, subcategoría L6 con el código CMT1 en el que se describe a vehículos de 4 ruedas eléctricos con una potencia máxima de 4 kW.

El Estado ecuatoriano en la Ley Orgánica Reformatoria de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial – Quinto Suplemento en el Artículo 144 establece la promoción del uso de vehículos de cero emisiones, en donde se establecen distintos incentivos para la movilidad eléctrica como por ejemplo, se establece que los vehículos ciento por ciento eléctricos o de cero emisiones podrán circular libremente sin restricción en cualquiera de las modalidades que la autoridad de tránsito local o nacional disponga. Además, de gratuidad en espacios de parqueo público tarifados dentro de la jurisdicción de los Gobiernos Autónomos Descentralizados. (Asamblea Nacional República del Ecuador, 2021)

La normativa alemana denominada Deutsche Industrie Normen (DIN) / Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) 0122, habla sobre los componentes necesarios de un automóvil eléctrico, resumiendo valores nominales y procedimientos de ensayo, además, incluye algunos aspectos relacionados con la seguridad.

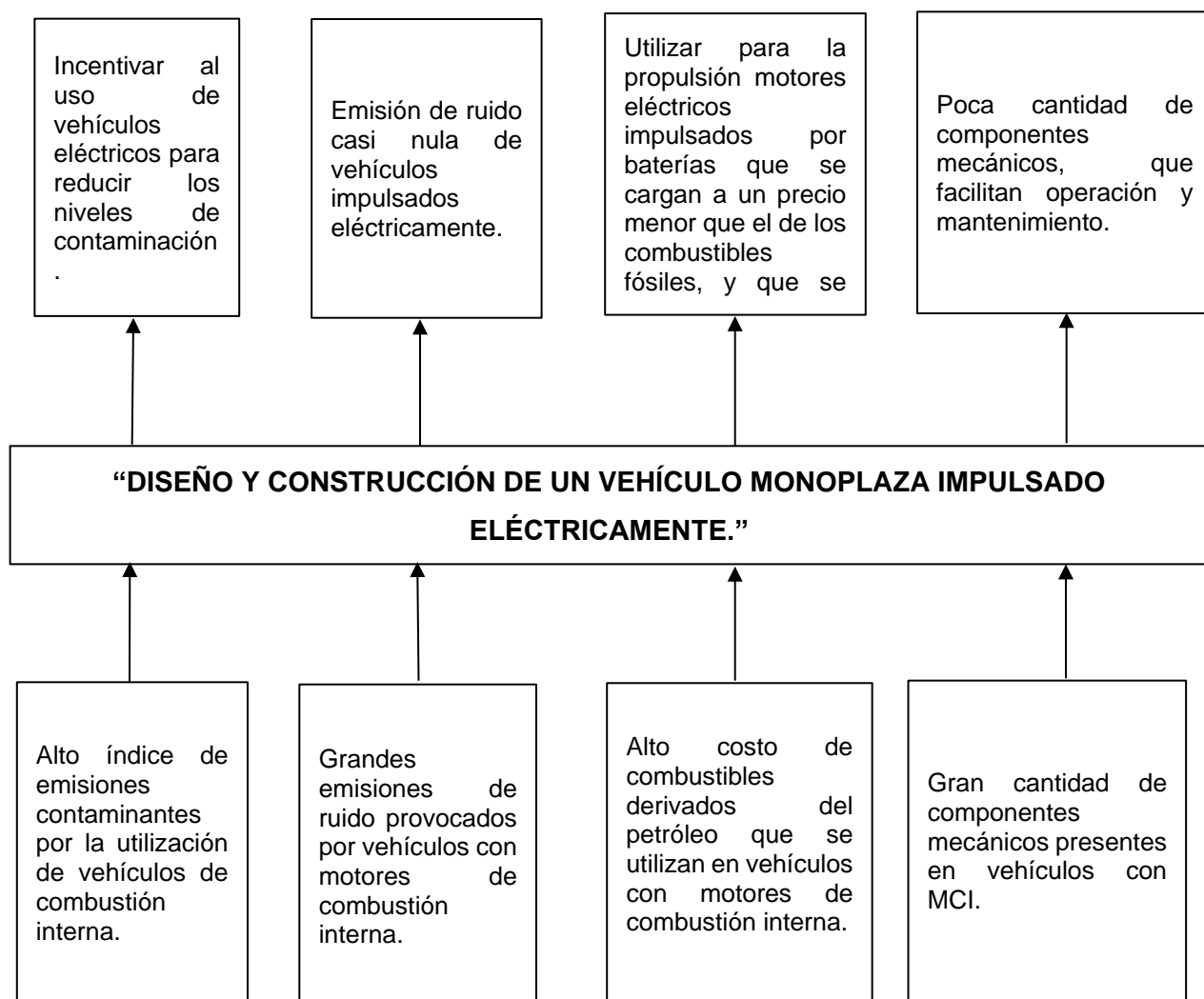
### **Planteamiento del problema**

En los últimos años el número de vehículos matriculados ha incrementado, la mayoría de estos son automotores de combustión interna que funcionan con combustibles derivados del petróleo, lo cual incrementa los niveles de emisiones contaminantes; una alternativa para la reducción de emisiones es la utilización de vehículos impulsados eléctricamente.

Con relación a los combustibles utilizados en vehículos convencionales, el precio de los mismo se encuentra en constante incremento por lo que la utilización de energía eléctrica es una alternativa más económica y que representa un gran ahorro para los usuarios de vehículos eléctricos, además, presenta una alta variedad de fuentes que producen energía eléctrica para poder cargar los automóviles.

Un problema al cual no se le ha dado importancia es la contaminación auditiva que generan los vehículos con motores de combustión interna, lo cual disminuye considerablemente con la utilización de vehículos eléctricos que producen una cantidad de sonido casi nula.

Finalmente, un vehículo eléctrico supone una simplificación mecánica, es decir, la cantidad de componentes utilizados para el funcionamiento del vehículo disminuye de manera significativa, además, los costos de operación y mantenimiento se ven reducidos comparado con los MCI, lo cual ayuda a aumentar la eficiencia.

**Figura 1***Árbol de problemas*

A fin de implantar las posibles soluciones a la problemática expuesta se propone el diseño y construcción de un vehículo monoplaza impulsado eléctricamente.

La presente investigación se desarrollará mediante el modelado del vehículo, así como, el proceso de construcción e implementación de los diferentes sistemas que componen al monoplaza eléctrico.

### **Descripción resumida de proyecto**

La presente investigación del “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO MONOPLAZA IMPULSADO ELÉCTRICAMENTE.”, considera lo siguiente:

Se fundamentará de una manera teórica y científica utilizando fuentes bibliográficas confiables como bases de datos digitales, libros, manuales y artículos científicos referentes a movilidad eléctrica y sistemas automotrices.

Se realizará el modelado del vehículo mediante sistemas computacionales basados en el Código de Dibujo Técnico-Mecánico CPE INEN 003, con la finalidad de dimensionar la estructura que soportará los elementos automotrices implementados en conjunto con el conductor del vehículo. Posteriormente la simulación correspondiente para comprobar que soporte las distintas cargas presentes en su funcionamiento.

Se efectuará el diseño de los distintos sistemas automotrices presentes en el vehículo propuesto, mediante cálculos que permitan obtener datos dimensionales de los mismos para posteriormente poder seleccionar de manera correcta cada uno de los componentes necesarios para el adecuado funcionamiento del vehículo.

Se realizará la selección y modificación del chasis del vehículo mediante la utilización de los planos obtenidos en el modelado y con el uso de los materiales correspondientes que permitan obtener una estructura rígida y que cumpla con las características comprobadas anteriormente mediante simulación.

Seleccionar los componentes de los distintos sistemas automotrices presentes en el vehículo tales como: sistema de frenos, sistema de suspensión, sistema de dirección, sistema

de propulsión y sistema de iluminación y auxiliares; comprobando que cumplan con las especificaciones obtenidas mediante el diseño.

Implementar los componentes seleccionados de cada sistema en el chasis del vehículo para que en conjunto den el funcionamiento correcto al vehículo monoplaza eléctrico y cumpla con las exigencias requeridas.

Se realizará un protocolo de pruebas con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del vehículo eléctrico en el que considere: autonomía, velocidad máxima y salida en pendiente. Se aplicará distintas rutas de prueba con condiciones diferentes para poder recolectar datos de la autonomía del vehículo en cantidad de kilómetros tomando en cuenta parámetros como peso, irregularidad del terreno y el entorno de movilización.

### **Justificación e importancia**

El desarrollo de este proyecto se enfoca en el diseño de un vehículo monoplaza totalmente eléctrico que permita la movilización cotidiana, así como en la utilización de propulsión eléctrica como una alternativa a los motores de combustión interna con el fin de disminuir las emisiones contaminantes, el alto nivel de ruido y el costo cambiante del combustible de estos últimos.

La utilización de vehículos eléctricos se considera como una alternativa futura de movilidad terrestre; ya que en los últimos años se ha tratado de disminuir emisiones contaminantes, por lo que aparece esta alternativa que es más amigable con el medio ambiente.

## **Objetivos del proyecto**

### ***Objetivo general***

Diseñar y construir un vehículo monoplaza propulsado eléctricamente que sirva para la movilización cotidiana en entornos urbanos.

### ***Objetivos específicos***

- Fundamentar de manera teórica y científica el diseño y construcción de un vehículo eléctrico.
- Realizar el modelado del monoplaza con su respectiva simulación de cargas presentes en la estructura para comprobar que no existan deformaciones excesivas y su funcionamiento sea adecuado.
- Efectuar el diseño de los distintos sistemas automotrices presentes en el vehículo mediante cálculos matemáticos para obtener datos dimensionales de sus componentes.
- Construir el vehículo eléctrico mediante la utilización de los materiales adecuados que proporcionen la seguridad necesaria y que cumplan con las características obtenidas mediante simulación.
- Seleccionar los componentes de los distintos sistemas automotrices con las características adecuadas para cumplir con los datos obtenidos mediante el diseño.
- Implementar los componentes seleccionados en el vehículo eléctrico.
- Realizar pruebas de autonomía del vehículo eléctrico en distintos entornos.

### **Metas**

- Evaluar el diseño realizado mediante simulación y obtener datos de las cargas presentes.
- Seleccionar los componentes de cada sistema presente en el vehículo tomando en cuenta los datos obtenidos mediante cálculos matemáticos.



- Ensamblar los componentes de cada sistema automotriz en el vehículo, para que funcione correctamente.
- Obtener un monoplaza impulsado eléctricamente que sea seguro para el ocupante cumpliendo las normativas para vehículos eléctricos.
- Comprobar la autonomía del vehículo eléctrico poniéndolo a prueba en distas rutas, así como su velocidad máxima y el consumo del mismo.

### **Hipótesis**

¿El vehículo eléctrico monoplaza alcanzará una autonomía de 60 kilómetros con una sola carga y circulando a distintas velocidades en diferentes entornos variando el peso del conductor?

### **Variables de investigación**

Para el proyecto de investigación se aplicará las variables como son: variables dependientes y variables independientes.

- **Variables Independientes:**

Diseño y construcción de un vehículo monoplaza impulsado de manera eléctrica.

**Tabla 1***Variable Independiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Para comprobar el correcto funcionamiento del vehículo monoplaza eléctrico se realizan diferentes pruebas para cada uno de sus sistemas automotrices.	Pruebas del vehículo	Distancia	$m$	Medición	Protocolos de prueba
		Tiempo	$\frac{s}{min}$ $h$	Medición	Protocolos de prueba
		Velocidad	$\frac{km}{h}$	Medición	Protocolos de prueba
		Torque	Nm	Medición Cálculos	Protocolos de prueba
		Potencia	W	Medición Cálculos	Protocolos de prueba
		Consumo de energía	kW	Medición	Protocolos de prueba

- **Variables Dependientes:**

La autonomía del vehículo eléctrico monoplaza al movilizarse por distintos entornos.

**Tabla 2***Variable Dependiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Los vehículos propulsados eléctricamente poseen una autonomía que depende principalmente de los componentes eléctricos como la batería y los motores.	Carga del vehículo	Tensión	V	Medición Cálculos	Pruebas de campo Voltímetro
		Intensidad	A	Medición Cálculos	Pruebas de campo Amperímetro
		Capacidad	A-h	Medición Cálculos	Pruebas de campo Amperímetro Cronómetro
		Tiempo de carga	s min h	Medición Cálculos	Prueba de campo Cronómetro
	Sistema de propulsión	Motores Baterías	DC	Medición	Pruebas de campo
	Sistemas automotrices	Estructura y carrocería	Material	Simulación	Pruebas en software Computador

**Metodología del desarrollo del proyecto**

- **Método Bibliográfico**

Durante el desarrollo del proyecto de investigación se utilizarán fuentes bibliográficas, mediante las cuales se conseguirá información acerca de la utilización de herramientas digitales para el diseño 2D y 3D basadas en el Código de Dibujo Técnico-Mecánico CPE INEN 003. También con el fin de recabar información sobre vehículos eléctricos y su funcionamiento para poder realizar el monoplaza de una manera correcta.

Además, se utilizará la normativa NTE INEN 2656 en donde se establece la clasificación de vehículos motorizados y no motorizados de acuerdo a sus características y usos. También se tomará en cuenta la normativa alemana Deutsche Industrie Normen (DIN) / Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) 0122, la cual habla sobre los componentes necesarios de un automóvil eléctrico, resumiendo valores nominales y procedimientos de ensayo, además, incluye algunos aspectos relacionados con la seguridad.

- **Método Analítico**

El método analítico permitirá analizar los distintos parámetros correspondientes a los sistemas automotrices presentes en el monoplaza con el fin de obtener datos matemáticos que ayuden a la correcta selección de los componentes necesarios para el funcionamiento del vehículo.

- **Método Inductivo**

Con este método se logrará obtener un monoplaza que tenga una impulsión eléctrica a través del diseño de los sistemas automotrices necesarios y la correcta selección de componentes que ayuden a que el vehículo tenga la mejor eficiencia posible.

- **Método Experimental**

Realizar pruebas de campo que permitan verificar el funcionamiento del vehículo al desplazarse por distintos entornos urbanos, tomando datos de la autonomía que posee el vehículo.

- **Método Sintético**

Con la utilización de este método se expondrán los datos recolectados referentes a autonomía y eficiencia del monoplaza. Estos permitirán obtener conclusiones acerca del desenvolvimiento del monoplaza en las diferentes rutas en las que se pondrá a prueba.

## Capítulo II

### Fundamento teórico

#### Historia de vehículos eléctricos

Los autos eléctricos tuvieron un buen comienzo a mediados del siglo XIX, con autos llamados La Jamais Contente que superaban el límite de 100 km/h, pero pronto se hicieron evidentes algunos límites y los autos eléctricos se llamaron convertidos. Por ejemplo, baja autonomía y largos tiempos de carga. La velocidad media de un vehículo eléctrico normal era de unos 20 km/h y el tiempo de carga de unos 50 km. Estas limitaciones favorecieron el desarrollo de los motores de combustión interna. (TECMOVIA, 2011)

#### Figura 2

*La Jamais Contente*



*Nota.* La figura muestra uno de los primeros prototipos eléctricos perteneciente al siglo XIX.

Tomado de (Car Styling, 2017)

En el siglo XX, la popularidad de los vehículos eléctricos disminuyó significativamente debido a las ventajas de los motores de combustión interna. Dicho esto, parece que el potencial de los vehículos eléctricos aún no se ha agotado. La guerra y la crisis del petróleo sirvieron como oportunidad para replantear la investigación en propulsión con motores eléctricos, sensibilizando a las grandes potencias sobre los riesgos de volverse dependientes del petróleo para su propulsión. Por estas razones, se han formado en todo el mundo organizaciones como el Electric Vehicle Council en los EE. UU., Tokyo Electric Power Co. en Japón, el Electricity

Council en el Reino Unido y Reinisch Westfelische Elektrizitwerk en Alemania (TECMOVIA, 2011).

En 1995, se firmó una asociación entre los fabricantes de automóviles Peugeot y Citroën para desarrollar un vehículo totalmente eléctrico. El resultado fueron los modelos Peugeot 106 y Citroen Saxo. No tuvieron éxito por su baja autonomía y rango de 60 km a 80 km debido a las baterías de níquel-cadmio. A fines del siglo XX, las baterías que podrían usarse para desarrollar autos eléctricos dependían del níquel o el plomo. Debido a que no tenían suficiente energía, limitaron la distancia que el automóvil podía recorrer sin recargar (TECMOVIA, 2011).

### **Figura 3**

*Peugeot 106 eléctrico*



*Nota.* La figura muestra el modelo 106 eléctrico de la marca Peugeot del año 1995. Tomado de (Hum, 2017)

En la década de 1990, se introdujo el uso de baterías de litio en el diseño de vehículos totalmente eléctricos. Estas baterías no fueron invención de los vehículos eléctricos, ya que se habían utilizado en la electrónica en el pasado, pero su importación al automovilismo fue un gran paso adelante, es más seguro y se ha podido extender la autonomía de los vehículos eléctricos a un rango de 150 km a 300 km según el modelo. También creen que se subestimó

la importancia del uso del hidrógeno como fuente de energía, generando una mayor autonomía (TECMOVIA, 2011).

Varias compañías ya han desarrollado varios autos exitosos este siglo, incluida una compañía llamada Tesla Motors, fundada en Silicon Valley en 2003 que ha venido desarrollando vehículos completamente eléctricos que compiten como autos coupé de lujo de alto rendimiento, con una autonomía de más de 370 km. En los últimos años, otras empresas han desarrollado varios modelos, aumentando su autonomía (HYE, 2021).

#### **Figura 4**

*Tesla Modelo S*



*Nota.* La figura muestra un vehículo Tesla modelo S, que pertenece a la generación más actual de vehículos eléctricos. Tomado de (Ramos, 2021)

#### **Componentes del vehículo eléctrico**

Los vehículos eléctricos tienen un número mínimo de piezas básicas para operar en comparación con los motores de combustión interna. Algunas de estas piezas esenciales para el funcionamiento electromecánico de los automóviles son:

## **Cargador**

Un cargador de vehículo o controlador de carga convierte la energía de CA extraída de un punto de carga (tomacorriente trifásico o monofásico) en energía de CC para cargar la batería del vehículo (ENDESA, s.f.).

### **Figura 5**

*Cargador de vehículo eléctrico*



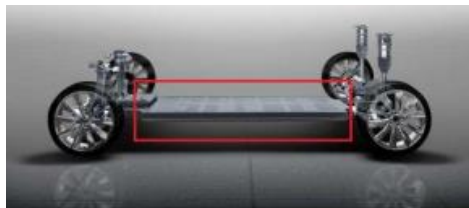
*Nota.* La figura muestra el cargado de un vehículo eléctrico con sus componentes más importantes. Tomado de (Zapata, 2020)

## **Batería**

Hay diferentes tipos de baterías, hay baterías de iones de litio. Las baterías de iones de litio suelen ser mejores porque pueden entregar más potencia y dar más autonomía al automóvil. También los hay de plomo y níquel, que son menos fuertes, pero más baratos (Artés, 2012).

La batería es la encargada de almacenar la energía absorbida por el controlador de carga y puede o no estar conectada directamente al motor, según el tipo de motor utilizado. Para los motores de CC, la batería se conecta directamente y para los motores de CA, la batería se conecta al inversor (ENDESA, s.f.).



**Figura 6***Batería de un Tesla Modelo S*

*Nota.* La figura muestra la batería de un Tesla Modelo S, considerada de las más potentes en la actualidad. Tomado de (Payá, 2014)

**Conversor**

El convertidor es responsable de cargar la batería auxiliar de 12 V del vehículo, que se utiliza para alimentar los componentes eléctricos y electrónicos auxiliares del vehículo, como el aire acondicionado, la radio y la pantalla táctil. Para ello, convierte el alto voltaje de la batería principal en un bajo voltaje de CC. (ENDESA, s.f.).

**Figura 7***Conversor de vehículo eléctrico*

*Nota.* Conversor presente en vehículos eléctricos. Tomado de (Villavicencio, 2019)

**Inversor**

Los inversores u onduladores son piezas imprescindibles a la hora de utilizar motores AC en los vehículos. Esta parte del funcionamiento electromecánico del automóvil se encarga de suministrar energía desde la batería al motor. Una batería solo puede suministrar un voltaje

constante, por lo que se necesita un dispositivo para ajustar el voltaje suministrado al motor de acuerdo con las necesidades del conductor. Los motores a menudo funcionan con CA, monofásicos o trifásicos, que no pueden alimentarse directamente de una batería. Otra función importante es que también se encarga de cargar la batería cuando el motor actúa como generador a través del frenado mecánico o regenerativo (Josean, 2012).

"En todos los vehículos eléctricos, cuando se quita el pie del acelerador, el motor eléctrico cambia de fase y se convierte en un generador, cuya energía se recupera y almacena en la batería" (Sánchez, 2016).

### **Figura 8**

*Inversor de Tesla Modelo S*



*Nota.* En la ilustración se observa el inversor utilizado por la marca Tesla en sus modelos eléctricos. Tomado de (PntPower, 2015)

### ***Motor Eléctrico***

Hay motores de CA y motores de CC en los vehículos eléctricos, y el funcionamiento del vehículo difiere según el motor que se utilice. Como antes, si es DC, el motor está conectado directamente a la batería, de lo contrario, está conectado al inversor. La de CA se utiliza principalmente.

Los desarrollos tecnológicos recientes han posicionado los motores de corriente alterna (CA) sobre los motores de CC debido a sus ventajas de alta eficiencia, alta densidad de potencia, bajo costo, alta confiabilidad y bajos requisitos de mantenimiento. Los motores de CA son más atractivos debido a su alta confiabilidad y operación libre de mantenimiento. son importantes a la hora de conducir. La clasificación de los motores de vehículos eléctricos se divide en dos grupos: con conmutador y sin conmutador, pero tenga en cuenta que los motores de CA con conmutadores ya no se utilizan en esta aplicación (Palafox, 2009).

