



# **ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: “ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA  
MONOCICLETA DE MANDO ELÉCTRICO PARA LA  
MOVILIZACIÓN AUTÓNOMA DE PERSONAS PARAPLÉJICAS”**

**AUTORES:**

**MARCELO ALFONSO MANOSALVAS SALAZAR  
PAULO MISAEL CUNALATA CUNALATA**

**DIRECTOR:  
ING. GUIDO TORRES**

**LATACUNGA**

**2017**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, "ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA MONOCICLETA DE MANDO ELÉCTRICO PARA LA MOVILIZACIÓN AUTÓNOMA DE PERSONAS PARAPLÉJICAS" realizado por los señores CUNALATA CUNALATA PAULO MISAEL Y MANOSALVAS SALAZAR MARCELO ALFONSO, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor PAULO MISAEL CUNALATA CUNALATA Y MARCELO ALFONSO, MANOSALVAS SALAZAR para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 10 de Mayo del 2017

**ING. GUIDO TORRES  
DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, PAULO MISAEL CUNALATA CUNALATA Y MARCELO ALFONSO, MANOSALVAS SALAZAR, con cédulas de identidad N° 180480275-7 y N°172491699-2 respectivamente, declaramos que este trabajo de titulación "ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA MONOCICLETA DE MANDO ELÉCTRICO PARA LA MOVILIZACIÓN AUTÓNOMA DE PERSONAS PARAPLÉJICAS" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 10 de Mayo del 2017

**PAULO MISAEL CUNALATA CUNALATA**

C.C.: 180480275-7

**MARCELO ALFONSO MANOSALVAS SALAZAR**

C.C.: 172491699-2



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, PAULO MISAEAL CUNALATA CUNALATA Y MARCELO ALFONSO, MANOSALVAS SALAZAR, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el trabajo de titulación "ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA MONOCICLETA DE MANDO ELÉCTRICO PARA LA MOVILIZACIÓN AUTÓNOMA DE PERSONAS PARAPLÉJICAS" cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 10 de Mayo del 2017

PAULO MISAEAL CUNALATA CUNALATA  
C.C.: 180480275-7

MARCELO ALFONSO MANOSÁLVAS SALAZAR  
C.C.: 172491699-2

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| PORTADA .....                    | i     |
| CERTIFICACIÓN .....              | ii    |
| AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD ..... | iii   |
| AUTORIZACIÓN .....               | iv    |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS .....       | v     |
| ÍNDICE DE TABLAS .....           | xii   |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....           | xiv   |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....     | xvi   |
| ÍNDICE DE ECUACIONES .....       | xviii |
| RESUMEN .....                    | xx    |
| SUMMARY .....                    | xxi   |

## CAPÍTULO I

|  |   |
|--|---|
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN ..... | 1 |
| 1.1.1. Antecedentes .....                            | 1 |
| 1.1.2. Planteamiento del problema .....              | 2 |
| 1.1.3. Descripción resumida del proyecto .....       | 2 |
| 1.1.4. Justificación e importancia .....             | 3 |
| 1.2. Objetivos .....                                 | 4 |
| 1.2.1. Objetivo general .....                        | 4 |
| 1.2.2. Objetivos específicos .....                   | 4 |
| 1.3. Metas .....                                     | 5 |
| 1.4. Matriz de operacionalización de variables ..... | 5 |
| 1.4.1. Variable independiente .....                  | 5 |
| 1.4.2. Variable dependiente .....                    | 6 |

## CAPÍTULO II

|                       |   |
|-----------------------|---|
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 7 |
|-----------------------|---|