### Figura 9

*Motor AC Trifásico de un Tesla Modelo S*

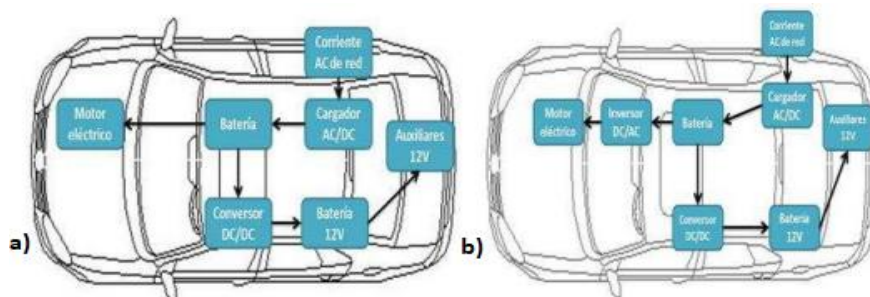


*Nota.* En la ilustración se observa el motor trifásico utilizado por la marca Tesla en sus modelos eléctricos. Tomado de (Murias, 2019)

A continuación, se muestra esquemas de vehículos con motor eléctrico AC y DC

### Figura 10

*Esquema de vehículo eléctrico*



*Nota.* a) Esquema general de los componentes de un vehículo eléctrico con motor de CA. y b) Esquema general de los componentes de un vehículo eléctrico con un motor de CD. Tomado de (ENDESA, 2019)

### **Tipos de vehículos eléctricos**

Hay varios tipos diferentes de vehículos eléctricos. (EEA, 2018) incluyendo:

- Los vehículos eléctricos de batería (BEV) funcionan únicamente por un motor eléctrico, utilizando la electricidad almacenada en una batería a bordo.
- Los vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV) se alimentan por un motor eléctrico y uno de combustión interna motor que funcionan juntos o por separado.
- Los vehículos eléctricos de autonomía extendida (REEV) tienen una configuración híbrida en serie en la que su motor de combustión interna no tiene vínculo directo con las ruedas. En cambio, el motor de combustión actúa como un generador de electricidad y se utiliza para alimentar el motor eléctrico o recargar la batería cuando esté baja. La batería también se puede cargar desde la red.
- Los vehículos eléctricos híbridos (HEV) combinan un motor de combustión y un motor eléctrico que ayuda al motor convencional, por ejemplo, durante la aceleración del vehículo.
- Los vehículos eléctricos de pila de combustible (FCEV) son totalmente propulsado por electricidad. La energía eléctrica es proporcionada por una pila de celdas de combustible que utiliza hidrógeno de un tanque a bordo combinado con oxígeno del aire.

## Movilidad eléctrica

Los nuevos avances en la electrónica, la mejora de las baterías eléctricas, el alto costo de los combustibles, el compromiso de reducir las emisiones de CO2 ha hecho que en la actualidad se comercialicen más vehículos eléctricos que hace 5 años, Existen gobiernos que incentivan la movilidad eléctrica y para reducir el costo de adquisición no cobran impuestos. Hay ciudades donde existen flotas de taxis y buces eléctricos, todo esto incentiva a reemplazar los MCI por coches con motores eléctricos.

### Figura 11

*Vehículos eléctricos actuales*



*Nota.* En la figura se visualiza un buggy eléctrico actual que tiene una potencia excepcional y una eficiencia nunca antes vista en este tipo de vehículos. Tomado de (Sanz, 2017)

### ***Tecnologías actuales en baterías***

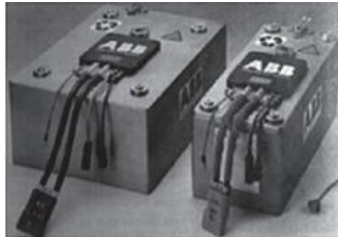
La batería del vehículo eléctrico es la fuente de energía de ella depende la autonomía por eso las investigaciones van con el fin de las mejoras para aumentar los ciclos de carga y descarga, recarga rápida y eficiente, resista las temperaturas, densidad energética, costes adecuados, fiabilidad entre otros factores. (Rodríguez & Chacón, 2015)

En la actualidad las baterías que se ocupan más en las industrias de todo tipo son las de Litio-ion, se ocupa también para la fabricación es su mayoría baterías de vehículos

eléctricos puesto que presentan mayor energía específica, potencia y fiabilidad. (Rodríguez & Chacón, 2015)

### **Figura 12**

*Batería para vehículos eléctricos*



*Nota.* En la ilustración se muestran las baterías utilizadas actualmente. Tomado de (Rodríguez & Chacón, 2015)

### **Motores eléctricos trifásicos**

Los motores más utilizados hoy en día para la propulsión de vehículos eléctricos es el motor síncrono de corriente alterna con imanes permanentes, este motor se denomina síncrono ya que al estar en funcionamiento la velocidad del rotor es igual en sus tres fases. Está constituido por dos partes el rotor con sus imanes permanentes y el estator con bobinas. (Vargas, 2016)

**Estator:** Está constituido por un paquete de placas laminadas con ranuras para conseguir una buena conductividad magnética, a través de estos pasan hilos de cobre para formar el bobinado que con el principio de electromagnetismo fluye la corriente y se genera el campo magnético. (ELECTUDE, 2020)

**Rotor:** Está formado por imanes que crean un campo magnético fijo que al interactuar con el campo magnético cambiante del bobinado se producen fuerzas magnéticas que mueven

al rotor con cierta velocidad dependiendo de la frecuencia de la onda de pulso o de torque dependiendo del voltaje. (ELECTUDE, 2020)

### **Figura 13**

*Partes del motor eléctrico trifásico*



*Nota.* La figura muestra las partes que componen un motor eléctrico trifásico. Tomado de (ELECTUDE, 2020)

### **Controladores de motores eléctricos**

Todo motor de vehículo necesita un controlador para poder arrancar, parar, protección contra sobrecargas, cambio de velocidades, aumento de torque, regeneración de energía, el mismo puede a su vez controlar uno a más motores. Esto lo logra a través de control computacional, utilizando transistores de alta frecuencia para convertir la corriente continua de las baterías en pulsos que permitan crear campos magnéticos con ciertas frecuencias para producir movimiento en el motor eléctrico. (NewArk, 2019)

### **Figura 14**

*Controlador de motor eléctrico*



*Nota.* En la ilustración se visualiza el controlador del motor eléctrico utilizado en los vehículos.

Tomado de (Newark, 2018)

### ***Sistema de carga***

El sistema de carga es el encargado de utilizar la red de energía eléctrica alterna de 115V para cargar a las baterías, el cargador tiene la capacidad para controlar la corriente y el voltaje dependiendo de las características de la batería.

### **Figura 15**

*Sistema de carga de vehículo eléctrico*



*Nota.* La ilustración muestra un vehículo eléctrico utilizando su sistema de carga en una estación de servicio. Tomado de (Alké, 2020)

### **Sistemas automotrices de un monoplaza**

En primer lugar, hay que tener en claro lo que es un monoplaza; los vehículos pueden clasificarse según la cantidad de personas que pueden transportarse en su interior, por lo que, al hablar de monoplaza, se refiere a un vehículo en donde solo puede ingresar una persona, lo cual es reflejado en la Real Academia Española (RAE), que define a un monoplaza como un vehículo que tiene una sola plaza.

Estos monoplazas, no se distinguen grandemente de un vehículo convencional, por lo que poseen varios sistemas automotrices que ayudan a que el mismo funcione correctamente,



y brinde las comodidades necesarias a su ocupante, por lo que se presentan los siguientes sistemas:

### ***Sistema de chasis***

El chasis es considerado el esqueleto de un vehículo, ya que es el encargado de soportar los “órganos” del mismo, como pueden ser el motor, suspensión, dirección, ruedas, frenos, entre otros; además, que aporta el sostén, la rigidez y da forma al vehículo. También, es importante porque recibe todas las cargas y esfuerzos presentes en el vehículo. (Volkswagen, 2016)

### **Figura 16**

*Chasis de un vehículo*



*Nota.* En la ilustración se visualiza el chasis de un vehículo de la marca Volkswagen. Tomado de (Volkswagen, 2016)

### **Materiales utilizados para la fabricación de estructuras**

Para poder elegir correctamente el material para fabricar la estructura que soporta a un vehículo, se debe tomar en cuenta varios aspectos como la seguridad, el peso, la economía y las cargas que soporta el vehículo, por lo que algunos materiales que cumplen con estas exigencias son los más utilizados, los cuales son los siguientes:

- **Acero:**

Este material es uno de los más demandados, ya que brinda las ventajas necesarias para este tipo de estructuras como son: la resistencia térmica, química o mecánica, y la eficiencia en su fabricación y durabilidad. Además, existe un sinnúmero de tipos de aceros con aleaciones que tiene prestaciones diferentes que facilitan su elección como material para el chasis de un vehículo. (Mitsubishi Motors, 2020)

### **Figura 17**

*Acero utilizado en chasis*



*Nota.* En la figura se puede observar un tipo de acero que se ocupa comúnmente en la fabricación de chasis automotrices. Tomado de (Miranda, 2022)

#### **- Aluminio:**

Este material se ha convertido en uno de los más utilizados, ya que sus características como su bajo peso, su alta absorción de energía y su resistencia, le dan ventaja para este tipo de estructuras. Además, su característica más llamativa es su resistencia a la corrosión.

(Mitsubishi Motors, 2020)

**Figura 18**

*Aluminio utilizado en chasis*



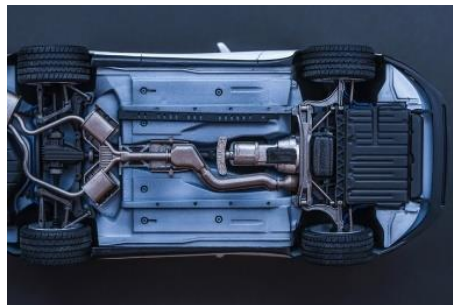
*Nota:* En la figura se puede observar un tipo de aluminio que se ocupa comúnmente en la fabricación de chasis automotrices. Tomado de (Mitsubishi Motors, 2020)

- **Magnesio:**

El magnesio es un metal ligero que está ganando mucho campo en el área de estructuras automotrices, esto gracias a que es más ligero en un 33% que el aluminio y un 75% comparado con acero y sus derivados. Una de sus desventajas es que tiene menores valores en sus características en comparación con el aluminio, por lo que tiene que alearse con otros componentes para poder mejorar estas propiedades. (Mitsubishi Motors, 2020)

**Figura 19**

*Magnesio utilizado en chasis*



*Nota.* En la ilustración se puede observar un chasis fabricado con magnesio. Tomado de (Mitsubishi Motors, 2020)

### **Cálculos estructurales**

Para poder realizar el diseño de un chasis, en primer lugar, se debe tener en cuenta las masas principales que afectan directamente el comportamiento dinámico del vehículo, en un monoplaza, la masa del ocupante es sumamente importante, en conjunto con el peso de los componentes de la propulsión y de los demás sistemas automotrices presentes. (Aguirre , Hidalgo, Panamá, Padilla , & Veintimilla, 2014)

Una vez identificadas las masas, se procede a calcular las cargas a las que se somete el chasis, las cuales se describen a continuación:

- **Cargas vivas:**

Son consideradas como cargas de ocupación, y están distribuidas uniformemente en la estructura del chasis. (Faicán, 2018)

Para poder obtener el valor de la carga viva, se deben sumar las masas de todos los componentes que va a soportar el chasis como son:

- La masa del ocupante.
- Masa de componentes no fijos que pueden estar o no al momento de poner en marcha el vehículo.

Una vez obtenida la masa, se procede al cálculo de la carga viva mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 1** *Carga viva*

$$CV = M_o * N * G$$

*Donde:*

$M_o$  = Masa del ocupante (kg)

$N = \text{Número de ocupantes (será igual a 1 al ser un monoplaza)}$

$G = \text{Gravedad } \left(\frac{m}{s^2}\right)$

- **Cargas muertas:**

Son las cargas constantes que representan el peso de la propia estructura y algunos componentes que van a estar fijos a la misma permanentemente. (Faicán, 2018)

Se suman las masas de la estructura, de los componentes de los sistemas automotrices y de los componentes auxiliares. Luego se realiza el cálculo de carga muerta con la siguiente ecuación:

**Ecuación 2** *Cargas muertas*

$$CM = M_C * G$$

Donde:

$M_C = \text{Masa total estructura (kg)}$

$G = \text{Gravedad } \left(\frac{m}{s^2}\right)$

- **Cargas de giro:**

Es la que se genera cuando el vehículo gira, se debe calcular mediante la fuerza centrífuga generada al circular por una curva. Para realizar el cálculo de la carga de giro, se ocupa la siguiente ecuación:

**Ecuación 3** *Cargas de giro*

$$CG = \frac{m * v^2}{r_c}$$

Donde:

$m = \text{Masa total (kg)}$

$v = \text{Velocidad del vehículo } \left(\frac{m}{s}\right)$

$r_c = \text{Radio de curvatura (m)}$

Para poder elegir el radio de curvatura se debe utilizar la tabla proporcionada y elegir tomando en cuenta la velocidad del vehículo, como se ve en la siguiente figura:

**Figura 20**

*Parámetros para cálculo de cargas de giro*

Grupo 1 Aeropistas, autovías, vías rápidas y carreteras C-100			Grupo 2 Carreteras C-80, C-60 y C-40		
$v$ (km/h)	$r$ (m)	$p$ (%)	$v$ (km/h)	$r$ (m)	$p$ (%)
80	250	8,00	40	50	7,00
85	300		45	65	
90	350		50	85	
95	400		55	105	
100	450		60	130	
105	500		65	155	
110	550		70	190	
115	600		75	225	
120	700		80	265	
125	800		7,51	85	
130	900	6,97	90	350	
135	1050	6,25	95	410	6,50
140	1250	5,49	100	485	5,85
145	1475	4,84	105	570	5,24
150	1725	4,29	110	670	4,67

*Nota.* La figura muestra los parámetros necesarios para el cálculo las cargas de giro presentes en un vehículo. Tomado de (Wikivia, 2010)

- **Carga de frenado:**

Es la fuerza que se produce por el frenado del vehículo, se calcula de la siguiente manera:

**Ecuación 4** *Carga de frenado*

$$CF = M_t * a_1$$

Donde:

$$M_t = \text{Masa total} = \text{Masa carrocería} + \text{Masa de ocupante (kg)}$$

$$a_1 = \text{Desaceleración, debe ser mayor o igual a } 4 \frac{m}{s^2}$$

### **Sistema de propulsión**

El sistema de propulsión de un vehículo es el encargado de generar la energía suficiente para poder mover el vehículo sin ninguna complicación. Al ser un vehículo eléctrico, los principales componentes del sistema son los motores eléctricos y las baterías junto con los componentes de control de los mismos. (Henkel, 2021)

### **Fuerzas presentes en pendiente**

Para realizar el diseño del sistema de propulsión se debe tener en cuenta las fuerzas que actúan sobre el vehículo al momento de su funcionamiento, por lo que es importante saber el valor de cada una para poder seleccionar correctamente el sistema propulsor que vencerá dichas fuerzas.

Para esto, se utiliza la Segunda ley de Newton en donde la sumatoria de todas fuerzas en el eje X, deberá ser igual a la masa del vehículo por la aceleración del mismo.

#### **- Fuerza de ascenso ( $F_h$ )**

Es la fuerza que actúa a lo largo de la pendiente en el eje X, para esto se debe tomar en cuenta el peso total del vehículo incluido el ocupante. Se expresa de la siguiente manera:

#### **Ecuación 5 Fuerza de ascenso**

$$F_h = m \cdot g \cdot \sin \theta$$

Donde:

$$m = \text{Masa total (kg)}$$

$g = \text{Aceleración de la gravedad } \left(\frac{m}{s^2}\right)$

$\theta = \text{Ángulo de inclinación de la pendiente en grados}$

En ángulo de inclinación de pendiente se expresa en porcentaje y en grados, esta se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Grados } (\theta^\circ) = \arctan\left(\frac{\text{Pendiente } (\%)}{100}\right)$$

Todo vehículo impulsado eléctricamente, debe subir por lo menos pendientes del 15% considerando una conducción normal de desplazamiento. (Rosero & López, 2018)

- **Fuerza de fricción ( $F_r$ )**

Es la fuerza que se opone al movimiento tomando en cuenta la superficie por la que se desplaza el vehículo y los neumáticos del mismo. Se expresa de la siguiente manera:

**Ecuación 6** *Fuerza de fricción*

$$F_r = \mu_{c-a} \cdot m \cdot g \cdot \cos \theta$$

Donde:

$\mu_{c-a} = \text{Coeficiente de rodadura caucho – asfalto (0.015)}$

- **Fuerza aerodinámica ( $F_{ad}$ )**

Esta fuerza es el resultado del movimiento del vehículo a través del aire, la cual actúa sobre la sección transversal del vehículo eléctrico. Se calcula con la siguiente ecuación:

**Ecuación 7** *Fuerza aerodinámica*

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

Donde:



$$\rho = \text{Densidad del aire} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$A = \text{Área frontal} (\text{m}^2)$$

$$C_d = \text{Coeficiente de arrastre}$$

$$V = \text{Velocidad del vehículo} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **Fuerza de tracción eléctrica ( $F_t$ )**

Esta fuerza es la que produce el movimiento, es decir, la que debe generar el sistema de propulsión para impulsar el monoplaza. Se expresa de la siguiente manera:

**Ecuación 8** *Fuerza de tracción*

$$F_t = (m \cdot a) + F_r + F_h + F_{ad}$$

Donde:

$$a = \text{Aceleración del vehículo} \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

**Potencia del motor**

Luego de obtener los valores de las fuerzas presentes en el vehículo se procede a calcular la potencia requerida por el motor, esto se realizará en dos escenarios, el primero en un plano horizontal y el segundo en pendiente.

- **Cálculo de potencia en plano horizontal**

Para calcular esta potencia, se suprime el valor de la fuerza de ascenso, además, del ángulo de inclinación de la pendiente.

**Ecuación 9** *Potencia calculada en plano horizontal*

$$P_{calculada} = F_t \cdot V_{max}$$

Donde:

$$F_t = (m \cdot a) + F_r + F_{ad}$$

Entonces la potencia del motor en plano horizontal es:

**Ecuación 10** *Potencia en plano horizontal*

$$P_{motor} = \frac{P_{calculada}}{n}$$

*Donde:*

*n = Eficiencia del motor*

Cabe destacar que los motores eléctricos tienen una eficiencia entre el 80% y 90% debido a que se producen pérdidas de energía.

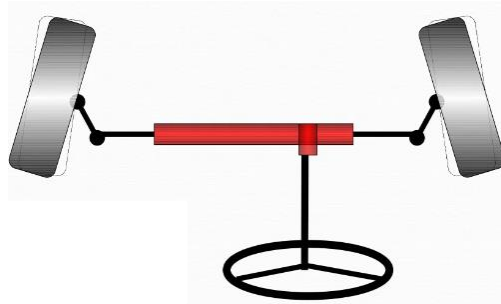
**- Cálculo de potencia en pendiente**

Se aplica las ecuaciones 9 y 10, tomando en cuenta la fuerza de ascenso anteriormente especificada, por lo que la potencia aumentaría por el desempeño del motor.

***Sistema de dirección***

El sistema de dirección tiene la misión de orientar las ruedas para poder controlar la dirección hacia la que debe circular el vehículo mediante la acción del conductor. (Aguirre , Hidalgo, Panamá, Padilla , & Veintimilla, 2014)

Los componentes principales de este sistema son: volante, columna de dirección, varillas y rótulas de dirección y manguetas.

**Figura 21***Sistema de dirección mecánica*

*Nota.* La figura muestra el sistema de dirección básico para un vehículo automotriz. Tomado de (Reyes, 2012)

Para el diseño de la dirección se realizan los siguientes cálculos:

- Se empieza con el cálculo de la distancia del punto medio de contacto de la rueda al eje de giro.

**Ecuación 11** *Distancia rueda – eje de giro*

$$x = \sqrt{SR^2 + MT^2}$$

*Donde:*

*SR = Camber*

*MT = Caster*

- A continuación, se calcula la fuerza normal en las ruedas delanteras.

**Ecuación 12** *Fuerza normal ruedas delanteras*

$$Nf = m * g * f$$

*Donde:*

*m = Masa del vehículo con piloto*

*g = Aceleración de la gravedad*

*f = Repartimiento del peso en el eje delantero*

- Se realiza la suma de momentos de la rueda delantera.

**Ecuación 13** *Momentos rueda delantera*

$$Mr = Nf * \mu * x$$

Donde:

$\mu$  = *Coeficiente de fricción del neumático*

- Se procede a calcular el momento del timón.

**Ecuación 14** *Momentos del timón*

$$Mv = \frac{Mr}{i}$$

Donde:

$i$  = *Relación entre el giro del volante y las dos ruedas*

- Finalmente, se calcula la fuerza que debe ejercer el piloto sobre el timón.

**Ecuación 15** *Fuerza del piloto sobre el timón*

$$Fv = \frac{Mv}{dv}$$

Donde:

$dv$  = *Longitud del timón*

**Sistema de suspensión**

Se denomina suspensión al conjunto de elementos que se interponen entre las ruedas y el habitáculo. Su misión es mantener las ruedas en todo momento en contacto con el terreno y conseguir que el habitáculo se desplace lo menos posible en cualquier dirección perpendicular a la marcha del vehículo. (Díaz & Albo, 2018)

Hay elementos que forman parte de la suspensión tales como las ballestas, muelles helicoidales, barra de torsión todos estos son elementos elásticos y tienen una capacidad de

deformación de acuerdo a la carga que este sometida, también hay elementos no elásticos como los amortiguadores, brazos oscilantes o trapecio, manguetas y rotulas. Los elementos que absorben mayor parte de las alteraciones de la marcha tales como las irregularidades del terreno que se transmiten a la carrocería del vehículo en forma de golpes. (Díaz & Albo, 2018)

### **Muelle helicoidal**

Es una barra cilíndrica de acero con forma de helicoidal. Tiene la característica de comprimirse cuando se aplica cierta carga, para lograr una suspensión confortable con estos pueblos se debe de saber cuál es el rango de la masa suspendida para así poder establecer las características constitutivas que son la forma, el diámetro del muelle, calidad del acero o material. (IngeMecánica, 2018)

### **Figura 22**

*Muelle helicoidal*



*Nota.* En la figura se muestra el tipo de muelle helicoidal utilizado en la suspensión automotriz. Tomado de (IngeMecánica, 2018)

La rigidez del muelle no depende solo del material o la calidad del acero empleado sino también de su geometría, el número de espiras aumenta la rigidez, el ángulo de inclinación de las espiras el diámetro del hilo de acero y el diámetro de la espira son variables que en las que toca apoyarse para un buen diseño. Para cuantificar el grado de flexibilidad para los resortes o muelles se emplea el concepto de constante de rigidez. (IngeMecánica, 2018)

**Ecuación 16** *Constante de rigidez*

$$K = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot N \cdot D^3}$$

$G$  = es el modulo de rigidez caracteristico del material

$d$  = es le diametro del hilo de acero

$D$  = es el diametro medio del resorte

$N$  = es el numero de espiras del muelle

Un método para calcular el número de espiras conociendo la deflexión o deformación del muelle también se necesita la fuerza aplicada en ella, con esto se puede obtener el número de espiras necesarias para la fabricación del muelle, también se tiene también la energía  $E$  que almacena un muelle cuando se comprime basando en la conservación de la energía.

(IngeMecánica, 2018)

**Ecuación 17** *Número de espiras del muelle*

$$N = \frac{G \cdot d^4 \cdot x}{8 \cdot F \cdot D^3}$$

Donde

$x$  = es la deflexion del muelle

$F$  = es la fuerza aplicada en el muelle

$$E = K \frac{x^2}{2}$$

$E$  = es la energia almacenada en el resorte

El movimiento de los muelles o resortes obedecen a los movimientos oscilantes el cual se puede calcular el periodo o el tiempo de oscilación, las variables que influyen son el peso a carga que soporta y el coeficiente de elasticidad que viene dado por el material. (IngeMecánica, 2018)

**Ecuación 18** *Período de oscilación del muelle*

$$T = 2. \pi. \sqrt{\frac{F}{K. g}}$$

Donde

$T =$  es le periodo de oscilacion

$g =$  es la gravedad de  $9.81m/s^2$

**Sistema de freno**

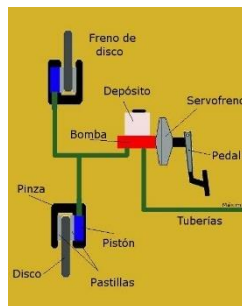
El sistema de frenos es uno de los sistemas más importantes, ya que es el encargado de detener el vehículo cuando el conductor lo requiera, es uno de los sistemas de seguridad a los que se le debe poner mucho énfasis ya que puede prevenir accidentes y posibles lesiones en los ocupantes de un automóvil. (Bauzá, 2018)

Los principales componentes del sistema de frenos para un vehículo son:

- Discos de freno.
- Mordazas.
- Pistones y cilindros de freno.
- Pastillas de freno.
- Bomba de freno.

**Figura 23**

*Componentes del sistema de frenos*



*Nota.* El diagrama muestra el sistema de frenos de un vehículo con todos sus componentes.

Tomado de (Ferreira, 2016)

Para poder realizar los cálculos del sistema de frenos, se deben tener en cuenta varios parámetros, que son los siguientes:

- **Cálculo del tiempo de frenado:**

**Ecuación 19** *Tiempo de frenado*

$$T_p = \frac{V}{\mu * g} + 1$$

*Donde:*

$T_p$  = *Tiempo de parada (s)*

$V$  = *Velocidad del vehículo ( $\frac{m}{s}$ )*

$\mu$  = *Coficiente de adherencia (varía entre 0.7 y 0.85)*

*dependiendo condición del terreno y desgaste de neumático*

$g$  = *Gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ )*

- **Cálculo de distancia de frenado**

**Ecuación 20** *Distancia de frenado*

$$D_f = \frac{V^2}{2 * \mu * g}$$



### **Sistema de iluminación y auxiliares**

Este sistema es uno de los más importantes en lo que a seguridad activa se refiere, ya que ayuda a mejorar la visibilidad en lugares con poca luz o con condiciones que limiten la visibilidad del conductor. (Jiménez, 2015)

Existen algunos tipos de iluminación, que cumplen con distintos propósitos dentro del vehículo, las cuales se resumen a continuación:

- **Faros delanteros:**

Son los encargados de proporcionar la luz con la que el conductor pueda ver nítidamente el camino por el que circula, además de dar nuestra posición a otros conductores. (Jiménez, 2015)

- **Luz de freno:**

Se encuentra ubicada en la parte posterior, es de color rojo, e indica que el conductor está presionando el pedal de freno, ya sea para reducir la velocidad o para detenerse completamente. (Jiménez, 2015)

- **Luces intermitentes:**

Dan a conocer si el vehículo va a girar hacia la izquierda o derecha, su color es ámbar, y por lo general se ubican a los costados del vehículo tanto en la parte delantera como en la trasera. (Jiménez, 2015)

- **Luces de emergencia:**

Activa los cuatro intermitentes al mismo tiempo para indicar una situación de emergencia al momento de circular como averías en el vehículo, circulación densa o si se va realizar una parada. (Jiménez, 2015)

## Figura 24

### Sistema de iluminación



*Nota.* En la ilustración se observa los principales componentes del sistema de iluminación de un vehículo. Tomado de (Jiménez, 2015)

### Pruebas del monoplaza eléctrico

Para poder comprobar el correcto funcionamiento del vehículo eléctrico monoplaza, se van a realizar algunas pruebas en diferentes ámbitos que den a conocer la eficiencia y autonomía del mismo.

#### ***Prueba de autonomía***

La prueba de autonomía empieza con las condiciones siguientes, las baterías totalmente cargadas, se realizarán varias pruebas en distintas rutas urbanas, el piloto del monoplaza tendrá una masa aproximada de 65kg, se echará a funcionar al vehículo a su velocidad máxima y se medirá la distancia recorrida hasta que la batería se agote y así de forma empírica obtener la autonomía del vehículo en promedio.

#### ***Prueba de velocidad máxima***

La prueba de velocidad máxima se debe realizar en una ruta donde se pueda acelerar libremente sin la existencia de obstáculos y que sea seguro para el conductor, se procede a

aumentar la velocidad desde un punto de partida en reposo, con un peso no mayor a 80 kg, y se va aumentando la velocidad progresivamente hasta alcanzar un punto en el que ya no siga aumentando, el cual es la velocidad máxima que tendría el vehículo; se va a realizar el mismo procedimiento varias veces para poder recabar datos y sacar un promedio general.

### ***Prueba de carga de batería***

En esta prueba se comprobará la capacidad de la batería y como su energía va aumentando al conectar el cargador, con lo cual se obtendrán datos del tiempo en el cual se cargarán completamente para poder ocupar el vehículo nuevamente.

## Capítulo III

### Diseño y análisis del vehículo monoplaza eléctrico

Para la construcción del vehículo monoplaza eléctrico, se debe tomar en cuenta cada uno de los componentes y sistemas que este dispondrá para funcionar correctamente, por lo que se debe realizar el diseño matemático de los elementos necesarios, además, del diseño asistido por computador de los sistemas que lo requieran.

#### Estructura

Se realiza un bosquejo en papel blanco dibujando todos los elementos de cada uno de los sistemas automotrices para el diseño de la estructura del monoplaza, optimizando el espacio en conjunto con la carrocería.

#### Análisis de cargas

El chasis es un conjunto de elementos que establecen una estructura para el monoplaza, sobre los que se incorporarán el resto de componentes del mismo. De esta manera, la estructura está cuidadosamente diseñada para soportar las cargas vivas, muertas, de giro y diversas fuerzas que transmite el sistema de propulsión, también influyen la masa del ocupante y del resto de piezas de los diferentes sistemas automotrices del vehículo.

**Carga viva.** Al considerar un monoplaza se toma en cuenta una persona y según la normativa INEN 2656 en la categoría L7 de vehículos eléctricos la carga del carro y conductor no debe superar los 450 Kg, lo que se consideró una masa de 70kg del ocupante.

$$CV = M_o * N * G$$

*Donde:*

$M_o =$  Masa del ocupante (kg)

$N =$  Número de ocupantes

$$G = \text{Gravedad} \left( \frac{m}{s^2} \right)$$

$$CV = 70kg * 1 * 9.81 \left( \frac{m}{s^2} \right)$$

$$CV = 686.7 N$$

**Carga muerta.** En la tabla se muestra las masas de cada uno de los elementos de los sistemas automotrices y su total que no debe superar los 400 kg que establece la norma INEN 2656 para calcular la carga muerta.

**Tabla 3**

*Partes de los sistemas automotrices del monoplaza con su masa*

ELEMENTO	CARACTERÍSTICA	MASA (lb)
Lámina Metálica	Esesor 0,3 mm	16
Asiento	Tapizado, cojín y cinturón de seguridad	8
Carrocería	Esesor de la fibra 1 cm	124
Tablero	Madera esesor de 2 cm	2
Eje Posterior	Tambores, sistema de freno y engranaje	52
Amortiguadores	3 unidades	9
Motor eléctrico	Cables de conexión en el controlador	20
Barra dirección	Armado con 2 terminales	7
Vidrio	8 mm de esesor	19
Estructura	Diseño SolidWorks	47.3

ELEMENTO	CARACTERÍSTICA	MASA (lb)
Batería de litio	2 unidades	37
Controlador	Incluye socket de conexión	5
Volante	Forrado con fibra	2
Espejos	2 unidades	2
Componentes eléctricos	Pantalla indicadora, focos, palancas, cables.	21
Neumáticos y aros	4 unidades	64
Pernos	Incluye de todo el vehículo	3
<b>Total, Masa (lb)</b>		<b>438.3</b>
<b>Total, Masa (kg)</b>		<b>199.23</b>

*Nota.* En la tabla se detallan las características y cantidades de piezas y partes de los sistemas automotrices del monoplaza.

$$CM = M_C * G$$

*Donde:*

$M_C = \text{Masa total estructura (kg)}$

$G = \text{Gravedad } \left(\frac{m}{s^2}\right)$

$$CM = 199.23kg * 9.81\left(\frac{m}{s^2}\right)$$

$$CM = 1954.45 N$$

**Carga de giro.** El monoplaza está estimado para circular en zona urbana donde se requiere una velocidad máxima de 40 km/h que corresponde a 50 m de radio de curvatura.

$$CG = \frac{m * v^2}{r_c}$$

Donde:

$m = \text{Masa total (kg)}$

$v = \text{Velocidad del vehículo } \left(\frac{m}{s}\right)$

$r_c = \text{Radio de curvatura (m)}$

$$v = 40 \frac{km}{h} = 11.11 \frac{m}{s}$$

$$CG = \frac{199.23Kg * \left(11.11 \frac{m}{s}\right)^2}{50m}$$

$$CG = 491.82 N$$

**Carga de frenado.** Se asume una desaceleración mayor o igual a  $1,54 \frac{m}{s^2}$

$$CF = M_t * a_1$$

Donde:

$M_t = \text{Masa total} = \text{Masa carrocería} + \text{Masa de ocupante (kg)}$

$a_1 = \text{Desaceleración, debe ser mayor o igual a } 1,54 \frac{m}{s^2}$

$$CF = (199.23Kg + 70kg) * 1,54 \frac{m}{s^2}$$

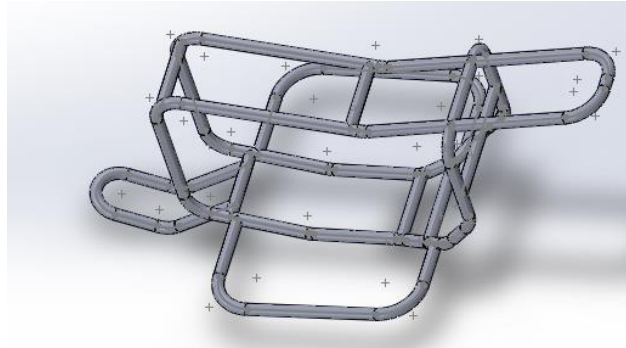
$$CF = 414,614 N$$

### **Modelado de la estructura**

Se utilizó un software CAD para el diseño de la estructura del monoplaza en Croquis 3D y su simulación, en la figura se observa la utilización de tubos redondos de una pulgada con 2.3 milímetros de espesor que tienen un método de construcción geométrica.

## Figura 25

### Modelado de la estructura



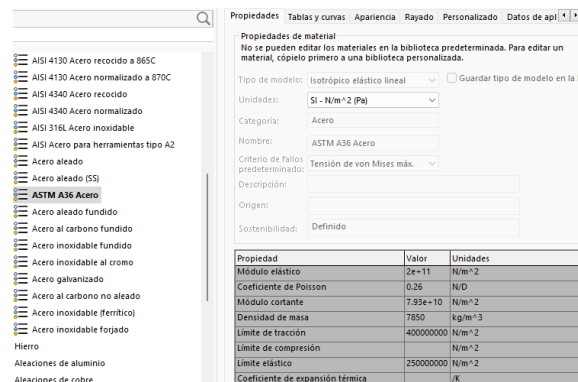
Nota. Estructura en 3D.

## Selección del material

Se escogen perfiles estructurales ASTM A36.

## Figura 26

### Selección del material



Nota. En la figura se observan las propiedades del material.

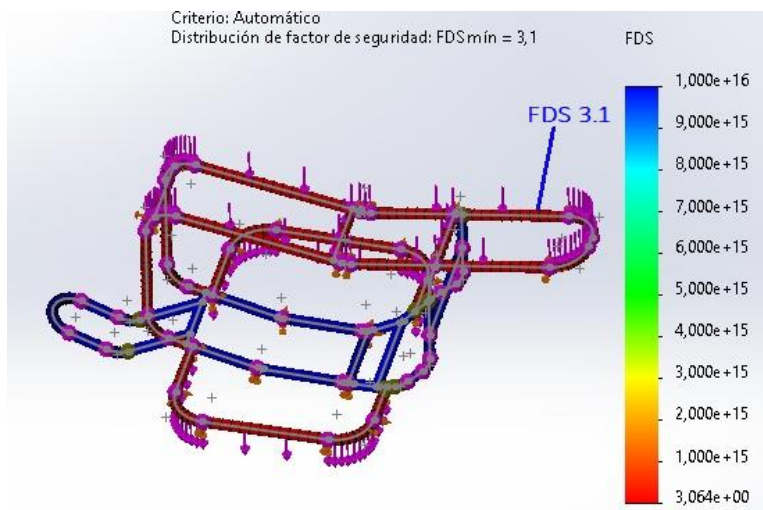
## Simulación de cargas

**Simulación carga viva.** Se tomó la carga por ocupación de una persona con su respectivo equipaje y se consideró como fuerza distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales del bastidor, el cual se aplica una fuerza de **686.7 N**.



**Figura 27**

*Análisis estático con factor de seguridad de la carga viva*

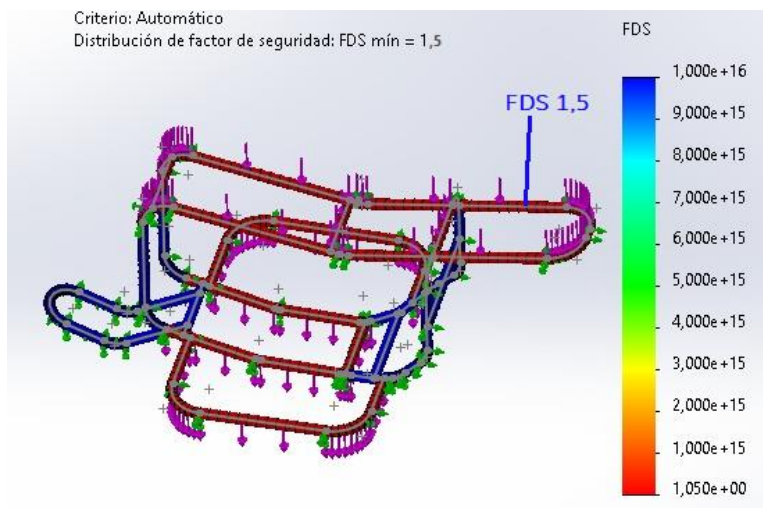


*Nota.* En la imagen se tiene el factor de seguridad mínimo de 3,1 distribuido en parte de la estructura de acero, considerada aceptable para el diseño.

**Simulación carga muerta.** Para la simulación de la carga muerta se tiene la masa total de la carrocería de 199.23kg en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y no estructurales permanentes (ventanas, asientos, forros exteriores e interiores y accesorios), lo que aplica una fuerza de **1954.45 N**.

**Figura 28**

*Análisis estático con factor de seguridad de la carga muerta*

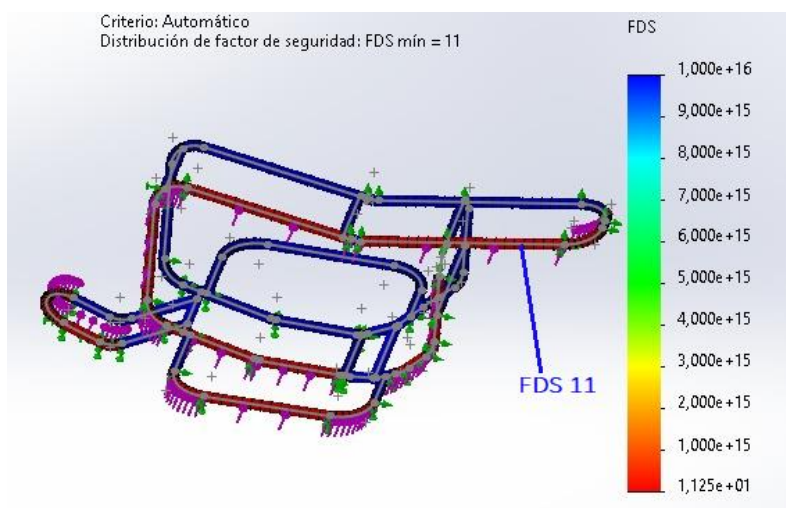


*Nota.* En la imagen se tiene un factor de seguridad mínimo de 1,5 distribuido en parte de la estructura de acero, considerada aceptable para el diseño.

**Simulación carga de giro.** La simulación está en función de la fuerza centrífuga que se genera al ingresar el vehículo en una curva con radio de 50 m y con una velocidad de 40 km/h, lo que se aplica una fuerza de **491.82 N**.

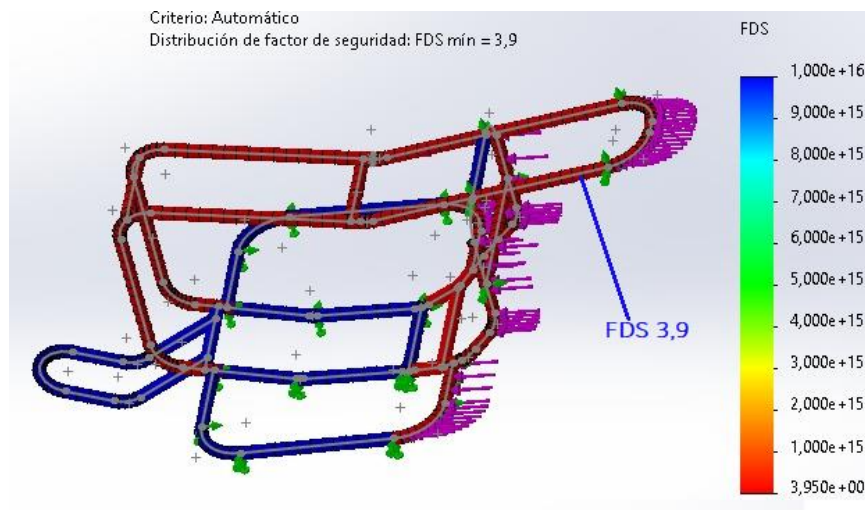
### Figura 29

*Análisis estático con factor de seguridad de la carga de giro*



*Nota.* En la imagen se tiene un factor de seguridad mínimo de 11 distribuido en parte de la estructura de acero, considerada aceptable para el diseño.

**Simulación carga de frenado.** Se simula una aceleración dando como resultado la presencia de este tipo de fuerzas que actúan sobre la estructura en el sentido favorable al movimiento debido a la inercia de la unidad, que se aplica un valor de **414,614 N**.

**Figura 30****Análisis estático con tensión nodal de la carga de frenado**

*Nota.* En la imagen se tiene un factor de seguridad de 3,9 mínimo distribuida en parte de la estructura de acero, considerada aceptable para el diseño.

**Carrocería*****Condiciones iniciales de geometría de la carrocería***

La geometría de la carrocería se basa en los espacios que ocuparán los sistemas automotrices tales como, el chasis o estructura, el sistema de propulsión, el sistema de frenos, la suspensión y dirección.

El habitáculo es diseñado para brindar condiciones ergonómicas al ocupante, basándose en las medidas promedio de una persona con 170 centímetros de altura.

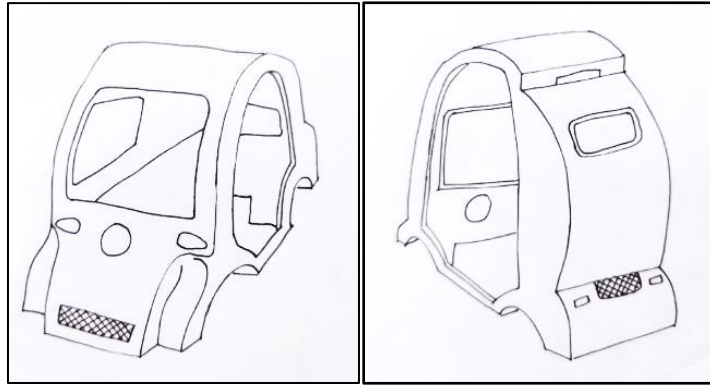
***Bocetos iniciales para el modelado***

Tomando en cuenta los espacios que ocupan los sistemas automotrices, se dimensiona el ancho de la carrocería es igual al ancho del eje trasero, la altura es el espacio que ocupara el conductor y para la longitud se suman los espacios ocupados por los sistemas

automotrices y del piloto, la parte de frontal de la carrocería se diseña tomando en cuenta la aerodinámica y la visibilidad del conductor.

### **Figura 31**

*Bosquejo de vista isométrica a mano*



*Nota.* En la ilustración se puede observar el bosquejo realizado a mano en vista isométrica tanto frontal como posterior de la carrocería.

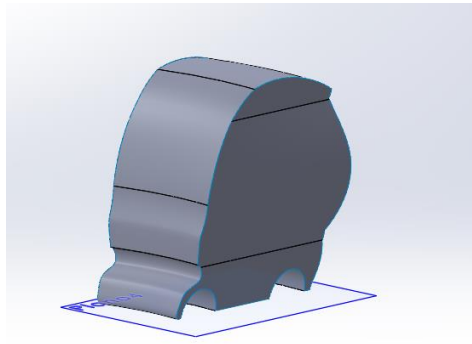
### ***Modelado 3D de la carrocería***

Con el boceto trazado a mano y planos donde se especifica las dimensiones, se procede a realizar el modelado en 3D con la ayuda del dibujo asistido por computador.

En el entorno del software se plasma lo que se ha hecho a mano, realizando un sólido entero sin espacios huecos, dando importancia a la forma interior del sólido. En el plano XY se debe graficar la silueta de una figura cerrada para la extrucción y creación del sólido.

**Figura 32**

*Sólido en 3D de la carrocería*



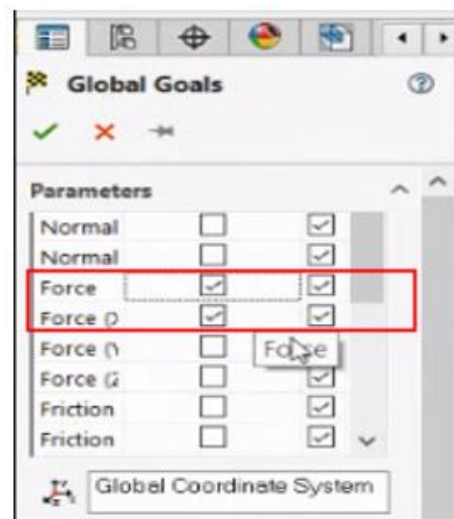
*Nota.* En la ilustración se puede observar el sólido realizado en el software CAD de la carrocería del vehículo eléctrico.

### ***Simulación aerodinámica***

Realizado el sólido en 3D de la carrocería, se introduce las condiciones iniciales, el cual corresponde al peso total de vehículo con todos los sistemas automotrices implementados, añadiendo el peso de una persona promedio de 70 kg. Se utiliza en los parámetros de simulación un peso total de 269.23 Kg

**Figura 33**

*Selección de la fuerza de arrastre*



*Nota.* Para la simulación, se debe escoger las fuerzas de arrastre presentes para obtener los resultados.

Se elige la magnitud de la gravedad de  $9.81 \text{ m/s}^2$ , se considera que la dimensión del túnel de viento es proporcional a la dimensión de la carrocería.

Se elige la velocidad del sólido, la cual se considera como la velocidad máxima que alcanzara el vehículo, también se toman en cuenta parámetros como la presión atmosférica, temperatura ambiental y la gravedad.