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 2.1.    | Antecedentes .....   | 7  |
| 2.2.    | Discapacidades .....   | 8  |
| 2.2.1.  | Paraplejía .....   | 8  |
| 2.2.2.  | Monoplejía.....  | 9  |
| 2.3.    | Estudio cuantitativo .....                                   | 9  |
| 2.4.    | Formulación de las encuestas a realizar. ....                | 10 |
| 2.4.2.  | Forma de selección de la muestra .....                       | 12 |
| 2.4.3.  | Análisis de las encuestas formuladas .....                   | 12 |
| 2.4.4.  | Vehículos eléctricos .....                                   | 13 |
| 2.5.    | Vehículos eléctricos para discapacitados.....                | 13 |
| 2.6.    | Attitude híbrida .....                                       | 14 |
| 2.7.    | Motor .....  | 15 |
| 2.7.1.  | Motor de magnetismo permanente o brushless (bl dc). ....     | 15 |
| 2.7.2.  | Ventajas de motores brushless (bl dc) .....                  | 16 |
| 2.8.    | Baterías.....  | 16 |
| 2.8.1.  | Características de las baterías en vehículos eléctricos..... | 17 |
| 2.8.2.  | Batería utilizada en autos eléctricos.....                   | 17 |
| 2.9.    | Elementos eléctricos y electrónicos .....                    | 19 |
| 2.9.1.  | Elementos de control.....                                    | 19 |
| 2.9.2.  | Elementos de seguridad.....                                  | 21 |
| 2.9.3.  | Accesorios eléctricos.....                                   | 21 |
| 2.10.   | Modelo matemático del sistema motriz .....                   | 23 |
| 2.10.1. | Esfuerzo de tracción.....                                    | 23 |
| 2.11.   | Conceptos técnicos sobre vehículos .....                     | 26 |
| 2.11.1. | Distancia entre ejes.....                                    | 26 |
| 2.11.2. | Características para la distancia entre ejes.....            | 27 |
| 2.11.3. | Ancho de vía .....   | 27 |
| 2.11.4. | Características para el ancho de vía. ....                   | 27 |
| 2.11.5. | Transferencia de peso.....                                   | 28 |
| 2.11.6. | Centro de gravedad o de masas .....                          | 30 |
| 2.11.7. | Principio de ackerman .....                                  | 31 |
| 2.11.8. | Análisis de las cargas.....                                  | 32 |

|  |    |
|--|----|
| 2.11.9. Tercera ley de newton .....  | 32 |
| 2.11.10. Análisis bidimensional .....  | 32 |
| 2.11.11. Análisis de carga estática .....                                    | 33 |
| 2.12. La casa de la calidad .....  | 33 |
| 2.12.1. Necesidades del cliente .....  | 33 |
| 2.12.2. Características de diseño .....                                      | 34 |
| 2.12.3. Relación entre necesidades cliente y características de diseño ..... | 34 |