**Tabla 4**

*Parámetros iniciales*

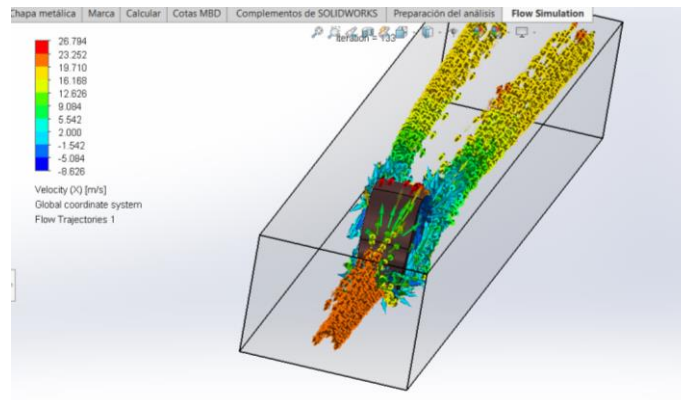
<b>Parámetro</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Unidades</b>
Velocidad	9.72	m/s
Temperatura ambiental	293	K
Presión Atmosférica	102700	KPa
Masa total	269.23	Kg
Gravedad	9.81	$\text{m/s}^2$

*Nota.* La tabla muestra los parámetros iniciales que se debe tener en cuenta para realizar la simulación de la carrocería en el software.

Al simular se obtiene como resultado de la fuerza de arrastre, que sirve para calcular el coeficiente de arrastre, ya que se obtiene a través de laboratorios o simulación, en este caso para la carrocería simulada se obtiene una fuerza de arrastre de  $43.035\text{N}$  con un área frontal de  $1.328 \text{ m}^2$ .

## Figura 34

### Selección de la fuerza de arrastre en el software



*Nota.* En la figura se puede observar la simulación de viento, en la carrocería se obtiene el valor de la fuerza de arrastre para mediante calculo determinar el coeficiente de arrastre.

### Coeficiente de arrastre

Se calcula el coeficiente de arrastre mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$C_D = \frac{2F_D}{\rho * v^2 * A_f}$$

Donde:

$\rho$  = La densidad del aire

$A_f$  = Área frontal del vehículo

$F_D$  = Fuerza de arrastre aerodinámico

$v$  = Velocidad del vehículo

$$C_D = \frac{2 * 43.035N}{1.225 \frac{kg}{m^3} * \left(12.5 \frac{m}{s}\right)^2 * 1.328m^2}$$

$$C_D = 0.56$$

El valor obtenido sirve para la obtención de la resistencia aerodinámica en KW, este valor será la potencia necesaria para que el vehículo pueda trasladarse sin ningún problema,

este valor se ocupa para la selección el motor eléctrico en la parte del diseño del tren de potencia.

Cálculo de la resistencia aerodinámica:

$$R_a = \frac{C_D * A_f * v^3}{81492.5}$$

$$R_a = \frac{0.56 * 1.328m^2 * \left(12.5 \frac{m}{s}\right)^3}{81492.5}$$

$$R_a = 0.017823KW$$

## Sistemas automotrices

### **Sistema de dirección**

Este sistema es el encargado de direccionar el vehículo hacia donde requiera el conductor mediante la utilización de una fuerza.

Para el diseño del sistema de dirección se ocupará un volante circular.

Se calcula la fuerza que debe ejercer el conductor sobre el timón, por lo que se empieza con el cálculo de la distancia del punto medio de contacto de la rueda al eje de giro:

$$x = \sqrt{SR^2 + MT^2}$$

Donde:

$SR = \text{Camber}$

$MT = \text{Caster}$

$$x = \sqrt{0.026^2 + 0.038^2}$$

$$x = 0.046 \text{ m}$$

Cálculo de la fuerza normal en las ruedas delanteras de la siguiente manera:

$$Nf = m \cdot g \cdot f$$



Donde:

$m$  = Masa del vehículo con piloto

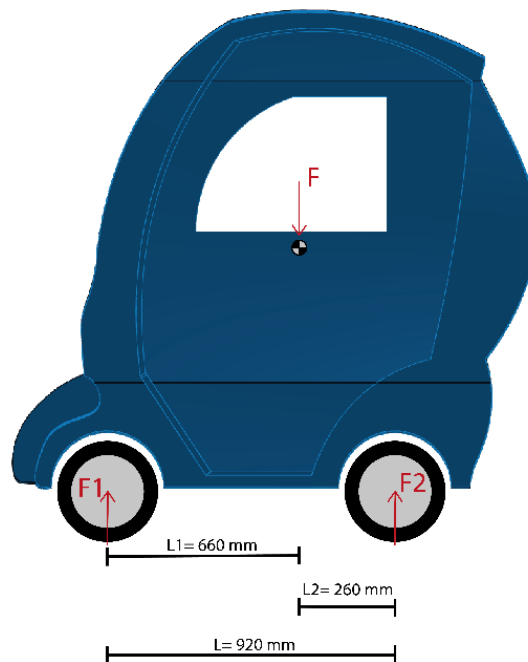
$g$  = Aceleración de la gravedad

$f$  = Repartimiento del peso en el eje delantero

El valor del repartimiento de peso se obtiene mediante la masa delantera y trasera del vehículo:

### Figura 35

Diagrama de cuerpo libre del vehículo



*Nota.* En la figura se puede observar el diagrama de cuerpo libre del vehículo donde se representan las fuerzas en cada eje y las longitudes del centro de gravedad a cada eje.

Datos:

$$L_1 = 660 \text{ mm}$$

$$L_2 = 260 \text{ mm}$$

Se calcula la fuerza en el eje delantero:

$$F_1 = m \cdot g \cdot \frac{L_2}{L_1 + L_2}$$

$$F_1 = 269.23 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{0.26 \text{ m}}{0.66 \text{ m} + 0.26 \text{ m}}$$

$$\mathbf{F_1 = 746.412 \text{ N}}$$

Se calcula la masa en el eje delantero:

$$m_1 = \frac{F_1}{g}$$

$$m_1 = \frac{746.412 \text{ N}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\mathbf{m_1 = 76.087 \text{ kg}}$$

Se calcula la fuerza en el eje posterior:

$$F_2 = m \cdot g \cdot \frac{L_1}{L_1 + L_2}$$

$$F_2 = 269.23 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{0.66 \text{ m}}{0.66 \text{ m} + 0.26 \text{ m}}$$

$$\mathbf{F_2 = 1894.735 \text{ N}}$$

Se calcula la masa en el eje posterior:

$$m_2 = \frac{F_2}{g}$$

$$m_2 = \frac{1894.735 \text{ N}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\mathbf{m_2 = 193.143 \text{ kg}}$$

Con estos datos obtenidos, podemos decir que el valor del repartimiento de peso en el eje delantero  $f$  es de 0.283, por lo que la fuerza normal sería:

$$Nf = 269.23 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.283$$

$$\mathbf{Nf = 747.861 N}$$

Se realiza la suma de momentos de la rueda delantera.

$$Mr = Nf \cdot \mu \cdot x$$

$$Mr = 747.861 \text{ N} \cdot 1.2 \cdot 0.046 \text{ m}$$

$$\mathbf{Mr = 41.282 Nm}$$

Cálculo de la relación de giro del volante y las ruedas:

$$i = \frac{\text{Ángulo de giro del timón}}{\text{Ángulo de giro de las ruedas}}$$

$$i = \frac{50}{20}$$

$$\mathbf{i = 2.5}$$

Cálculo del momento del timón:

$$Mv = \frac{Mr}{i}$$

$$Mv = \frac{41.282 \text{ Nm}}{2.5}$$

$$\mathbf{Mv = 16.813 Nm}$$

Cálculo de la fuerza que debe ejercer el piloto sobre el timón:

$$Fv = \frac{Mv}{dv}$$

$$Fv = \frac{16.813 \text{ Nm}}{0.31 \text{ m}}$$

$$\mathbf{Fv = 53.267 N}$$

### Sistema de freno

El eje posterior del vehículo eléctrico cuenta con frenos incorporados de tipo tambor.

Cálculo de tiempo de parada:

$$T_p = \frac{V}{\mu * g} + 1$$

Donde:

$T_p =$  Tiempo de parada (s)

$V =$  Velocidad del vehículo  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$\mu =$  Coeficiente de adherencia (varía entre 0.7 y 0.85)

dependiendo condición del terreno y desgaste de neumático

$g =$  Gravedad  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

El coeficiente de adherencia utilizado para el cálculo será de 0.85 y la velocidad del vehículo se la tomará de 45 km/h que es el valor hipotético al cual llegará el vehículo.

$$\frac{45 \frac{km}{h} \cdot 1000 m}{3600 s} = 12.5 \frac{m}{s}$$

$$T_p = \frac{12.5 \frac{m}{s}}{0.85 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}} + 1$$

$$T_p = 2.499 s$$

Cálculo de la distancia de frenado:

$$D_f = \frac{V^2}{2 * \mu * g}$$

$$D_f = \frac{12.5^2 \frac{m^2}{s^2}}{2 \cdot 0.85 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$D_f = 9.369 m$$

### **Sistema de suspensión**

En el vehículo monoplace eléctrico se utilizan muelles para reducir la oscilación del vehículo producida por las irregularidades del terreno.

Para poder seleccionar correctamente los muelles del sistema de suspensión, se deben tener en cuenta varios aspectos como la fuerza que van a soportar y las características que posee el muelle de acuerdo al material del cual se fabrica.

Se tomarán en cuenta los componentes de la marca YSS que cuentan con los siguientes parámetros iniciales:

- Número de espiras útiles:  $N = 21$
- Número total de espiras:  $N_t = N + 1,5 = 21 + 1,5 = 22,5$
- Diámetro del hilo:  $d = 6 \text{ mm}$
- Diámetro exterior:  $D_e = 50 \text{ mm}$
- Diámetro interior:  $D_i = 32 \text{ mm}$
- Diámetro medio:  $D = \frac{1}{2} * (D_i + D_e) = \frac{1}{2} * (32 + 50) = 41 \text{ mm}$

Los muelles utilizados están fabricados de acero con altos contenidos en carbono, en este caso un ASTM A227 el cual nos proporciona el coeficiente de rigidez del muelle ( $G$ ) que se puede observar en la siguiente tabla.

Figura 36

Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería

Material	Módulo de elasticidad $E$		Módulo de rigidez $G$		Razón de Poisson $\nu$	Peso específico $\gamma$ lb/in <sup>3</sup>	Densidad de masa $\rho$ Mg/m <sup>3</sup>	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa				
Aleación de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro fundido gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro fundido dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro fundido maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
<b>Acero al carbono</b>	<b>30.0</b>	<b>206.8</b>	<b>11.7</b>	<b>80.8</b>	<b>0.28</b>	<b>0.28</b>	<b>7.8</b>	<b>7.8</b>
Aleaciones de acero	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

\* Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., N.Y., Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Nota. De acuerdo a la imagen anterior se observa que el módulo de rigidez correspondiente es de 80,8 GPa.

Cálculo de la constante de rigidez del muelle:

$$K = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot N \cdot D^3}$$

Donde:

$G$  = Módulo de rigidez del material del muelle  $\left(\frac{N}{m^2}\right)$

$d$  = Diámetro del hilo de acero (m)

$D$  = Diámetro medio del resorte (m)

$N$  = Número de espiras del muelle

$$K = \frac{80800000000 \frac{N}{m^2} \cdot (0.006m)^4}{8 \cdot 21 \cdot (0.041m)^3}$$

$$K = 9043.895 \frac{N}{m}$$

Cálculo de la fuerza que se ejerce sobre el muelle, utilizando la masa total del vehículo con ocupante de 269.23 kg.

$$F = m \cdot g \cdot \frac{L_2}{L_1 + L_2}$$

$$F = 269.23 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{0.26 \text{ m}}{0.66 \text{ m} + 0.26 \text{ m}}$$

$$F = 746.412 \text{ N}$$

Cálculo del desplazamiento del muelle mediante la siguiente ecuación:

$$F = K \cdot x$$

Se despeja x:

$$x = \frac{F}{K}$$

$$x = \frac{746.412 \text{ N} \cdot 1/2}{9043.895 \frac{\text{N}}{\text{m}}}$$

$$x = 0.04127 \text{ m} \approx 41.27 \text{ mm}$$

Cálculo del período de oscilación:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{F}{K \cdot g}}$$

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{746.412 \text{ N} \cdot 2}{\frac{9043.895 \text{ N}}{\text{m}} \cdot \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2}}}$$

$$T = 1.0841 \text{ s}$$

Cálculo de la frecuencia:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{1.0841}$$

$$f = 0.9224 \text{ oscilaciones por segundo}$$

$$f = 0.9224 \cdot 60$$

$$f = 55.346 \text{ oscilaciones por minuto}$$

Como se puede observar el número de oscilaciones por minuto se encuentra dentro del rango permitido para la comodidad del ocupante el cual está entre 30 y 60 oscilaciones por minuto según IngeMecánica.

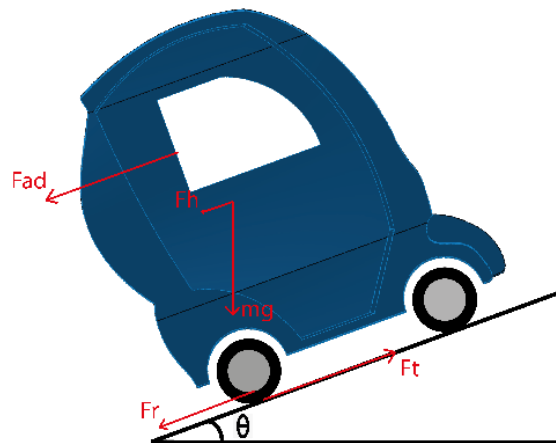
### **Sistema de propulsión y control**

El sistema de propulsión compone todos los elementos que generan el movimiento del vehículo para que se traslade un lugar a otro.

Para cálculo dinámico se tiene: fuerza de rodadura ( $F_r$ ), fuerza de tracción ( $F_t$ ), fuerza de aerodinámica ( $F_{ad}$ ) y fuerza de ascenso en el vehículo ( $F_h$ ).

### **Figura 37**

*Fuerzas presentes en pendiente*



*Nota.* En la figura se puede observar todas las fuerzas presentes cuando el vehículo se encuentra en una pendiente.



Para el cálculo de las fuerzas en pendiente, se debe tener en cuenta la masa total del vehículo tomando en cuenta todos sus componentes.

**Tabla 5**

*Peso del vehículo eléctrico*

<b>Componente</b>	<b>Peso (lb)</b>
Batería	37
Bastidor	47.3
Carrocería	124
Volante	2
Tablero	2
Controlador	5
Chapa metálica	16
Amortiguadores	9
Puerta	10
Ventana	11
Eje y motor	104
Llantas con manzana (2)	32
Dirección	7
Asiento	8
Cables eléctricos	6
Componentes eléctricos	15
Componentes de ajuste	3
Ocupante	154
<b>TOTAL</b>	<b>592.3</b>
<b>TOTAL (KG)</b>	<b>269.23</b>

*Nota.* En la tabla se puede observar la masa total del vehículo monoplaza eléctrico, tomando en cuenta todos sus componentes.

**Fuerza de ascenso ( $F_h$ ).** Se realiza el cálculo utilizando la ecuación 5, y el cálculo de la pendiente en grados, tomando en cuenta el mínimo de 15% de pendiente.

$$\text{Grados}(\theta^\circ) = \arctan\left(\frac{\text{Pendiente} (\%)}{100}\right)$$

$$\text{Grados}(\theta^\circ) = \arctan\left(\frac{15}{100}\right)$$

$$\text{Grados}(\theta^\circ) = 8.53^\circ$$

Se calcula la fuerza de ascenso:

$$F_h = m \cdot g \cdot \sin \theta$$

$$F_h = 269.23 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot \sin 8.53^\circ$$

$$F_h = 391.754 \text{ N}$$

**Fuerza de fricción ( $F_r$ ).** Para el cálculo se utiliza la ecuación 6, tomando en cuenta el coeficiente de fricción de 0.015 de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 6**

*Valores de coeficiente de rodadura de neumáticos*

Tipo de vehículo	Superficie		
	Hormigón o asfalto	Materiales dureza media	Arena
Turismos	0.015	0.08	0.30
Camiones	0.012	0.06	0.25
Tractores	0.02	0.04	0.20

*Nota.* En la tabla se puede observar el coeficiente según el tipo de vehículo y la superficie de la carretera, para este caso se utiliza el valor de turismos.

$$F_r = \mu_{c-a} \cdot m \cdot g \cdot \cos \theta$$

$$F_r = 0.015 \cdot 269.23 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot \cos 8.53^\circ$$

$$F_r = 39.179 \text{ N}$$

**Fuerza aerodinámica ( $F_{ad}$ ).** Se utiliza la ecuación 7 para calcular la fuerza que soporta el monoplaza en contra del viento, para esto se calcula primero la sección del vehículo.

$$A = \text{ancho} \cdot \text{altura}$$

$$A = 0.938 \text{ m} \cdot 1.416 \text{ m}$$

$$A = 1.328 \text{ m}^2$$

Se calcula la fuerza aerodinámica:

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

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \cdot 1.225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1.328 \text{ m}^2 \cdot 0.506 \cdot \frac{9.72^2 \text{ m}}{\text{s}}$$

$$F_{ad} = 43.035 \text{ N}$$

**Fuerza de tracción eléctrica ( $F_t$ ).** Para este cálculo se utiliza la ecuación 8, de la siguiente manera:

$$F_t = (m \cdot a) + F_r + F_h + F_{ad}$$

$$F_t = \left( 269.23 \text{ kg} \cdot 0.04 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) + 39.179 \text{ N} + 391.754 \text{ N} + 43.035 \text{ N}$$

$$F_t = 484.737 \text{ N}$$

**Potencia del motor.** La potencia del motor se calcula en dos entornos diferentes, el primero en un plano horizontal y el segundo en pendiente.

a. Potencia del motor en plano horizontal

$$F_t = (m \cdot a) + F_r + F_{ad}$$

$$F_r = \mu_{c-a} \cdot m \cdot g = 0.015 \cdot 269.23 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 39.617 \text{ N}$$

$$F_t = \left( 269.23 \text{ kg} \cdot 0.04 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) + 39.617 \text{ N} + 43.035 \text{ N}$$

$$\mathbf{F_t = 92.983 \text{ N}}$$

Obtenemos la potencia calculada con una velocidad máxima de 35 km/h:

$$P_{calculada} = F_t \cdot V_{max}$$

$$P_{calculada} = 92.983 \text{ N} \cdot 9.72 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_{calculada} = 903.797 \text{ W}$$

Entonces, calculamos la potencia del motor en un plano horizontal, tomando en cuenta una eficiencia del motor eléctrico del 85%:

$$P_{motor} = \frac{P_{calculada}}{n}$$

$$P_{motor} = \frac{903.797 \text{ W}}{0.9}$$

$$\mathbf{P_{motor} = 1004.219 \text{ W} = 1.004 \text{ kW}}$$

b. Potencia del motor en pendiente

Obtenemos la potencia calculada con una velocidad máxima de 28 km/h:

$$P_{calculada} = F_t \cdot V_{max}$$

$$P_{calculada} = 484.737 \text{ N} \cdot 7.78 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_{calculada} = 3771.254 \text{ W}$$

Entonces, calculamos la potencia del motor:

$$P_{motor} = \frac{P_{calculada}}{n}$$

$$P_{motor} = \frac{3711.644 \text{ W}}{0.9}$$

$$P_{motor} = 4124.049 \text{ W} = 4.124 \text{ kW}$$

**Selección del motor eléctrico.** Realizados los cálculos correspondientes y obtenido el valor de potencia necesaria, se procede con la selección del motor eléctrico trifásico de tipo Brushless tomando en cuenta los existentes en el mercado.

El motor elegido es de la marca Orbit Electronics modelo OBT el cual cumple con las especificaciones necesarios para que el vehículo funcione correctamente, a continuación, se ilustra las características del motor elegido.

**Tabla 7**

*Especificaciones del motor eléctrico*

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Eficiencia	90%
Voltaje	60 V
Peso	20 lb
Corriente continua máxima	120 A
Torque máximo	20 Nm
Rotación máxima	3850 rpm
Diámetro	17 cm
Dirección de rotación	Bi direccional
Potencia	5 kW

*Nota.* En la tabla se puede observar las características del motor eléctrico seleccionado para el vehículo eléctrico monoplaza.

**Selección del controlador.** Una vez elegido el motor eléctrico y conociendo sus características se procede a elegir el controlador, el cual debe compartir algunos parámetros con los del motor para que funcione correctamente el sistema.

El controlador elegido es de la marca Orbit Electronics y cuenta con las siguientes características:

**Tabla 8**

*Especificaciones del controlador*

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Voltaje	48 V / 60 V
Límite de corriente	20 A $\pm$ 1
Potencia	5 kW
Subtensión	35.5 V $\pm$ 1

*Nota.* En la tabla se puede ver las características del controlador seleccionado para el vehículo eléctrico monoplaza.

**Selección de la batería de alto voltaje.** Para el vehículo eléctrico monoplaza se ha seleccionado una batería de alto voltaje, la cual alimentará a los componentes de propulsión y control eléctrico. Dicha batería está fabricada con celdas de baterías 18650 de ion-litio, las cuales se ocupan para movilidad eléctrica debido a su alto drenaje, es decir, su capacidad para entregar carga.

**Figura 38**

*Batería cilíndrica de ion-litio 18650*



*Nota.* En la figura se puede visualizar la batería de ion-litio de la marca Roofer utilizada para ensamblar la batería de alto voltaje.

**Tabla 9**

*Características de las celdas de ion-litio*

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Capacidad	2500 mAh
Voltaje	3.7 V
Voltaje de carga máximo	4.2 V
Voltaje de corte de descarga	2.5 V
Corriente de carga estándar	0.5 C
Corriente de carga máxima	1 C
Corriente de descarga estándar	3 C
Corriente de descarga continua máxima	5 C
Resistencia interna	$\leq 30 \text{ m}\Omega$
Ciclo de vida	800 veces
Dimensión	18.4x65.2 mm

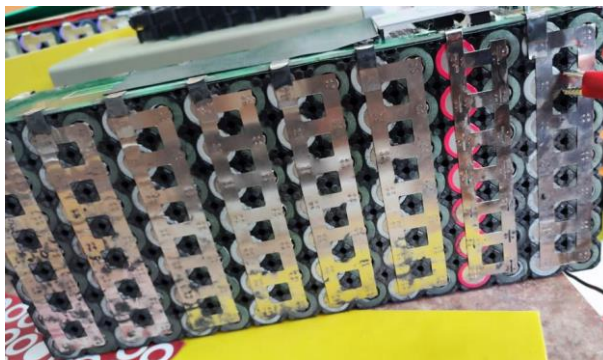
Característica	Valor
Peso	49 g
Temperatura de operación	-20°C – 60°C

*Nota.* En la tabla se observa las características y valores de las baterías de ion-litio utilizadas en la batería de alto voltaje del vehículo monoplaza.

La batería está constituida por dos bancos, los cuales tienen una doble placa distribuida en dieciséis series de ocho celdas en paralelo cada uno; estos dos bancos están conectados en paralelo para poder obtener una suma de amperaje, la cual tiene un valor de 42 Ah de capacidad.

### **Figura 39**

*Configuración interna de la batería*

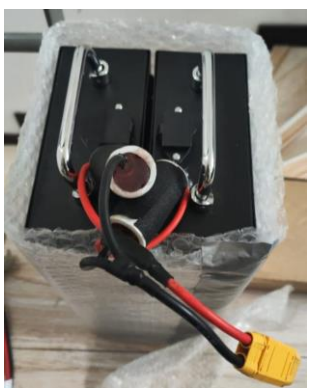


*Nota.* En la figura se observa la conexión interna de las celdas de ion-litio de un banco de la batería de alto voltaje.

Finalmente, la batería del vehículo tendrá un valor nominal de 60V, y un valor pico de carga de 67.2V, valores con los cuales el sistema de propulsión, concretamente el motor y el controlador, funcionarán de manera correcta.



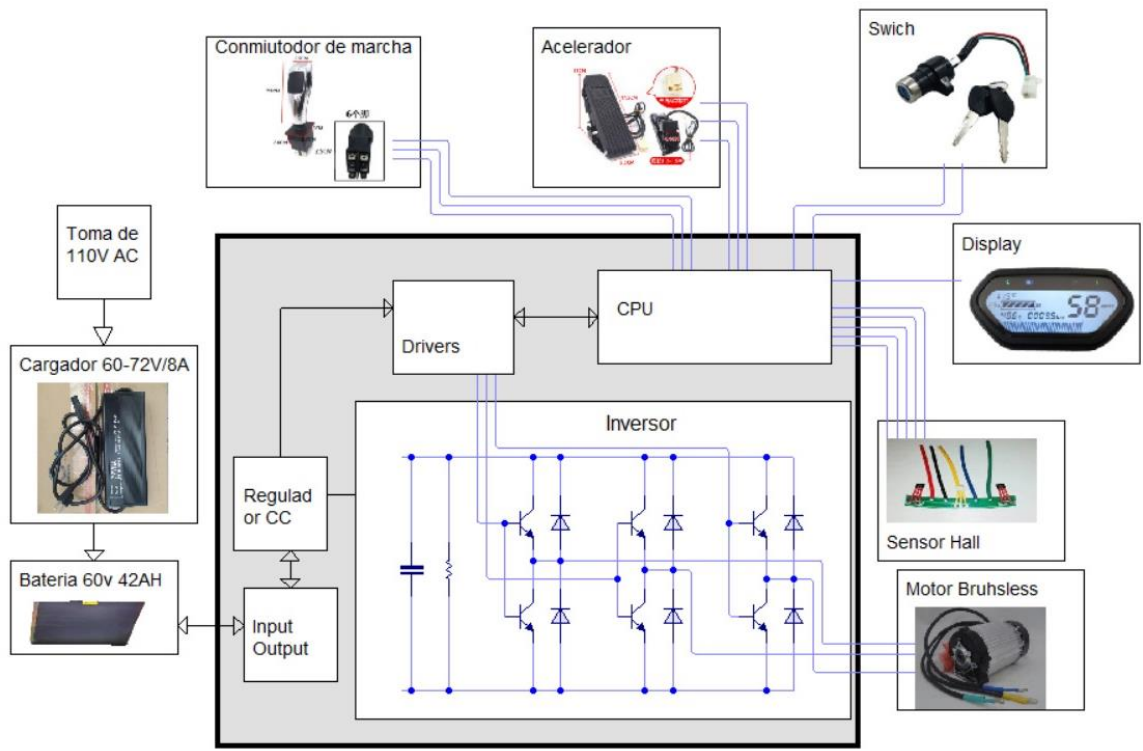
**Figura 40**  
*Pack de batería*



*Nota.* En la figura se visualiza la batería de alto voltaje que será utilizada en el vehículo eléctrico monoplaza.

**Diagrama de conexión del sistema de propulsión y control.** Una vez seleccionados los componentes del sistema, se procede a realizar el diagrama de conexión en el software Livewire.

**Figura 41**  
*Diagrama de conexión propulsión y control*



*Nota.* En el diagrama se presenta el controlador con sus respectivos sensores y actuadores.

En la siguiente tabla se presentan los componentes con la cantidad de pines y terminales, cada uno de ellos tiene un color diferente de acuerdo a la función que cumplen y está descrito como la característica en la tabla.

**Tabla 10**

*Código de colores de cables*

<b>Componente</b>	<b>Nro. pines o terminales</b>	<b>Color</b>	<b>Descripción</b>
Batería	2	Negro	Negativo
		Rojo	Positivo
Motor	3	Azul	Fase U
		Amarillo	Fase V
		Verde	Fase W
		Rojo	Alimentación 5V
Hall motor	5	Negro	GND
		Azul	Fase U
		Amarillo	Fase V
		Verde	Fase W
		Rojo	Alimentación 5V
Acelerador	3	Negro	GND
		Verde	Señal
Velocímetro	1	Morado	Señal
		Blanco y negro	GND
Marchas	3	Blanco	Señal adelante
		Verde	Señal reversa
Switch	1	Rojo	60V

*Nota.* En la tabla se describe la función de cada cable con su color respectivo.

### ***Sistema de iluminación y auxiliares***

Este sistema ayuda a la seguridad y comodidad del ocupante del vehículo, está constituido de varios componentes eléctricos como son: faro delantero, intermitentes delanteros y posteriores, luces de freno, mando de luces, tablero de instrumentos, bocina y switch de encendido.

Todos los elementos de iluminación están regidos por la norma ecuatoriana INEN 1155, la cual habla sobre los dispositivos para mantener y mejorar la visibilidad.

Los componentes del sistema de iluminación y auxiliares funcionan con una tensión de 12V, para lo cual al tener una batería de alto voltaje de 60V se necesita un convertidor DC-DC para dichos componentes.

#### **Figura 42**

*Convertidor DC-DC*



*Nota.* En la figura se observa el convertidor de corriente continua seleccionado, el cual convierte los 60V de la batería de alto voltaje del vehículo en 12V para el funcionamiento de los componentes de iluminación e indicadores, además, tiene una corriente de salida de 10A.

Una vez teniendo todos los componentes que formarán parte del sistema, se procede a calcular el consumo total de corriente requerida para el funcionamiento de los mismos.

**Tabla 11***Consumo de corriente de componentes eléctricos*

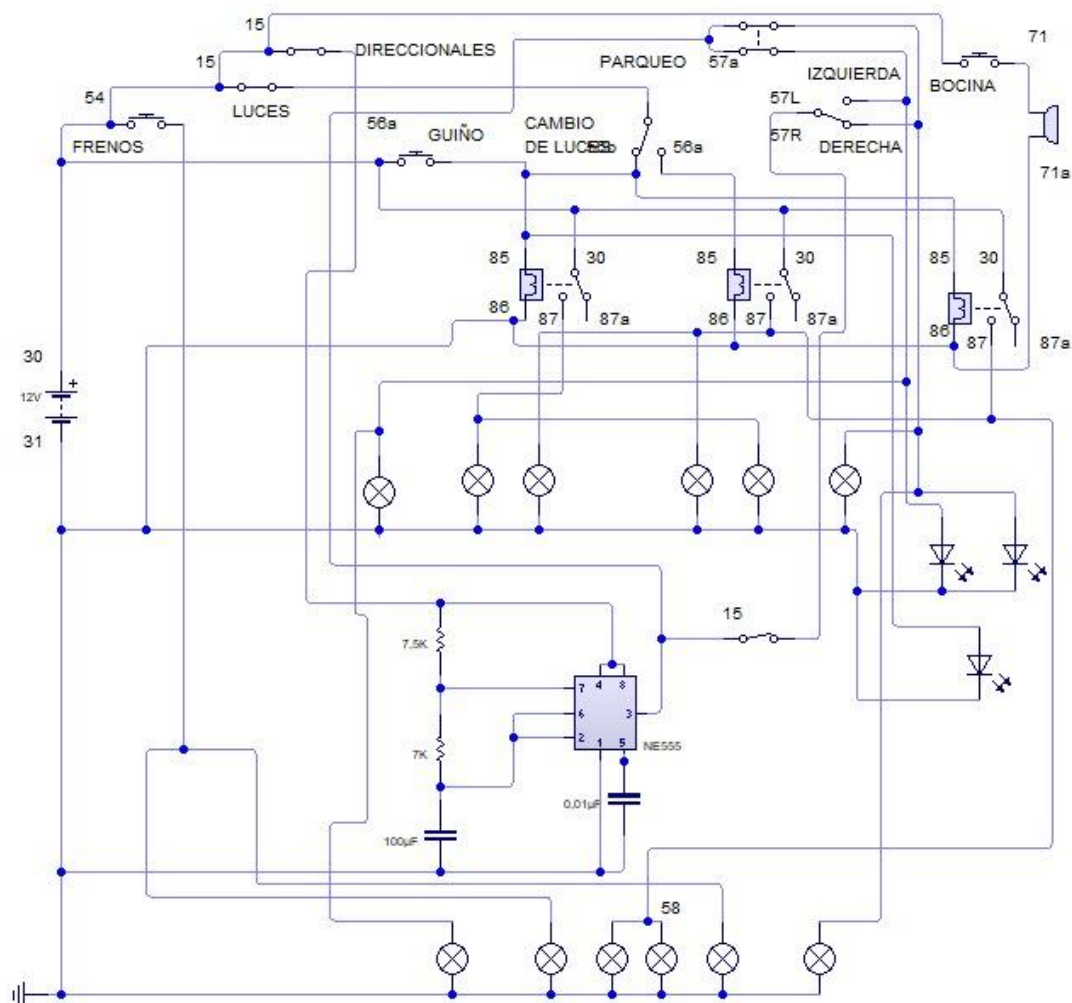
<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Consumo de corriente</b>
Faro delantero (baja)	1	15	1.25 A
Faro delantero (alta)	1	20	1.66 A
Luz de freno principal	1	20	1.66 A
Luz de freno auxiliar	1	15	1.25 A
Luz de posición trasera	1	15	1.25 A
Direccional	4	40	3.33 A
Bocina	1	15	1.25 A
<b>TOTAL</b>			<b>11.65 A</b>

*Nota.* En la tabla se visualiza la potencia de cada componente, para lo cual se utiliza la ecuación  $P = V * I$  donde se despeja la intensidad para obtener el valor de consumo de corriente que genera cada elemento.

**Diagrama de conexión.** Una vez seleccionados los componentes del sistema, se procede a realizar el diagrama de conexión en el software Livewire.

**Figura 43**

*Diagrama de conexión iluminación y auxiliares*



*Nota.* En el diagrama se observa las conexiones del sistema eléctrico con la simbología DIN-ISO.

## Capítulo IV

### Construcción y pruebas del vehículo monoplaza eléctrico

#### Construcción de la estructura del monoplaza

Para la estructura que soportará el vehículo, se parte con la selección del material de fabricación que son tubos circulares de acero A36 con un diámetro de una pulgada y espesor de 2.3 milímetros.

Se realizará una parte móvil que servirá como base para ajustar la carrocería por la parte trasera, y que además servirá para sujetar el eje de propulsión trasero que contiene al motor y al diferencial.

#### Figura 44

*Parte trasera de la estructura*



*Nota.* En la figura se puede observar la parte móvil que se une a la estructura principal, en la cual se sueldan platinas para soportar la base de la carrocería y del elemento donde se sujetará el amortiguador trasero.

En la parte delantera, se realiza otra pieza móvil, en la cual se realizará una base para ajustar la parte delantera de la carrocería y colocar los amortiguadores delanteros.

### Figura 45

*Parte delantera de la estructura*

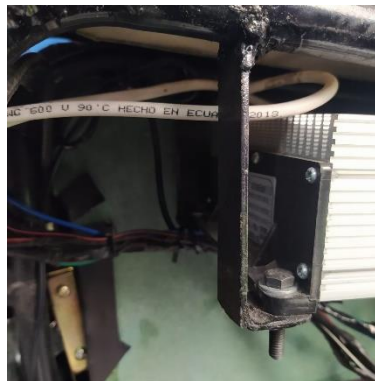


*Nota.* En la figura se puede observar la parte móvil que se une a la estructura principal en la parte delantera, la cual soportará la carrocería y los amortiguadores delanteros.

Se realizan los soportes para el controlador del sistema eléctrico de propulsión.

### Figura 46

*Soportes de controlador*



*Nota.* En la figura se puede observar la soldadura de los soportes fabricados para el controlador de 5000W en la parte superior de la estructura.

Se construye el soporte para los convertidores de voltaje a doce voltios.

**Figura 47**

*Soporte para convertidores de voltaje*



*Nota.* En la figura se identifica la base realizada para poder soportar los convertidores de voltaje de 60V a 12V, los cuales se encuentran en la parte baja de la estructura de metal.

**Construcción y ensamblado de la carrocería**

Luego de tener el diseño en dibujo asistido 3D y realizada la simulación respectiva, se procede a la construcción de la carrocería del vehículo monoplaza eléctrico.

Se efectúan las bases de la carrocería con la utilización de una estructura de madera que facilitará la fabricación en fibra de vidrio y que dará soporte y forma a dicho componente.

**Figura 48**

*Estructura de madera para la carrocería*





*Nota.* En la figura se observa la construcción de la estructura de madera que dará forma a la carrocería del vehículo.

Luego de obtener la estructura de madera, se construye la carrocería con fibra de vidrio, tomando en cuenta la forma realiza en el diseño. Una vez seca la fibra, se lija toda la superficie para que la masilla que será colocada posteriormente, se adhiera de una mejor manera.

Se cubre toda la superficie con masilla hasta que no existan imperfecciones, lo cual ayudará a tener un mejor acabado de la carrocería una vez se haya lijado, fondeado, pintado y pulido.

#### **Figura 49**

*Masillado de la carrocería*



*Nota.* En la figura se puede observar cómo se cubre la carrocería con masilla.

#### **Figura 50**

*Fondeado y pintado de la carrocería*



*Nota.* En la figura se presenta el procedimiento de fondeado y pintado de la carrocería.

Se efectúan los acabados interiores y exteriores de la carrocería, que consta del tapizado y de la colocación de ventanas y parabrisas.

### **Figura 51**

*Acabados de la carrocería*



*Nota.* En la figura se puede observar el tapizado interior de la carrocería con cuerina.

### **Instalación del sistema de propulsión**

En este sistema de propulsión eléctrico están involucrados componentes que se han escogido según el diseño previo y los cuales se instalarán de manera ordenada.

#### ***Motor y eje trasero***

El motor seleccionado anteriormente en el diseño, se ajusta en el eje posterior, el cual contiene un conjunto de engranes, que transmiten el movimiento hacia las ruedas traseras del vehículo. Cabe destacar que el eje posterior cuenta con un selector de cable, el cual escoge entre dos relaciones de transmisión, un alta y una baja; la relación alta es de 1:9.2, mientras que la relación baja es de 1:21.8.

**Figura 52**

*Ensamble motor – eje trasero*



*Nota.* En la figura se observa el ensamble del motor en el eje motriz trasero.

Se coloca el eje con el motor en el chasis del vehículo, utilizando los componentes de ajuste necesarios, los cuales son cuatro abarcones con sus respectivas tuercas y placas, y dos bases de sujeción.

**Figura 53**

*Elementos de sujeción del eje al chasis*



*Nota.* En la figura se pueden observar todos los componentes utilizados para sujetar el eje posterior al chasis del vehículo eléctrico.

**Figura 54**

*Ensamble del eje posterior al chasis*



*Nota.* En la figura se observa el ensamble del eje trasero al chasis, utilizando los componentes de ajuste correspondientes.

***Sistema de carga***

Para poder cargar el pack de baterías de alto voltaje del vehículo eléctrico, se utiliza un cargador externo a conexión de 110V el cual debe proporcionar el voltaje adecuado de salida para poder cargar eficientemente la batería.

En el mercado existen diversos tipos de cargadores, los cuales se escogen de acuerdo al tiempo de carga, en este caso se ha elegido un cargador para baterías de litio con una entrada de 110V de corriente alterna y una salida de hasta 84V de corriente directa a 8Ah.

Este cargador es ideal para la batería de 60V elegida, ya que al llegar al pico de voltaje de la misma que es de 67,2V se desconecta automáticamente para así dejar de enviar carga y no dañar la batería.

## Figura 55

*Cargador para el vehículo eléctrico*



*Nota.* En la figura se visualiza el cargador utilizado para la batería del vehículo eléctrico monoplaza.

## Instalación de los sistemas automotrices

### *Sistema de suspensión*

En el vehículo eléctrico construido se tiene un sistema de suspensión que consta de tres amortiguadores, dos en la parte frontal y uno en la parte trasera.

Se construyen las bases en la estructura para la sujeción de los amortiguadores en los lugares exactos donde cumplen su función eficientemente.

## Figura 56

*Sistema de suspensión en el vehículo*



*Nota.* En la figura se observa la colocación correspondiente de los amortiguadores en la estructura del vehículo eléctrico.

### ***Sistema de dirección***

Este sistema de dirección es mecánico y está compuesto por una columna de dirección, terminales, rótulas y volante.

Se realiza la columna de dirección, en donde se adaptó un volante circular con la utilización de una base metálica.

#### **Figura 57**

*Modificación de columna de dirección*



*Nota.* En la figura se puede visualizar la modificación realizada en la columna de dirección para poder adaptar un volante circular.

La columna de dirección se conecta a una cremallera adaptada con terminales regulables a través de un cardán.

**Figura 58**

*Sistema de dirección con cremallera*



*Nota.* En la figura se puede observar la conexión de la columna de dirección con la cremallera.

Para las rótulas de dirección, se utilizan unas de cuatriciclo existentes en el mercado, las cuales se adaptaron al rin ya que tenían tres puntos de apoyo.

**Figura 59**

*Rótulas de dirección*



*Nota.* En la figura se visualizan las rótulas de dirección utilizadas en el vehículo, además de la adaptación realizada en los rines para poder implementarlas.

Finalmente, se conectan las llantas, las cuales constan de neumáticos 3.5/10 que se han elegido para este vehículo, tanto en la parte delantera con las manzanas de dirección, como en la parte trasera en el eje motriz.

### **Figura 60**

*Neumáticos del vehículo*



*Nota.* En la figura se observa el rin de diez pulgadas y neumático 3.5/10 seleccionados para el vehículo eléctrico.

### **Sistema de frenos**

El vehículo consta con frenos incorporados en el eje posterior, los cuales son de tipo tambor, su accionamiento es mecánico por medio de pedal y cables.

Para el accionamiento se adaptó un pedal desmontable en la estructura del vehículo al cual se le conectaron dos cables los cuales van a cada uno de los tambores.

### **Figura 61**

*Frenos de tambor en el vehículo*





*Nota.* En la figura se puede visualizar la adaptación del penal y el tambor de freno internamente.

### **Sistema eléctrico**

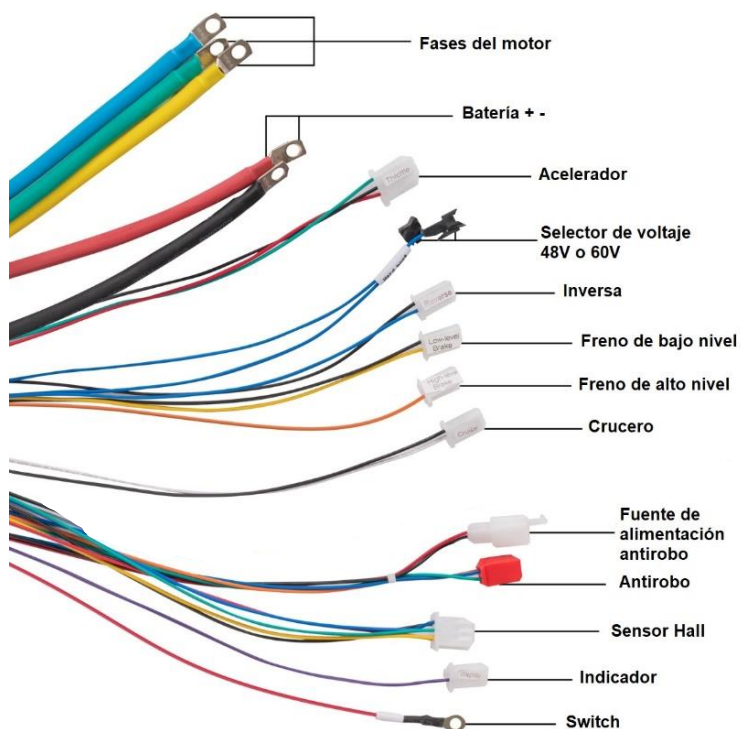
Este sistema abarca la iluminación, control electrónico e indicadores.

#### **Control electrónico**

En el control electrónico se tiene la conexión de todos los componentes de transmisión de potencia e indicadores hacia el controlador, este último consta de varios pines en los cuales se conectan cada uno de los componentes que van a ser controlados durante su funcionamiento, además de tener las conexiones de la batería de alto voltaje y del motor eléctrico.

#### **Figura 62**

*Pines del controlador electrónico de potencia*



*Nota.* En la figura se puede observar los pines de conexión presentes en el controlador para todos los componentes del vehículo.

- Se conecta positivo y negativo de la batería al controlador que son los cables rojo y negro respectivamente, seguido de esto se conectan las tres fases del motor, estos cables son de color amarillo (fase V), verde (fase W) y azul (fase U), transmiten la corriente de alto voltaje.
- Para que el controlador pueda accionar el motor necesita obtener señales de sensores como el sensor Hall. Este sensor está posicionado en el motor y le informa al controlador la posición del rotor, este posee cinco cables: negro (negativo), rojo (alimentación 5V), Azul (fase U), amarillo (fase V) y verde (fase W); estos se conectan al pin del controlador.
- El acelerador es de tipo potenciómetro de tres cables: negro (negativo), verde (señal) y rojo (alimentación 5V); el cual varía su resistencia enviando una señal al controlador para que este pueda variar la rotación del motor.
- El selector de giro de motor es un conmutador de tres posiciones, el cual se conecta a través de tres cables: blanco-negro (negativo), blanco (señal adelante) y verde (señal reversa); y permite enviar dos señales al controlador, una para que el vehículo se desplace hacia adelante y otra en reversa.
- A la salida del controlador se encuentra un cable rojo el cual se debe conectar al switch de encendido para poder alimentar el controlador y que este entre en funcionamiento.
- El controlador posee un selector de voltaje de funcionamiento que consta de dos cables azules, si estos se encuentran desconectados el controlador funcionará a cuarenta y ocho voltios, y cuando estén conectados funcionará a sesenta voltios.

- La conexión del display o indicador consta de un solo cable de color morado que sale del controlador al tablero, para informar la velocidad del vehículo.
- El switch posee dos cables: rojo que se conecta al cable rojo de 60V del controlador y negro se conecta al display formando un circuito en serie.

### Figura 63

*Conexiones del control electrónico*



*Nota.* En la figura se visualizan las conexiones realizadas en el controlador del vehículo eléctrico.



En la siguiente tabla se indican los componentes del sistema eléctrico de propulsión entre controlador, sensores y actuadores con sus respectivas características.