### CAPÍTULO III

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3. DISEÑO .....</b>  | <b>36</b> |
| 3.1. Casa de la calidad .....   | 37        |
| 3.1.1. Voz del usuario .....  | 37        |
| 3.1.2. Voz del ingeniero .....  | 37        |
| 3.1.3. Conclusiones de la casa de la calidad .....                                  | 39        |
| 3.1.4. Mapa morfológico .....   | 40        |
| 3.1.5. Mapa de ponderación .....  | 40        |
| 3.2. Ejecución de los análisis .....  | 42        |
| 3.2.1. Análisis funcional .....   | 42        |
| 3.2.2. Nivel 0: análisis modular .....  | 42        |
| 3.2.3. Nivel 1: módulo 1. Estructura .....  | 43        |
| 3.2.4. Nivel 2: módulo 2: seguridad .....   | 43        |
| 3.2.5. Plantear soluciones a los módulos .....                                      | 44        |
| 3.2.6. Seleccionar la alternativa para cada módulo .....                            | 47        |
| 3.3. Datos necesarios para el cálculo de la potencia .....                          | 48        |
| 3.3.1. Velocidad a la que debe desplazarse la monocicleta .....                     | 48        |
| 3.3.2. Peso que debe arrastrar la monocicleta .....                                 | 48        |
| 3.3.3. Fuerzas que debe vencer la monocicleta para su circulación .....             | 49        |
| 3.4. Cálculos de fuerzas .....  | 49        |
| 3.4.1. Fuerza de fricción entre la superficie y los neumáticos ( <i>Frr</i> ) ..... | 49        |
| 3.4.2. Fuerza de fricción con el viento ( <i>Fad</i> ) .....                        | 50        |
| 3.4.3. Componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente .....            | 50        |
| ( <i>Fhc</i> ) .....  | 50        |
| 3.4.4. Fuerza de tracción del vehículo eléctrico ( <i>Fte</i> ) .....               | 51        |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.4.5.  | Torque necesario ( $T_n$ ) .....   | 52 |
| 3.4.6.  | Velocidad angular ( $\omega$ ) .....                                     | 53 |
| 3.4.7.  | Potencia calculada ( $P_{calculada}$ ).....                              | 53 |
| 3.4.8.  | Potencia motor ( $P_{Motor}$ ).....                                      | 54 |
| 3.5.    | Selección del motor.....   | 54 |
| 3.5.1.  | Selección del motor.....   | 54 |
| 3.6.    | Criterios para la selección de la batería .....                          | 56 |
| 3.6.1.  | Parámetros de selección de baterías .....                                | 56 |
| 3.6.2.  | Selección de la batería.....   | 57 |
| 3.7.    | Autonomía teórica de la batería .....                                    | 58 |
| 3.8.    | Cálculos para el diseño de la monocicleta .....                          | 59 |
| 3.8.1.  | Carga muerta .....   | 60 |
| 3.8.2.  | Carga muerta .....   | 60 |
| 3.8.3.  | Carga muerta bajo un factor crítico .....                                | 60 |
| 3.8.4.  | Carga viva.....  | 61 |
| 3.8.5.  | Carga viva.....  | 61 |
| 3.8.6.  | Carga viva bajo un factor crítico .....                                  | 61 |
| 3.8.7.  | Carga total.....   | 61 |
| 3.8.8.  | Distribución de ejes .....   | 62 |
| 3.8.9.  | Fuerza sobre el eje delantero.....                                       | 62 |
| 3.8.10. | Fuerza sobre el eje delantero bajo un factor crítico.....                | 62 |
| 3.8.11. | Fuerza sobre el eje trasero.....   | 63 |
| 3.8.12. | Fuerza sobre el eje trasero bajo un factor crítico .....                 | 63 |
| 3.8.13. | Masa total.....  | 63 |
| 3.8.14. | Determinación de masas con respecto al centro de gravedad.....           | 63 |
| 3.8.15. | Masa total en eje delantero .....  | 64 |
| 3.8.16. | Masa total en eje trasero .....  | 64 |
| 3.8.17. | Transferencia de carga en aceleración brusca.....                        | 64 |
| 3.9.    | Velocidad teórica alcanzada.....   | 64 |
| 3.9.1.  | Aceleración máxima teórica .....   | 65 |
| 3.9.2.  | Transferencia de carga en aceleración brusca.....                        | 65 |
| 3.9.3.  | Transferencia de carga en aceleración brusca bajo un factor crítico..... | 66 |
| 3.9.4.  | Carga en el eje delantero en aceleración brusca .....                    | 66 |



|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.9.5.  | Transferencia de carga en frenada brusca.....                        | 67 |
| 3.9.6.  | Trasferencia de carga en frenada brusca bajo un factor crítico. .... | 68 |
| 3.9.7.  | Carga en el eje delantero en frenada brusca. ....                    | 68 |
| 3.9.8.  | Transferencia de carga durante la curva.....                         | 69 |
| 3.10.   | Aceleración normal.....  | 69 |
| 3.10.1. | Transferencia de carga durante la curva con factor crítico.....      | 71 |
| 3.10.2. | Velocidad de límite de vuelco.....                                   | 71 |
| 3.11.   | Ángulo de la dirección .....   | 72 |