### Tabla 12

*Componentes del sistema eléctrico de propulsión*

Elemento	Características	Imagen
Controlador	Potencia: 5kW Voltaje: 48V – 60V Corriente máxima: 120A	

Elemento	Características	Imagen
Batería	Voltaje nominal: 60V Voltaje máximo: 67.2V Amperaje: 42 Ah	
Motor eléctrico	Potencia: 5kW Voltaje: 60V	
Sensor Hall	Sensor de cinco cables incorporado en el motor	
Acelerador	Sensor tipo hall de tres cables	
Selector de giro de motor	Conmutador de tres posiciones: adelante, neutro y atrás.	

Elemento	Características	Imagen
Switch de encendido	Conmutador de dos posiciones	
Display	Voltaje: 48V – 60V. Indicadores de: intermitentes, luces, velocidad, estado de carga y kilometraje.	

*Nota.* En la tabla se visualizan los componentes eléctricos y electrónicos del sistema de propulsión y control de potencia.

### Iluminación e indicadores

Obtenido el voltaje requerido para el correcto funcionamiento de los componentes de iluminación y auxiliares mediante el convertidor de voltaje, se procede con la conexión y ubicación de los mismos en el vehículo.



- Se obtienen todos los indicadores y faros de iluminación.
- Se selecciona el mando de control requerido para todos los componentes del sistema, en este se encuentran el flasher para la intermitencia de direccionales.
- Se toma la conexión de voltaje de 12V del cable negro y de masa del cable verde para todos los indicadores y faros, además de los componentes auxiliares.
- El faro principal consta de tres cables: verde (negativo), café (luces bajas) y negro (luces altas).





- Se tienen cuatro intermitentes, las cuales se conectan entre sí mediante el mando y el flasher para poder obtener las direccionales de izquierda y derecha, y el parqueo; poseen dos cables: verde (negativo) y celeste (alimentación 12V).
- La bocina seleccionada cuenta con dos cables: negro (alimentación 12V) y verde (negativo); este accionado mediante un pulsador en el mando de control.
- El faro trasero se conecta en paralelo con las luces de alta y baja para obtener una señal de posición, posee tres cables: verde (masa), amarillo (luz de freno) y negro (luz de posición).
- El faro trasero se conecta a un trompo de freno que envía la señal para que el faro se encienda al presionar el pedal de freno, está tiene mayor intensidad que la de posición; además, se tiene una luz auxiliar conectada en paralelo.

En la siguiente tabla se indican los componentes del sistema eléctrico de iluminación y auxiliares con sus respectivas características.

**Tabla 13**

*Componentes del sistema eléctrico de iluminación y auxiliares*

Elemento	Características	Imagen
Faro delantero	Potencia de baja: 15W Potencia de alta: 15W Voltaje: 12V	
Faro trasero	Potencia de posición: 15W Potencia de frenado: 20W Voltaje: 12V	

Elemento	Características	Imagen
Luz de freno auxiliar	Potencia: 15W Voltaje: 12V	
Direccional	Potencia: 10W c/u Voltaje: 12V	
Bocina	Potencia: 15W Voltaje: 12V	
Convertidor CC-CC	Voltaje entrada: 36V a 72V Voltaje salida: 12V Corriente de salida: 10A	

*Nota.* en la tabla se visualizan los componentes eléctricos y electrónicos del sistema de propulsión y control de potencia.

### Pruebas del monoplaza

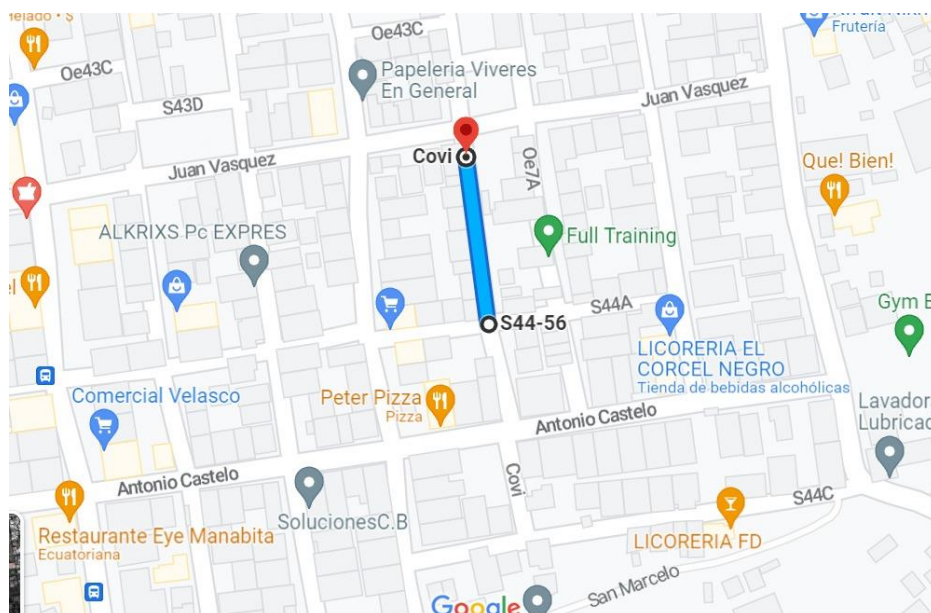
Para corroborar el funcionamiento del vehículo monoplaza eléctrico, se procede a realizar algunas pruebas para determinar su correcto funcionamiento y eficiencia. Las cuales se exponen a continuación.

#### *Prueba de autonomía*

**Autonomía calculada.** Se utilizan dos estrategias para poder determinar la autonomía del vehículo en dos diferentes pistas de prueba.

**Tabla 14***Parámetros de prueba*

Parámetro	Descripción
Pista 1	Pendiente 0%
Pista 2	Pendiente de 10%
Estrategia 1	Aceleración máxima, permanece acelerado todo el tiempo de prueba
Estrategia 2	Velocidad constante de 20km/h durante todo el tiempo de prueba

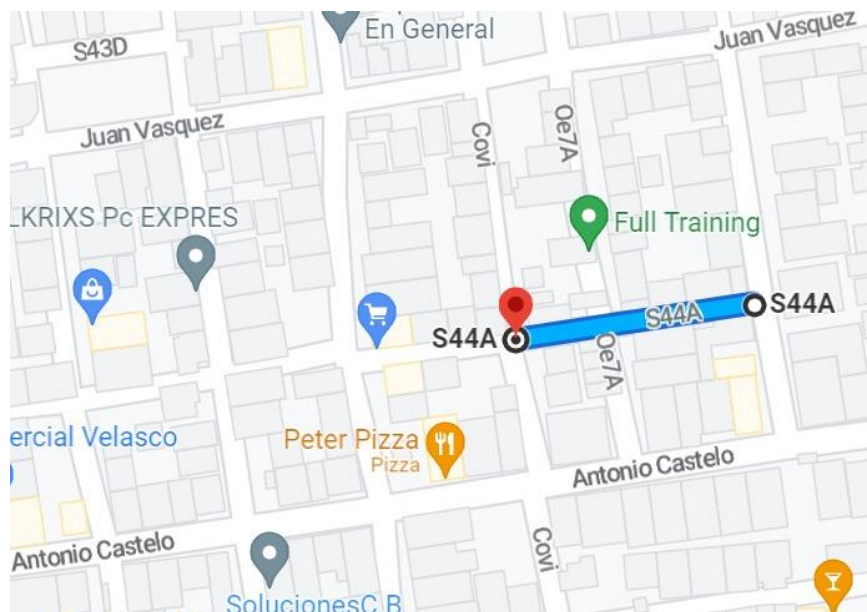
**Figura 64***Pista 1*

*Nota.* En la figura se puede observar la pista 1, empieza en la esquina de la calle S44A y Covi, la cual tiene una pendiente del 0% y que para la prueba se tomó un tramo de 69 metros en sentido sur – norte.



## Figura 65

### Pista 2



*Nota.* En la figura se visualiza la pista 2, empieza en la esquina de la calle Emiliana Rivadeneira y S44A, la cual tiene una pendiente del 10% y que para la prueba se tomó un tramo de 79 metros en sentido este – oeste.

**Primera prueba: Pista 1 – Estrategia 1.** Para esta prueba se obtienen los datos mostrados a continuación en una pista con una pendiente del 0% y aceleración máxima.

**Tabla 15**

*Datos de la primera prueba*

Tiempo	Distancia	Velocidad	Voltaje	Corriente
(s)	(m)	(km/h)	(V)	(A)
1	0,28	1	62,9	31,5
2	1,67	5	62,60	33,9
3	5,28	13	62	35,1

Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Voltaje (V)	Corriente (A)
4	10,56	19	60,5	40
5	18,61	29	58,6	64
6	28,89	37	59,4	35,9
7	40,28	41	61,1	18,4
8	51,94	42	61,7	16,2

*Nota.* En la tabla se pueden observar los valores medidos en la primera prueba.

Con los valores obtenidos se calcula la potencia y el consumo de la siguiente manera:

**Ecuación 21** Potencia eléctrica

$$P = V \cdot I$$

*Donde:*

$P =$  Potencia calculada (W)

$V =$  Voltaje (V)

$I =$  Corriente (A)

**Ecuación 22** Consumo calculado

$$E = P \cdot t$$

*Donde:*

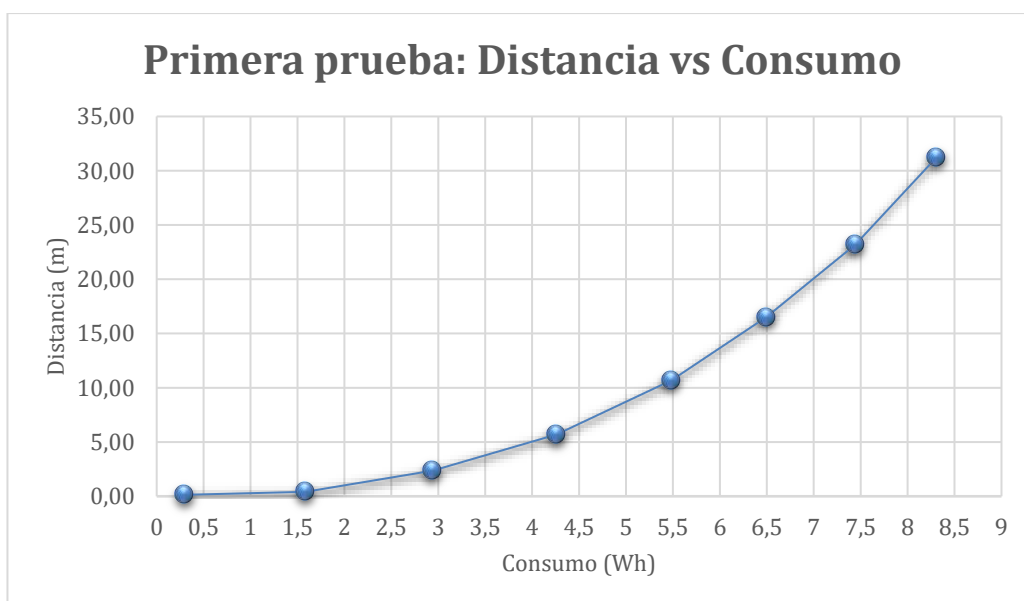
$E =$  Consumo calculado (Wh)

$t =$  Tiempo (h)

**Tabla 16***Potencia y consumo calculados*

Tiempo (s)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Energía (Wh)	Consumo (Wh)
1	62,9	31,5	1981,35	0,550375	0,550375
2	62,60	33,9	2122,14	0,5894833	1,13985833
3	62	35,1	2176,2	0,6045	1,74435833
4	60,5	40	2420	0,6722222	2,41658056
5	58,6	64	3750,4	1,0417778	3,45835833
6	59,4	35,9	2132,46	0,59235	4,05070833
7	61,1	18,4	1124,24	0,3122889	4,36299722
8	61,7	16,2	999,54	0,27765	4,64064722

En el siguiente gráfico se muestra la curva obtenida del consumo calculado de acuerdo a los valores medidos.

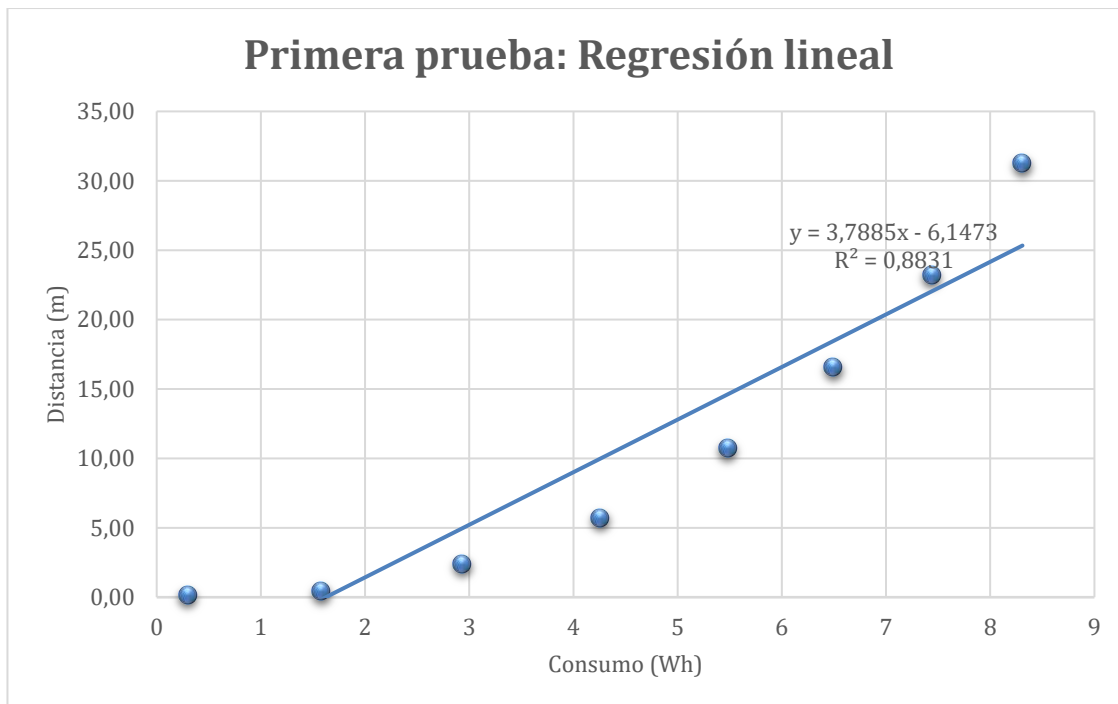
**Figura 66***Primera prueba: Distancia vs Consumo*

*Nota.* En la figura se observa el diagrama Distancia vs Consumo de energía

Para poder obtener la ecuación que permita calcular la autonomía, se realiza una regresión lineal de los datos del consumo de energía.

**Figura 67**

*Primera prueba: Regresión lineal*



*Nota.* En la figura se visualiza la ecuación obtenida mediante regresión lineal.

Obtenida la ecuación se debe calcular el aporte de energía de la batería:

*Datos:*

$$V_b = 60V$$

$$I_b = 42Ah$$

$$E_b = V_b \cdot I_b$$

$$E_b = 60V \cdot 42Ah$$

$$E_b = 2520 Wh$$

La distancia total recorrida se calcula reemplazando el valor de energía aportada por la batería en la ecuación lineal.

$$d(E) = 11.513E - 12.497$$

$$d(E) = 11.513(2520) - 12.497$$

$$d(E) = 29000.263 \text{ m}$$

$$d(E) = 29 \text{ km}$$

**Segunda prueba: Pista 1 – Estrategia 2.** Para esta prueba se obtienen los datos mostrados a continuación en una pista con una pendiente del 0% y velocidad constante de 20 km/h.

**Tabla 17**

*Datos de la segunda prueba*

Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Voltaje (V)	Corriente (A)
1	5,56	20	62,3	10,4
2	11,11	20	62,90	4,5
3	16,67	20	62,5	11,3
4	22,22	20	62,4	15,7
5	27,78	20	63	5,8
6	33,33	20	62,4	12,7
7	39,44	22	62,3	14,9
8	45,28	21	63	6,8
9	51,11	21	62,6	10,8
10	56,94	21	62,4	12,6
11	62,78	21	61,9	12,2
12	68,89	22	62,3	10,11

*Nota.* En la tabla se pueden observar los valores medidos en la segunda prueba.

Con los valores obtenidos se calcula la potencia y el consumo de energía.

**Tabla 18**

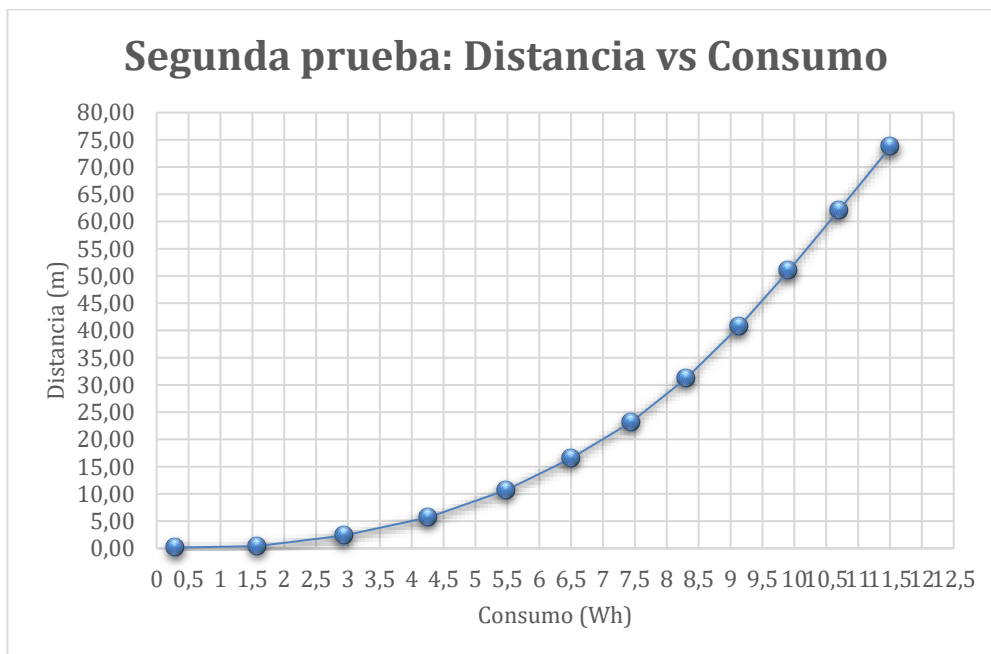
*Potencia y consumo calculados*

<b>Tiempo</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Corriente</b>	<b>Potencia</b>	<b>Energía</b>	<b>Consumo</b>
<b>(s)</b>	<b>(V)</b>	<b>(A)</b>	<b>(W)</b>	<b>(Wh)</b>	<b>(Wh)</b>
1	62,3	10,4	647,92	0,1799778	0,17997778
2	62,90	4,5	283,05	0,078625	0,25860278
3	62,5	11,3	706,25	0,1961806	0,45478333
4	62,4	15,7	979,68	0,2721333	0,72691667
5	63	5,8	365,4	0,1015	0,82841667
6	62,4	12,7	792,48	0,2201333	1,04855
7	62,3	14,9	928,27	0,2578528	1,30640278
8	63	6,8	428,4	0,119	1,42540278
9	62,6	10,8	676,08	0,1878	1,61320278
10	62,4	12,6	786,24	0,2184	1,83160278
11	61,9	12,2	755,18	0,2097722	2,041375
12	62,3	10,11	629,853	0,1749592	2,21633417

En el siguiente gráfico se muestra la curva obtenida del consumo calculado de acuerdo a los valores medidos.

**Figura 68**

Segunda prueba: Distancia vs Consumo

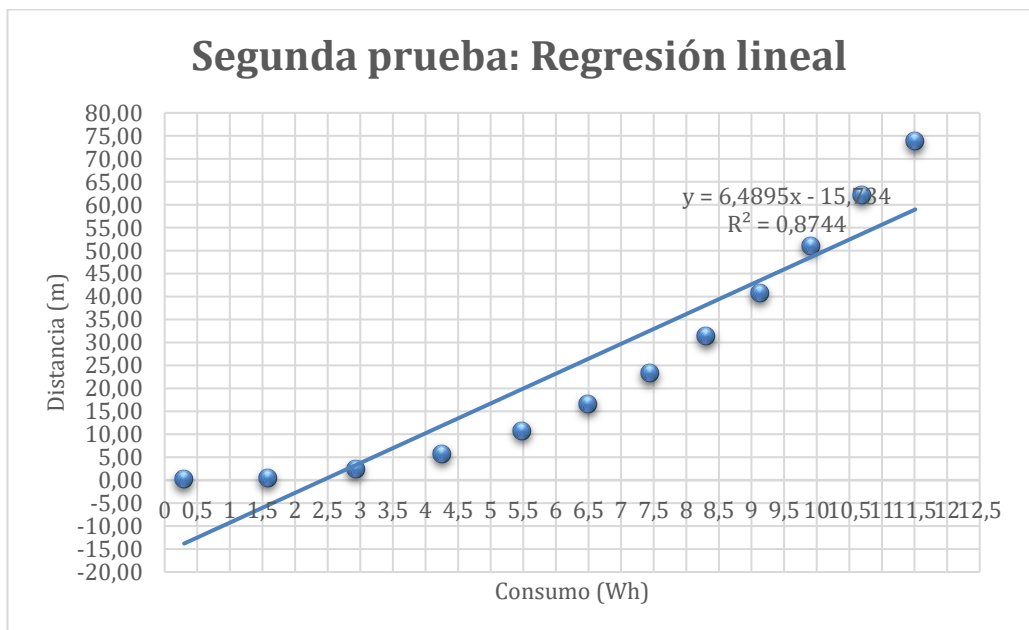


*Nota.* En la figura se observa el diagrama Distancia vs Consumo de energía

Para poder obtener la ecuación que permita calcular la autonomía, se realiza una regresión lineal de los datos del consumo de energía.

**Figura 69**

Segunda prueba: Regresión lineal



*Nota.* En la figura se visualiza la ecuación obtenida mediante regresión lineal.

La distancia total recorrida se calcula reemplazando el valor de energía aportada por la batería en la ecuación lineal.

$$d(E) = 30.091E + 1.8246$$

$$d(E) = 30.091(2520) + 1.8246$$

$$d(E) = 75831.145 \text{ m}$$

$$d(E) = 75.831 \text{ km}$$

**Tercera prueba: Pista 2 – Estrategia 1.** Para esta prueba se obtienen los datos mostrados a continuación en una pista con una pendiente del 10% y aceleración máxima.

**Tabla 19**

*Datos de la tercera prueba*

Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Voltaje (V)	Corriente (A)
1	0,14	0,5	62,8	17,1
2	0,42	1	61,80	74,9
3	2,36	7	60,8	80,1
4	5,69	12	60,4	78,8
5	10,69	18	60,3	73,1
6	16,53	21	60,2	60,6
7	23,19	24	59,9	56,8
8	31,25	29	58,5	53,4
9	40,69	34	58,4	50,6
10	50,97	37	58,3	48,2



<b>Tiempo</b>	<b>Distancia</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Corriente</b>
<b>(s)</b>	<b>(m)</b>	<b>(km/h)</b>	<b>(V)</b>	<b>(A)</b>
11	62,08	40	59	48,1
12	73,75	42	61	48

*Nota.* En la tabla se pueden observar los valores medidos en la tercera prueba.

Con los valores obtenidos se calcula la potencia y el consumo de energía.

**Tabla 20**

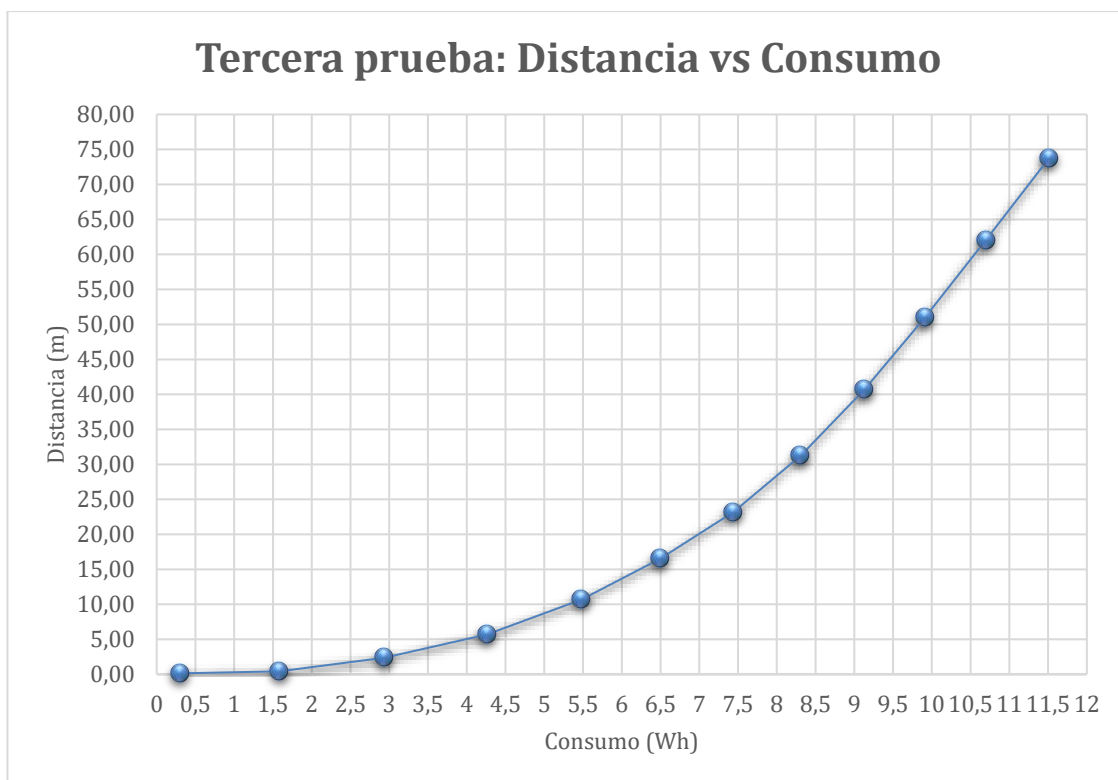
*Potencia y consumo calculados*

<b>Tiempo</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Corriente</b>	<b>Potencia</b>	<b>Energía</b>	<b>Consumo</b>
<b>(s)</b>	<b>(V)</b>	<b>(A)</b>	<b>(W)</b>	<b>(Wh)</b>	<b>(Wh)</b>
1	62,8	17,1	1073,88	0,2983	0,2983
2	61,80	74,9	4628,82	1,2857833	1,58408333
3	60,8	80,1	4870,08	1,3528	2,93688333
4	60,4	78,8	4759,52	1,3220889	4,25897222
5	60,3	73,1	4407,93	1,224425	5,48339722
6	60,2	60,6	3648,12	1,0133667	6,49676389
7	59,9	56,8	3402,32	0,9450889	7,44185278
8	58,5	53,4	3123,9	0,86775	8,30960278
9	58,4	50,6	2955,04	0,8208444	9,13044722
10	58,3	48,2	2810,06	0,7805722	9,91101944
11	59	48,1	2837,9	0,7883056	10,699325
12	61	48	2928	0,8133333	11,5126583

En el siguiente gráfico se muestra la curva obtenida del consumo calculado de acuerdo a los valores medidos.

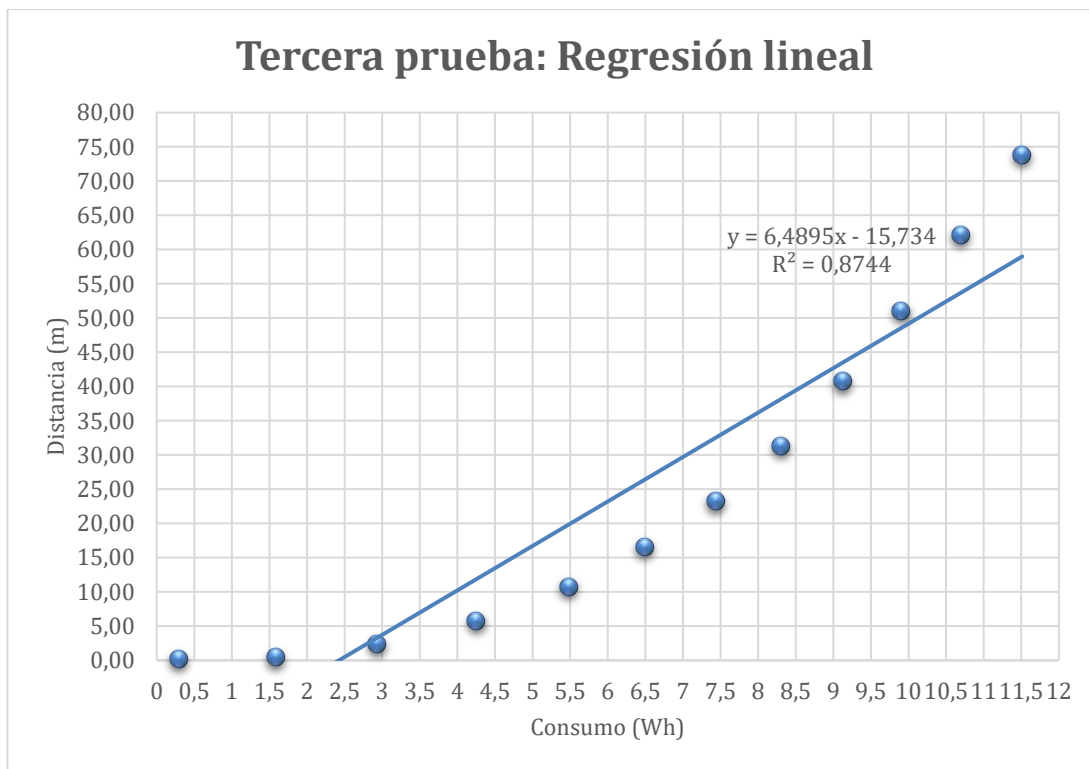
**Figura 70**

*Tercera prueba: Distancia vs Consumo*



*Nota.* En la figura se observa el diagrama Distancia vs Consumo de energía

Para poder obtener la ecuación que permita calcular la autonomía, se realiza una regresión lineal de los datos del consumo de energía.

**Figura 71***Tercera prueba: Regresión lineal*

*Nota.* El la figura se visualiza la ecuación obtenida mediante regresión lineal.

La distancia total recorrida se calcula reemplazando el valor de energía aportada por la batería en la ecuación lineal.

$$d(E) = 6.4895E - 15.734$$

$$d(E) = 6.4895(2520) - 15.734$$

$$d(E) = 16337.806 \text{ m}$$

$$d(E) = \mathbf{16.337 \text{ km}}$$

**Cuarta prueba: Pista 2 – Estrategia 2.** Para esta prueba se obtienen los datos mostrados a continuación en una pista con una pendiente del 10% y velocidad constante de 20 km/h.

**Tabla 21***Datos de la cuarta prueba*

<b>Tiempo</b>	<b>Distancia</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Corriente</b>
<b>(s)</b>	<b>(m)</b>	<b>(km/h)</b>	<b>(V)</b>	<b>(A)</b>
1	5.28	19	61.5	36.6
2	11.11	20	61.3	42.6
3	16.67	20	61.4	34.8
4	22.22	20	61.4	37.3
5	27.78	20	61.3	37.9
6	35	21	61.3	39.9
7	38.89	20	61.3	36.5
8	46.67	21	61.2	39
9	50	20	61.3	36.8
10	58.33	21	61.2	40.2
11	61.11	20	61.2	35
12	66.67	19	60.9	41.1

*Nota.* En la tabla se pueden observar los valores medidos en la cuarta prueba.

Con los valores obtenidos se calcula la potencia y el consumo de energía.

**Tabla 22***Potencia y consumo calculados*

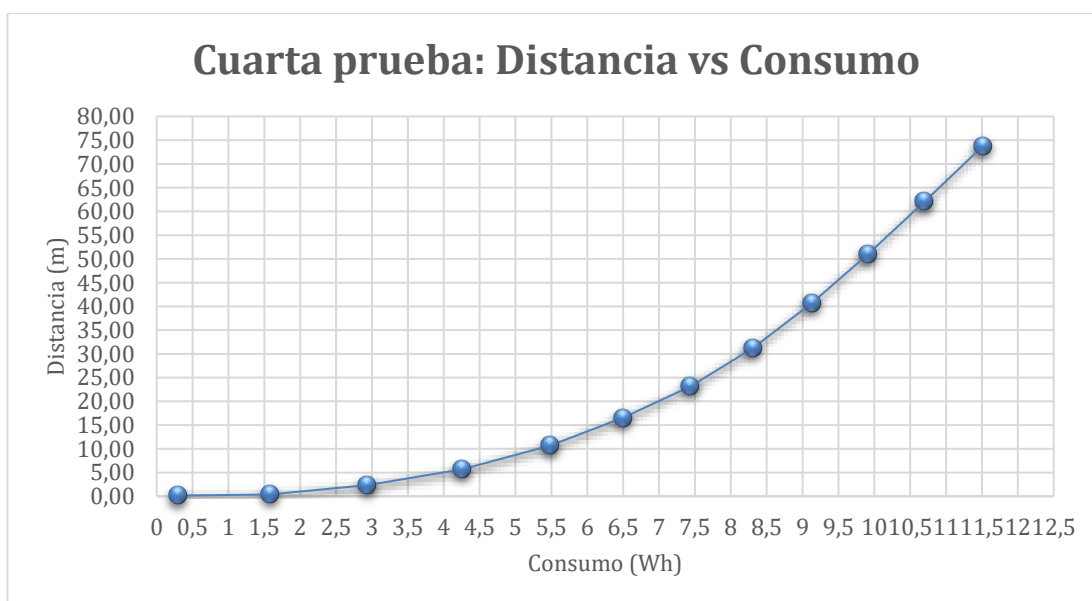
<b>Tiempo</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Corriente</b>	<b>Potencia</b>	<b>Energía</b>	<b>Consumo</b>
<b>(s)</b>	<b>(V)</b>	<b>(A)</b>	<b>(W)</b>	<b>(Wh)</b>	<b>(Wh)</b>
1	61.5	36.6	2250.9	0.6253	0.6253
2	61.3	42.6	2611.38	0.7254	1.3507

Tiempo (s)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Energía (Wh)	Consumo (Wh)
3	61.4	34.8	2136.72	0.5935	1.9442
4	61.4	37.3	2290.22	0.6362	2.5804
5	61.3	37.9	2323.27	0.6454	3.2258
6	61.3	39.9	2445.87	0.6794	3.9052
7	61.3	36.5	2237.45	0.6215	4.5267
8	61.2	39	2386.8	0.663	5.1897
9	61.3	36.8	2255.84	0.6266	5.8163
10	61.2	40.2	2460.24	0.6834	6.4997
11	61.2	35	2142	0.595	7.0947
12	60.9	41.1	2502.99	0.6953	7.79

En el siguiente gráfico se muestra la curva obtenida del consumo calculado de acuerdo a los valores medidos.

### Figura 72

*Cuarta prueba: Distancia vs Consumo*

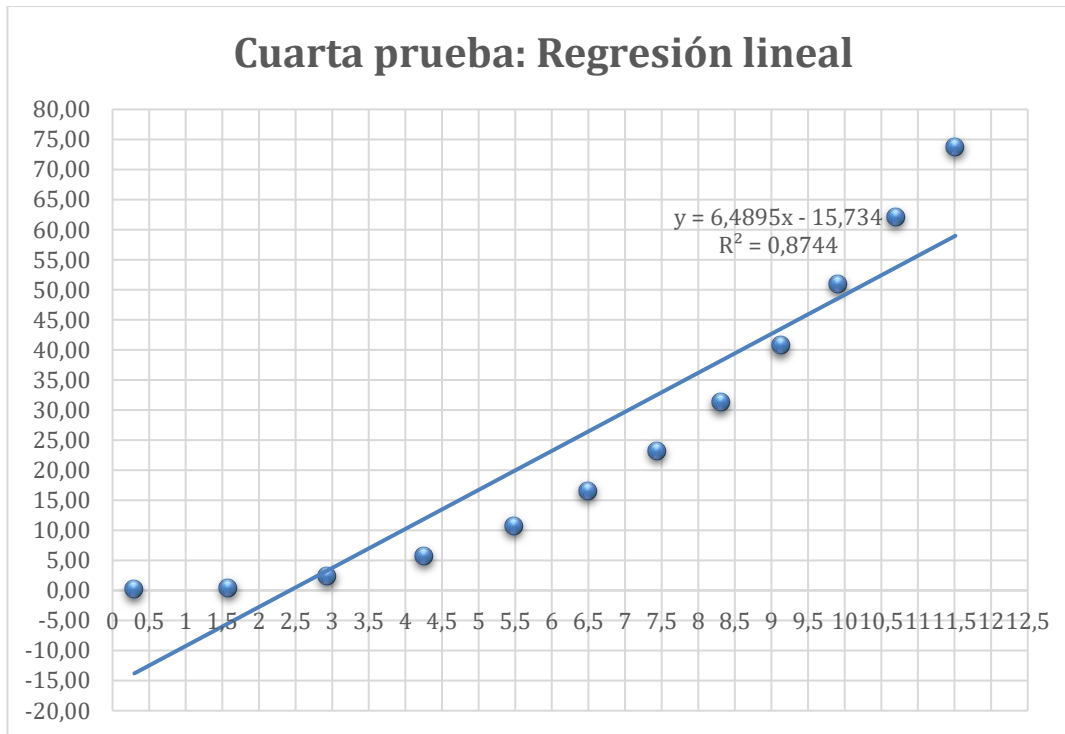


*Nota.* En la figura se observa el diagrama Distancia vs Consumo de energía

Para poder obtener la ecuación que permita calcular la autonomía, se realiza una regresión lineal de los datos del consumo de energía.

### Figura 73

*Cuarta prueba: Regresión lineal*



*Nota.* En la figura se visualiza la ecuación obtenida mediante regresión lineal.

La distancia total recorrida se calcula reemplazando el valor de energía aportada por la batería en la ecuación lineal.

$$d(E) = 8.7127E - 0.5432$$

$$d(E) = 8.7127(2520 \text{ Wh}) - 0.5432$$

$$d(E) = 21955.4608 \text{ m}$$

$$d(E) = \mathbf{21.955 \text{ km}}$$

Una vez finalizada la prueba de autonomía calculada, se observa que la mayor autonomía se obtiene al circular a una velocidad constante en las dos pistas propuestas.

### **Autonomía experimental**

Para la realización de la prueba de autonomía experimental se ha decidido realizar un recorrido en la ciudad de Quito, la cual comenzó a las 21:30 para evitar la congestión vehicular, la batería se encontraba completamente cargada y el clima en ese momento era despejado con una temperatura entre 11°C y 15°C.

### **Figura 74**

*Condiciones iniciales de la prueba*



*Nota.* En la figura se puede visualizar las condiciones iniciales de la prueba de autonomía, en donde se puede ver que la batería está totalmente cargada y el kilometraje se encuentra en cero.

El recorrido se realizó en el sur de la ciudad tomando en cuenta una ruta establecida de 12.5 km que se repitió constantemente, la cual consta de tramos horizontales y de pendientes entre 1% y 7%, el punto de partida y de llegada es en la Av. Teniente Hugo Ortiz y Av. Solanda.

**Figura 75**

*Ruta establecida para prueba de autonomía*



*Nota.* En la figura se observa la ruta realizada para la prueba de autonomía la cual consta de 12.5 km tomando en cuenta Google Maps.

El vehículo circulaba a una velocidad promedio de 25 km/h tomando las debidas precauciones, esta prueba se realizó hasta que la batería este totalmente descargada.

**Figura 76**

*Vehículo realizando la prueba de autonomía*



*Nota.* En la figura se observa al vehículo eléctrico circulando por la ruta especificada.



Al concluir con la prueba, se obtuvo que el vehículo después de circular por 4 horas y 10 minutos seguidas logró una autonomía de 71 km repitiendo 5 vueltas la ruta establecida y 8.5 km comenzando la sexta vuelta.

### Figura 77

*Condiciones finales de la prueba*



*Nota.* En la figura se visualiza que la batería está agotada y el kilometraje marca 71 km, además se puede ver el testigo luminoso que indica que el vehículo requiere de una nueva carga.

### ***Prueba de velocidad máxima y aceleración***

En esta prueba se mide la velocidad máxima que alcanza el vehículo eléctrico y posteriormente se calcula la aceleración, para esto se parte del reposo y se acelera a fondo, se toma el tiempo en el que alcanza la velocidad máxima.

Se ha realizado tres pruebas en las mismas condiciones para poder obtener un promedio, en la siguiente tabla se indican los valores obtenidos.

**Tabla 23**

*Valores de velocidad máxima y aceleración*

<b>Prueba</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Velocidad máxima (km/h)</b>	<b>Aceleración (m/s<sup>2</sup>)</b>
Prueba1	7.12	42	1.64

<b>Prueba</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Velocidad máxima (km/h)</b>	<b>Aceleración (m/s<sup>2</sup>)</b>
Prueba2	7.07	41	1.35
Prueba3	7.11	42	1.64
<b>Promedio</b>		<b>41.67</b>	<b>1.54</b>

*Nota.* En la tabla se puede observar los valores obtenidos de tiempo y velocidad máxima, con los cuales se calcula la aceleración del vehículo y se obtiene un valor promedio.

Una vez finalizada la prueba, se obtuvo que el valor máximo de velocidad que alcanza el vehículo en promedio es de 41.67km/h, el cual es un valor normal y seguro para la circulación diaria en entorno urbano, además, se obtuvo que el vehículo tiene una aceleración promedio de 1.54 m/s<sup>2</sup>.

### ***Prueba de carga de batería***

Esta prueba consiste en medir el tiempo que la batería ocupa para cargarse completamente desde cero.

Para esto se utiliza el cargador seleccionado, el cual será de uso externo, por lo que se deberá conectar a una toma de 110V AC; cabe recalcar que la batería tiene dos bloques que se cargan independientemente por lo que se tomará el tiempo y la subida de voltaje de una sola batería.

**Tabla 24***Carga de batería Tiempo/Voltaje*

<b>Tiempo</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Carga</b>
<b>(min)</b>	<b>(V)</b>	<b>(%)</b>
0	52	0,00
0,5	53,6	10,06
1	54,8	17,61
1,5	55,6	22,64
2	56	25,16
2,5	56,3	27,04
3	56,5	28,30
3,5	56,7	29,56
4	56,8	30,19
4,5	56,9	30,82
5	56,9	30,82
6	57	31,45
8	57,1	32,08
10	57,2	32,70
11	57,3	33,33
13	57,4	33,96
15	57,5	34,59
16	57,6	35,22
17,5	57,7	35,85
19	57,8	36,48
20	57,9	37,11

<b>Tiempo</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Carga</b>
<b>(min)</b>	<b>(V)</b>	<b>(%)</b>
21,5	58	37,74
23	58,1	38,36
24	58,2	38,99
26	58,3	39,62
28	58,4	40,25
30	58,5	40,88
32	58,6	41,51
36	58,7	42,14
40	58,8	42,77
44	58,9	43,40
48	59	44,03
51	59,1	44,65
55	59,2	45,28
58	59,3	45,91
61	59,4	46,54
64	59,5	47,17
67	59,6	47,80
69	59,7	48,43
72	59,8	49,06
73,5	60	50,31
76	60,1	50,94
77,5	60,2	51,57
79,5	60,3	52,20

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Carga (%)</b>
81	60,4	52,83
83	60,5	53,46
84	60,6	54,09
86	60,7	54,72
87,5	60,8	55,35
89	60,9	55,97
90,5	61	56,60
91	61,1	57,23
92,5	61,2	57,86
94	61,3	58,49
95	61,4	59,12
96	61,5	59,75
97,5	61,6	60,38
98,5	61,7	61,01
100	61,8	61,64
101	61,9	62,26
101,5	62	62,89
103	62,1	63,52
104	62,2	64,15
105	62,3	64,78
106	62,4	65,41
107	62,5	66,04
108	62,6	66,67

<b>Tiempo</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Carga</b>
<b>(min)</b>	<b>(V)</b>	<b>(%)</b>
109	62,7	67,30
110	62,8	67,92
110,66	62,9	68,55
111,5	63	69,18
112,83	63,1	69,81
113,75	63,2	70,44
114,83	63,3	71,07
115,58	63,4	71,70
116,58	63,5	72,33
117,5	63,6	72,96
118,5	63,7	73,58
119,5	63,8	74,21
120,33	63,9	74,84
121,18	64	75,47
122,15	64,1	76,10
123,08	64,2	76,73
124,08	64,3	77,36
124,85	64,4	77,99
125,66	64,5	78,62
126,5	64,6	79,25
127,5	64,7	79,87
128,5	64,8	80,50
129,3	64,9	81,13

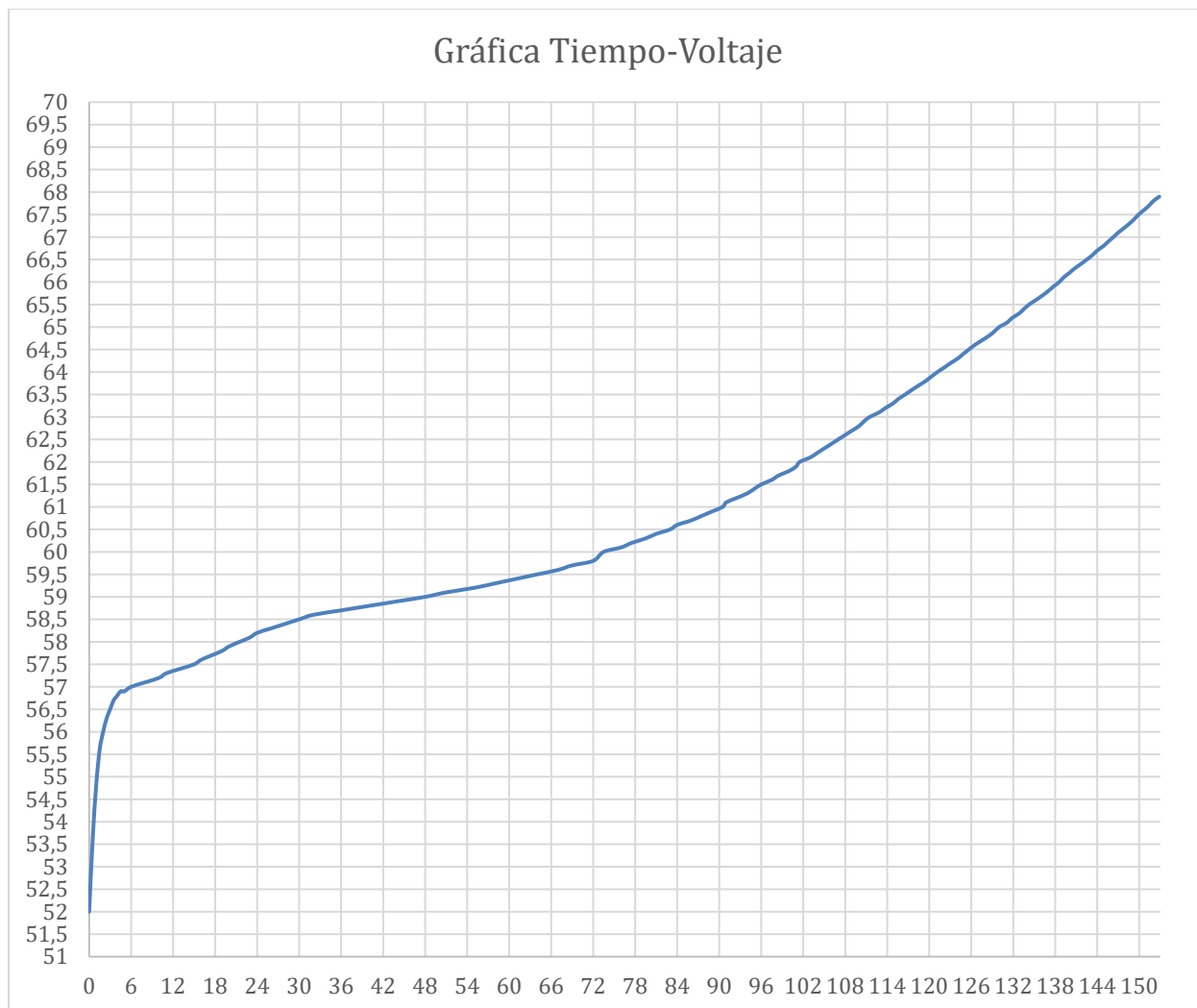
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Carga (%)</b>
130	65	81,76
131,13	65,1	82,39
131,83	65,2	83,02
132,84	65,3	83,65
133,52	65,4	84,28
134,27	65,5	84,91
135,23	65,6	85,53
136,17	65,7	86,16
137	65,8	86,79
137,75	65,9	87,42
138,58	66	88,05
139,18	66,1	88,68
140	66,2	89,31
140,75	66,3	89,94
141,65	66,4	90,57
142,51	66,5	91,19
143,33	66,6	91,82
144	66,7	92,45
144,88	66,8	93,08
145,58	66,9	93,71
146,32	67	94,34
147	67,1	94,97
147,83	67,2	95,60

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Carga (%)</b>
148,6	67,3	96,23
149,3	67,4	96,86
149,9	67,5	97,48
150,68	67,6	98,11
151,4	67,7	98,74
152	67,8	99,37
152,87	67,9	100,00

*Nota.* En la tabla se tienen los valores de tiempo, voltaje y porcentaje de carga de la batería, se tiene que la batería tiene una tensión de 52V cuando se encuentra totalmente descargada y al transcurrir el tiempo de 152,87 minutos llega a su carga máxima de 67,9V en donde el cargador deja de enviar corriente.