## **CAPÍTULO VI**

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>4.</b> | <b>MODELACIÓN, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS .....</b>  | <b>73</b> |
| 4.1.      | Introducción.....                               | 73        |
| 4.2.      | Herramienta computacional cad.....              | 74        |
| 4.3.      | Herramienta computacional cae.....              | 74        |
| 4.4.      | Teorías estáticas .....                         | 74        |
| 4.4.1.    | Esfuerzos combinados .....                      | 74        |
| 4.4.2.    | Selección de los puntos críticos .....          | 74        |
| 4.4.3.    | Reacciones.....                                 | 75        |
| 4.5.      | Reacciones en el conjunto .....                 | 75        |
| 4.6.      | Análisis de cada parte del tren delantero ..... | 80        |
| 4.6.1.    | Trinche .....                                   | 82        |
| 4.6.2.    | Acople para el seguro de la silla.....          | 86        |
| 4.6.3.    | Eje volante trinche.....                        | 89        |
| 4.6.4.    | Tubos del chasis .....                          | 93        |
| 4.6.5.    | Unión de trinche .....                          | 96        |
| 4.6.6.    | Seguros de la silla de ruedas .....             | 100       |
| 4.7.      | Análisis de los datos de diseño obtenidos.....  | 103       |

## **CAPÍTULO V**

|           |                                     |            |
|-----------|-------------------------------------|------------|
| <b>5.</b> | <b>CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE. ....</b> | <b>107</b> |
| 5.1.      | Introducción.....                   | 107        |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 5.2.   | Construcción de la estructura.....                     | 107 |
| 5.2.1. | Corte, doblado y maquinados de los tubos. ....         | 107 |
| 5.2.2. | Estructura.....  | 108 |
| 5.2.3. | Proceso de cromado. ....                               | 111 |
| 5.3.   | Montaje de la estructura.....                          | 112 |
| 5.4.   | Diagrama de procesos. ....                             | 113 |
| 5.4.1. | Diagrama de construcción del trinche y brazos.....     | 113 |
| 5.4.2. | Diagrama de construcción del eje vertical.....         | 114 |
| 5.4.3. | Diagrama de construcción del eje horizontal.....       | 115 |
| 5.4.4. | Diagrama de construcción del seguro.....               | 116 |
| 5.4.5. | Ensamble estructural del prototipo.....                | 117 |
| 5.4.6. | Ensamble eléctrico de la monocicleta.....              | 118 |
| 5.5.   | Ficha técnica de la monocicleta eléctrica.....         | 119 |
| 5.6.   | Diagramas de procesos de los elementos mecánicos.....  | 121 |
| 5.7.   | Diagramas de procesos de los elementos eléctricos..... | 122 |

## **CAPÍTULO VI**

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>6.</b> | <b>PRUEBAS.....</b>                    | <b>123</b> |
| 6.1.      | Circuito de pruebas.....               | 124        |
| 6.2.      | Pruebas de velocidad.....              | 125        |
| 6.3.      | Pruebas de aceleración.....            | 125        |
| 6.4.      | Pruebas en superficies planas.....     | 126        |
| 6.5.      | Pruebas en superficies inclinadas..... | 129        |
| 6.6.      | Prueba de autonomía.....               | 131        |
| 6.7.      | Pruebas de seguridad.....              | 131        |
| 6.7.1.    | Tiempo de acople.....                  | 132        |
| 6.8.      | Método del chi cuadrado.....           | 133        |

## **CAPÍTULO VII**

|           |                    |            |
|-----------|--------------------|------------|
| <b>7.</b> | <b>COSTOS.....</b> | <b>136</b> |
|-----------|--------------------|------------|

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 7.1. | Materiales.....                               | 136 |
| 7.2. | Elementos eléctricos. ....                    | 137 |
| 7.3. | Elementos mecánicos. ....                     | 137 |
| 7.4. | Elementos mecánicos para maniobrabilidad..... | 138 |
| 7.5. | Costos de diseño.....                         | 138 |
| 7.6. | Costos de mano de obra.....                   | 139 |
| 7.7. | Costo total del proyecto.....                 | 140 |

## **CAPÍTULO VIII**

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>8.</b> | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b> | <b>141</b> |
| 8.1.      | Conclusiones.....                           | 141        |
| 8.2.      | Recomendaciones.....                        | 142        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>143</b> |
|---|------------|

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| <b>CERTIFICACIÓN.....</b> | <b>148</b> |
|---------------------------|------------|