Para visualizar de mejor manera la carga de la batería, se presentan los valores de la tabla anterior en un gráfico Tiempo-Voltaje.



**Figura 78***Gráfico Tiempo-Voltaje*

*Nota.* En la figura se puede observar la gráfica obtenida con los valores recabados del tiempo y el voltaje durante la carga de la batería de alto voltaje.

Se obtuvo que un bloque de la batería se carga en un tiempo de 152.87 minutos lo que equivale a 2 horas con 32 minutos y 52 segundos, es decir, al cargar los dos bloques que son similares, la batería de alto voltaje se cargará en un tiempo de 5 horas y 5 minutos.

**Costo de carga.** Con el dato obtenido anteriormente, se calcula el costo de carga del vehículo, tomando en cuenta que en Ecuador el kilovatio hora tiene un valor de USD 0.10.

**Ecuación 23** Consumo de carga

$$\text{Consumo} = V_c \cdot C_b$$

Donde:

$V_c$  = Voltaje de carga de batería

$C_b$  = Capacidad de carga de batería

$$\text{Consumo} = 67.2 \text{ V} \cdot 42 \text{ Ah}$$

$$\text{Consumo} = 2822.4 \text{ Wh} = 2.822 \text{ kWh}$$

Se calcula el costo de carga:

$$\text{Costo} = \text{Consumo} \cdot 0.10 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo} = 2.822 \text{ kWh} \cdot 0.10 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo} = 0.28 \text{ USD}$$

Por lo que el vehículo podrá circular un total de 71 km con un costo de 0.28 USD.

Comparando los costos de energía con un scooter Honda DIO110 a gasolina con una potencia máxima de 5.4 kW, se determina que el vehículo eléctrico diseñado, reduce costos.

**Tabla 25**

*Comparación de costos de energía*

<b>Consideración</b>	<b>Monoplaza eléctrico</b>	<b>Scooter Honda DIO110</b>
Potencia máxima	5 kW – 6.8 hp	5.4 kW – 7.3 hp
Peso	199.23 kg	103 kg
Consumo	25.16 km/kWh	220 km/gl
Precio de energía	0.10 USD/kWh	2.40 USD/gl (Gasolina Extra)

<b>Consideración</b>	<b>Monoplaza eléctrico</b>	<b>Scooter Honda DIO110</b>
Costo por 1000 km recorridos	3.94 USD	10.91 USD

*Nota.* Tabla comparativa de costos de movilidad entre energía eléctrica y combustible.

## Capítulo V

### Marco Administrativo

#### Recursos

Para el desarrollo del proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO MONOPLAZA IMPULSADO ELÉCTRICAMENTE” se utilizaron los recursos humanos, materiales y tecnológicos.

#### *Recursos Humanos*

Los recursos humanos que formaron parte de este proyecto de investigación se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 26**

#### *Recursos Humanos*

Orden	Detalle	Función
1	Ing. Guido Rafael Torres Muñoz	Director del trabajo de titulación Investigador
2	Sr. Willians Salomón Boada Veintimilla	Investigador
3	Sr. Oswaldo Israel Montenegro Usama	Investigador
4	Sr. Nicolás Alexander Raza Mera	Investigador

*Nota.* La tabla muestra los recursos humanos que formaron parte del trabajo de investigación

### **Recursos Tecnológicos**

Para la realización del proyecto se utilizaron varios recursos tecnológicos para el diseño y construcción del vehículo monoplaza eléctrico, los cuales se detallan a continuación:

**Tabla 27**

#### *Recursos Tecnológicos*

<b>Orden</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>
1	Computador	1
2	Software CAD	1
3	Software Livewire	1
4	Microsoft Office	1
5	Multímetro	1
6	Celular con cámara	1
7	Dinamómetro	1
8	Internet	1

*Nota.* En la tabla se reflejan los recursos tecnológicos que formaron parte del trabajo de investigación.

### **Recursos materiales**

Los recursos materiales utilizados durante el desarrollo del vehículo se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 28**

#### *Recursos materiales*

<b>Orden</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
1	Chasis de cuatriciclo	1	

<b>Orden</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
2	Platinas de 5 milímetro	2	metros
3	Rines de 10 pulgadas	4	
4	Neumáticos 3.5/10	4	
5	Manzanas de dirección	2	
6	Terminales de dirección	2	
7	Columna de dirección	1	
8	Volante	1	
9	Amortiguadores	3	
10	Cable de frenos	2	metros
11	Pedal de freno	1	
12	Eje motriz trasero	1	
13	Motor eléctrico 5kW	1	
14	Controlador	1	
15	Pantalla indicadora	2	
16	Palanca de engranaje	1	
17	Switch de encendido	1	
18	Selector de velocidad	1	
19	Pedal de acelerador	1	
20	Abarcones	4	
21	Placas de abarcones	4	
22	Asiento	1	
23	Espejos retrovisores	2	
24	Ventanas	4	

<b>Orden</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
25	Faro delantero	1	
26	Intermitentes	4	
27	Luz de freno	2	
28	Cuerina	3	metros
29	Fibra de vidrio	4	Galones
30	Bisagras	4	
31	Pistones puerta superior	2	
32	Cerradura	1	
33	Soldadora MIG y SMAW	1	
34	Electrodos 6011	40	
35	Rollo de alambre MIG	4	Metros
36	Taladro	1	
37	Amoladora	1	
38	Disco de cortar	5	
39	Disco de pulir	3	
40	Brocas	4	
41	Batería de alto voltaje	1	
42	Cables de conexión	10	Metros
43	Terminales	20	
44	Pernos	40	
45	Caja de herramientas	1	
46	Lijas	10	
47	Masilla	2	Galones

<b>Orden</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
48	Fondo	2	Litros
49	Diluyente	1	Galón
50	Pintura	1	Litro
51	Clear	1	Litro
52	Cargador	1	
53	Convertido DC-DC	2	
54	Madera	5	Metros

*Nota.* En la tabla se reflejan los detalles, cantidad y unidad de los recursos materiales que fueron utilizados en el trabajo de investigación.

### **Presupuesto**

Para la ejecución del proyecto de titulación es importante indicar el presupuesto donde se detallan los gastos generados de todos los recursos empleados en el proyecto.

#### **Tabla 29**

##### *Presupuesto del proyecto*

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Costo total (USD)</b>
Chasis de cuatriciclo	1	300	300
Platinas de 5 milímetro	2	5	10
Rines de 10 pulgadas	4	5	20
Neumáticos 3.5/10	4	10	40
Sistema de dirección	1	180	180
Amortiguadores	3	25	75



<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Costo total (USD)</b>
Cable de frenos	2	4.25	8.50
Pedal de freno	1	5	5
Eje motriz trasero	1	133.80	133.80
Motor eléctrico 5kW	1	199	199
Controlador	1	141	141
Pantalla indicadora	2	10.70	21.40
Palanca de engranaje	1	1.30	1.30
Switch de encendido	1	1	1
Selector de velocidad	1	1.50	1.50
Pedal de acelerador	1	7.50	7.50
Abarcones	4	0.45	1.80
Placas de abarcones	2	0.45	0.90
Asiento	1	65	65
Espejos retrovisores	2	5	10
Ventanas	4	30	120
Faro delantero	1	15	15
Intermitentes	4	3	12
Luz de freno	2	5	10
Tapizado	1	60	60
Carrocería de fibra de vidrio	1	400	400
Bisagras	4	1.20	4.80
Pistones puerta superior	2	30	60

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Costo total (USD)</b>
Cerradura	1	5	5
Soldadura	1	30	30
Disco de cortar	5	1.50	7.50
Disco de pulir	3	2	6
Brocas	4	3	12
Batería de alto voltaje	1	750	750
Cables de conexión	10	1.20	12
Terminales	20	0.20	4
Pernos	40	0.20	8
Lijas	10	0.40	4
Masilla	2	24	48
Fondo	2	6.50	13
Diluyente	1	4	4
Pintura	1	17	17
Clear	1	20	20
Vinil decorativo	2	20	40
Cargador	1	120	120
Convertido DC-DC	2	18	36
Costes de importación	1	1657.95	1657.95
Costes de mano de obra	1	800	800
<b>TOTAL</b>			<b>5498.95</b>

*Nota.* La tabla muestra el costo total del proyecto de investigación, siendo este costo la suma de los recursos tecnológicos y materiales.

### **Financiamiento**

La presente investigación es financiada en su totalidad por los investigadores del proyecto, el costo total invertido es de \$5498.95.

## Conclusiones

- Con los cálculos matemáticos se obtuvo valores de las cargas presentes en la estructura del vehículo obteniendo una carga viva de 686.7 N, una carga muerta de 1954.45 N, una carga de giro de 491.82 N y una carga de frenado de 414.614 N.
- Simulando las cargas obtenidas en el software CAD se obtuvo el valor del factor de seguridad de 3.1 con la carga viva, 1.5 con carga muerta, 11 con carga de giro y 3.9 con carga de frenado; lo que es aceptable para la seguridad del conductor con respecto a la estructura.
- Mediante simulación se obtuvo el coeficiente aerodinámico de la carrocería con un valor de 0.56, determinando que el diseño y la geometría se encuentran en un estado aceptable permitiendo al vehículo desplazarse sin gastar demasiada energía.
- Mediante el cálculo de las resistencias aerodinámica, fricción, pendiente y tracción se obtuvo la potencia necesaria para desplazar al vehículo de 4.124 kW, por lo que se selecciona un motor de 5 kW tipo Brushless.
- Utilizando acero A36 se construyó la estructura del monoplaza, además de la construcción de una carrocería con fibra de vidrio, para que cumpla con los parámetros establecidos de seguridad.
- Ejecutada la prueba de autonomía calculada donde se consideró dos pistas, una con pendiente del 0% y otra con 10%, para lo cual la mejor autonomía se obtiene transitando a una velocidad constante de 20 km/h, alcanzando una autonomía de 75.8 km en plano y 21.9 km en pendiente.
- La prueba de autonomía experimental se realizó tomando en cuenta una ruta establecida en la ciudad de Quito, con una longitud de 12.5 km y pendientes entre 1 y 8%, lo cual da una autonomía de 71 km a una velocidad promedio de 25 km/h.

- La velocidad máxima que puede desarrollar el vehículo es de 41.67 km/h, con una aceleración de 1.54 m/s<sup>2</sup>, a una pendiente de 0%.
- La carga completa de la batería de 60V se realiza en un tiempo de 5.1 horas, con un cargador de 48 a 72V y 8Ah.
- El costo promedio de circulación de 1000 km es de 3.94 USD, por lo que se visualiza un ahorro considerable respecto a un Scooter a gasolina, considerando una potencia de 5.4 kW, cuyo valor es de 10.91 USD en la misma distancia recorrida.

## Recomendaciones

- No realizar acelerones bruscos, es decir, se debe acelerar progresivamente, para así asegurar una mayor durabilidad de la batería y no reducir su capacidad y vida útil de una manera apresurada.
- Se recomienda cargar la batería cuando tenga una carga mínima del 10% ya que si se descarga completamente sus ciclos de carga disminuyen con el pasar del tiempo.
- Para pendientes mayores a 8% utilizar la marcha de fuerza para no realizar un esfuerzo excesivo en el motor.
- La velocidad máxima en curvas debe ser de 20 km/h en calzadas de radio menor a 50 metros.
- Seguir el plan de mantenimiento propuesto según el kilometraje recorrido para asegurar que el vehículo siga en óptimas condiciones.
- Para el cuidado de la batería y recuperar un porcentaje de su capacidad de carga, se recomienda realizar balanceo de celdas por lo menos una vez cada cinco meses o 30000 km.
- En el caso de no utilizar el vehículo, cargar la batería mínimo cada dos meses para preservar su funcionalidad.
- Si se requiere guardar el vehículo, la carga que debe tener la batería es del 50%.

## Bibliografía

- 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, Ecuador.
- Artés, D. (14 de Marzo de 2012). *Baterías de coches eléctricos e híbridos*. Obtenido de TECMOVIA: <https://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/>
- ARVAL - BPN PARIBAS GROUP. (2020). *El rápido avance hacia los vehículos eléctricos*. Obtenido de <https://www.arval.com/sites/default/files/121/2020/03/Libro%20blanco%20-%20El%20r%C3%A1pido%20avance%20hacia%20los%20veh%C3%ADculos%20el%C3%A9ctricos%E2%80%99.pdf>
- Asamblea Nacional República del Ecuador. (2021). *Ley Orgánica Reformativa de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial*. Obtenido de [http://esacc.corteconstitucional.gob.ec/storage/api/v1/10\\_DWL\\_FL/eyJYXJwZXRhIjoicm8iLCJ1dWlkljoimjAzM2FiNjMtNTIzNC00NGY4LThjNDEtZTAzYzZjMzRlMzhjLnBkZiJ9](http://esacc.corteconstitucional.gob.ec/storage/api/v1/10_DWL_FL/eyJYXJwZXRhIjoicm8iLCJ1dWlkljoimjAzM2FiNjMtNTIzNC00NGY4LThjNDEtZTAzYzZjMzRlMzhjLnBkZiJ9)
- Bauzá, F. (2018). *Estudio del sistema de frenado en los vehículos ligeros (turismos)*. Obtenido de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/113326/REPORT\\_470.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/113326/REPORT_470.pdf)
- Car Styling. (2017). *La Jamais Contente*. Obtenido de [https://www.carstyling.ru/en/entry/La\\_Jamais\\_Contente\\_1899\\_Pervaya\\_sotnya/](https://www.carstyling.ru/en/entry/La_Jamais_Contente_1899_Pervaya_sotnya/)
- Díaz, C., & Albo, A. (2018). *Mantenimiento Mecánico Preventivo del Vehículo*. Madrid: Síntesis S.A.
- EEA. (2018). *“Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives TERM: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM)*. Obtenido de European Environment Agency: <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-from-life-cycle>
- ELECTUDE. (2020). *Movilidad Eléctrica*. Obtenido de <https://simulator.electude.com/>

- ENDESA. (2019). *La eMobility y los coches eléctricos*. Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/emobility-coches-electricos>
- ENDESA. (s.f.). *La eMobility y los coches eléctricos*. Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/emobility-coches-electricos>
- Faicán, J. (2018). Análisis estructural del comportamiento del chasis de un semirremolque de dos pisos construido por la empresa "Carrocerías Faicán", para el transporte de pallets con botellas. Cuenca, Ecuador.
- Ferreira, M. (2016). *Sistemas de transmisión y frenado*. Obtenido de <https://24tes.blogspot.com/2016/04/sistemas-de-transmision-y-frenado.html>
- Henkel, C. (2021). *Sistema de propulsión en el sector automotriz*. Obtenido de <https://www.henkel-adhesives.com/cl/es/industries/automotive-and-transportation/automotive-manufacturing/automotive-powertrain.html>
- Hum. (2017). *Peugeot 106 eléctrico 3 puertas 1993*. Obtenido de <https://www.turbosquid.com/es/3d-models/3d-peugeot-106-electric-model-1162951>
- HYE. (7 de Marzo de 2021). *Eficiencia de los motores eléctricos - Tesla*. Obtenido de Híbridos y eléctricos: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/tesla-eleva-97-eficiencia-motores-electricos-inversor-carburo-silicio/20210226133128042892.html>
- INEN. (2016). *Clasificación Vehicular*. Quito, Ecuador.
- IngeMecánica. (2018). *Sistema de Suspensión en los Vehículos*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.html>
- Jiménez, J. (2015). *El sistema de alumbrado del vehículo*. Obtenido de <https://www.rodes.com/mecanica/sistema-alumbrado-del-coche-que-es/>



- Josean. (23 de Marzo de 2012). *El inversor: Alma del vehículo eléctrico*. Obtenido de <http://elfuturoeselectrico.blogspot.com/2012/03/el-inversor-alma-del-vehiculo-electrico.html>
- KIA. (2017). *¿Los vehículos eléctricos son mejores para el medio ambiente?* Obtenido de <https://www.kia.com/co/discover-kia/ask/los-vehiculos-electricos-son-buenos-para-el-medio-ambiente.html>
- Miranda, J. (2022). *Acero Galvanizado vs Pintado*. Obtenido de <https://blog.laminasyaceros.com/blog/acero-galvanizado-vs-pintado>
- Mitsubishi Motors. (2020). *Materiales más usados en el chasis*. Obtenido de <https://www.mitsubishi-motors.com.pe/blog/materiales-usados-chasis-camioneta/>
- Murias, D. (2019). *Los motores son también clave en el desarrollo del coche eléctrico*. Obtenido de <https://www.motorpasion.com/tecnologia/los-motores-son-tambien-clave-en-el-desarrollo-del-coche-electrico-no-todo-es-cuestion-de-baterias>
- NewArk. (2019). *Control de motores*. Obtenido de <https://mexico.newark.com/motor-control-technology#:~:text=Los%20controladores%20de%20motores%20pueden,y%20el%20control%20de%20secuencia>
- Palafox, G. (Diciembre de 2009). *Diseño y construcción de un vehículo eléctrico con variador de velocidad mediante un convertidor CD-CD. Tesis para obtener el título de Ingeniero en Electrónica*. México.
- Payá, A. (2014). *Las baterías de un coche eléctrico: presente y futuro*. Obtenido de <https://blogs.20minutos.es/coches-electricos-hibridos/2014/01/27/las-baterias-de-un-coche-electrico-presente-y-futuro/>
- PntPower. (2015). *IN A TESLA MODEL S, THERE IS NO IGBT PACKAGING TRICK*. Obtenido de <https://www.pntpower.com/on-tesla-electric-vehicles-semiconductor-packaging/>
- Ramos, A. (2021). *Tesla Model S Plaid: El berlina eléctrica de los ¡más de 1.000 CV!* Obtenido de <https://www.caranddriver.com/es/coches/novedades/a34119297/tesla-model-s-plaid/>

- Reyes, E. (2012). *Sistema de dirección del vehículo*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/efrain1-9/sistema-de-direccion-14009412>
- Rodríguez, P., & Chacón, J. (2015). *Guía del Vehículo Eléctrico 2*. Madrid: La Suma de Todos.
- Rosero, D., & López, E. (2018). *Diseño y construcción del sistema de propulsión para un prototipo de auto eléctrico biplaza*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27922/1/Tesis%20I.%20M.%20457%20-%20Rosero%20Vargas%20Darwin%20Salom%c3%b3n%20y%20L%c3%b3pez%20Balc%c3%a1zar%20Edwin%20Fernando.pdf>
- Sánchez, C. (21 de Marzo de 2016). *El freno mecánico en el coche eléctrico*. Obtenido de Movilidad eléctrica: <https://movilidadelectrica.com/freno-mecanico-coche-electrico/>
- Sanz, J. (2017). *Un exótico vehículo de fuerza descomunal*. Obtenido de [https://cincodias.elpais.com/cincodias/2017/08/16/motor/1502888914\\_182233.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2017/08/16/motor/1502888914_182233.html)
- TECMOVIA. (19 de Julio de 2011). *La historia del coche eléctrico*. Obtenido de <https://www.diariomotor.com/tecmovia/2011/07/19/la-historia-del-coche-electrico-un-largo-proceso-de-desarrollo/>
- Vargas, D. (2016). *Componentes de los vehículos híbridos*. Obtenido de <https://qdoc.tips/componentes-de-los-vehiculos-hibridos-pdf-free.html>
- Villavicencio, S. (2019). *Industria de Conversión a Vehículos Eléctricos*. Obtenido de <http://bancodeideas.gob.ec/proyecto/view?data=aWQ9NzlyMg%3D%3D>
- Volkswagen. (2016). *¿Qué es y por qué es importante el chasis?* Obtenido de <https://www.vw.com.mx/es/experiencia/tips/chasis-volkswagen.html>
- Zapata, A. (2020). *Cuáles son los tipos de cargadores para autos eléctricos*. Obtenido de <http://noticias.espanol.autocosmos.com/2020/08/22/cuales-son-los-tipos-de-cargadores-para-autos-electricos>

## Anexos