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1</b> Operacionalización De Variable Independiente .....          | 6  |
| <b>Tabla 2</b> Operacionalización De Variable Dependiente .....            | 6  |
| <b>Tabla 3</b> Preguntas De Encuesta Y Objetivos.....                      | 11 |
| <b>Tabla 4</b> Ventajas De La Batería Ion-Litio .....                      | 18 |
| <b>Tabla 5</b> Limitación De La Batería Ion-Litio.....                     | 18 |
| <b>Tabla 6</b> Prestaciones De La Batería Iones De Litio .....             | 19 |
| <b>Tabla 7</b> mapa morfológico tipo de vehículos para discapacitados..... | 40 |
| <b>Tabla 8</b> Mapa De Ponderaciones .....                                 | 41 |
| <b>Tabla 9</b> Módulo 1 .....  | 44 |
| <b>Tabla 10</b> Factores De Ponderación Para El Módulo 1 .....             | 45 |
| <b>Tabla 11</b> Módulo 2.....  | 46 |
| <b>Tabla 12</b> Factores De Ponderación Para El Módulo 2.....              | 46 |
| <b>Tabla 13</b> Resultados De Las Alternativas Del Módulo 1 .....          | 47 |
| <b>Tabla 14</b> Resultados De Las Alternativas Del Módulo 2.....           | 47 |
| <b>Tabla 15</b> Velocidad De La Monocicleta .....                          | 48 |
| <b>Tabla 16</b> Peso Aproximado De Los Componentes .....                   | 48 |
| <b>Tabla 17</b> Selección Del Motor.....                                   | 54 |
| <b>Tabla 18</b> Motor Seleccionado .....                                   | 55 |
| <b>Tabla 19</b> Comparaciones De Diferentes Baterías.....                  | 57 |
| <b>Tabla 20</b> descripción de la batería seleccionada.....                | 58 |
| <b>Tabla 21</b> Masa De Cargas Muertas .....                               | 60 |
| <b>Tabla 22</b> Carga viva. ....   | 61 |
| <b>Tabla 23</b> Distribución de fuerzas respecto al centro de masa .....   | 63 |
| <b>Tabla 24</b> Radios Mínimos De Curvas.....                              | 69 |
| <b>Tabla 25</b> Aceleraciones Con Radios De Curvatura .....                | 70 |
| <b>Tabla 26</b> Valores En El Acople De La Llanta Delantera .....          | 76 |
| <b>Tabla 27</b> Valores En La Unión Del Trinche.....                       | 78 |
| <b>Tabla 28</b> Valores En Los Tubos Del Chasis .....                      | 79 |
| <b>Tabla 29</b> Valores En Las Conexiones De Los Soportes.....             | 80 |
| <b>Tabla 30</b> Propiedades Mecánicas De Los Materiales.....               | 81 |
| <b>Tabla 31</b> Análisis Del Acople .....                                  | 85 |
| <b>Tabla 32</b> Análisis Del Acople De La Silla.....                       | 88 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 33</b> Análisis Del Eje Volante Trinche.....                        | 92  |
| <b>Tabla 34</b> Análisis Del Brazo.....                                      | 95  |
| <b>Tabla 35</b> Análisis En La Unión Del Trinche .....                       | 99  |
| <b>Tabla 36</b> Análisis De Los Seguros De La Silla .....                    | 102 |
| <b>Tabla 37</b> Tabulación De Datos Máximos De Los Análisis .....            | 103 |
| <b>Tabla 38</b> Tabulación De Datos Mínimos De Los Análisis .....            | 104 |
| <b>Tabla 39</b> Datos Para Las Pruebas De Manejo .....                       | 123 |
| <b>Tabla 40</b> Porcentajes De Aceleración .....                             | 123 |
| <b>Tabla 41</b> Aceleración En Carga Baja.....                               | 126 |
| <b>Tabla 42</b> Aceleración En Carga Media .....                             | 127 |
| <b>Tabla 43</b> Aceleración En Carga Plena.....                              | 128 |
| <b>Tabla 44</b> Cargas En Superficies Inclınadas .....                       | 130 |
| <b>Tabla 45</b> Pruebas En Superficies Inclınadas .....                      | 130 |
| <b>Tabla 46</b> Tiempos De Acople Y Descacople Persona Discapacitada.....    | 132 |
| <b>Tabla 47</b> Tiempos de acople y desacople personas sin Discapacidad..... | 133 |
| <b>Tabla 48</b> Datos De Las Pruebas Para El Chi <sup>2</sup> .....          | 133 |
| <b>Tabla 49</b> Tabla de Contingencia.....                                   | 134 |
| <b>Tabla 50</b> Materiales .....   | 136 |
| <b>Tabla 51</b> Elementos Eléctricos .....                                   | 137 |
| <b>Tabla 52</b> Elementos Mecánicos.....                                     | 137 |
| <b>Tabla 53</b> Elementos Mecánicos Para Maniobrabilidad.....                | 138 |
| <b>Tabla 54</b> Costos De Diseño.....  | 138 |
| <b>Tabla 55</b> Costos De Mano De Obra .....                                 | 139 |
| <b>Tabla 56</b> Costo Total Del Proyecto.....                                | 140 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1:</b> Persona parapléjica .....  | 8  |
| <b>Figura 2:</b> Persona con Monoplejía .....   | 9  |
| <b>Figura 3:</b> Número de personas con discapacidad Carnetizadas en.....<br>Cotopaxi ..... | 10 |
| <b>Figura 4:</b> Modelos de vehículos eléctricos .....                                      | 13 |
| <b>Figura 5</b> Triciclo eléctrico para discapacitados.....                                 | 14 |
| <b>Figura 6:</b> Hand Bike hibrida.....   | 15 |
| <b>Figura 7</b> Motor Brushless principio de funcionamiento.....                            | 16 |
| <b>Figura 8</b> Batería de Iones de Litio 48 V.....   | 17 |
| <b>Figura 9</b> Controlador electrónico de 48 v/12ah .....                                  | 19 |
| <b>Figura 10</b> Función del controlador.....   | 20 |
| <b>Figura 11</b> Acelerador para motor eléctrico .....                                      | 20 |
| <b>Figura 12</b> Freno de disco mecánico delantero .....                                    | 21 |
| <b>Figura 13</b> Display .....  | 22 |
| <b>Figura 14</b> Cargador de batería de 48 v ion litio .....                                | 22 |
| <b>Figura 15</b> Fuerzas que actúan en un vehículo en una pendiente.....                    | 23 |
| <b>Figura 16:</b> Transferencia de peso transversal.....                                    | 29 |
| <b>Figura 17</b> Transferencia transversal de pesos. ....                                   | 30 |
| <b>Figura 18</b> Centro de gravedad. ....   | 30 |
| <b>Figura 19:</b> Principio de Ackerman. ....   | 31 |
| <b>Figura 20</b> Esquema Casa de la Calidad.....  | 35 |
| <b>Figura 21:</b> Casa de la Calidad.....   | 38 |
| <b>Figura 22:</b> Porcentajes de Pendientes para rampas .....                               | 51 |
| <b>Figura 23</b> Motor trasero NT radiado en 20 para piñones Mod-2201224 .....              | 55 |
| <b>Figura 24</b> Batería Samsung 29E Ion de litio.....                                      | 57 |
| <b>Figura 25</b> Distribución de fuerzas respecto al centro de gravedad. ....               | 62 |
| <b>Figura 26</b> Ángulo de giro.....  | 72 |
| <b>Figura 27</b> Idea principal para la realización del diseño .....                        | 73 |
| <b>Figura 28</b> Reacciones en el Acople de la llanta delantera.....                        | 75 |
| <b>Figura 29</b> Reacciones en la Unión del Trinche.....                                    | 77 |
| <b>Figura 30</b> Reacciones en los Tubos del Chasis .....                                   | 78 |
| <b>Figura 31</b> Reacciones en las conexiones de los soportes.....                          | 79 |

|                  |  |     |
|------------------|--|-----|
| <b>Figura 32</b> | Datos de Esfuerzos Equivalentes del Monociclo.....           | 104 |
| <b>Figura 33</b> | Datos de Esfuerzos Principal Máximo del Monociclo.....       | 105 |
| <b>Figura 34</b> | Datos de Deformación total del Monociclo.....                | 105 |
| <b>Figura 35</b> | Datos de Factor de Seguridad del Monociclo .....             | 106 |
| <b>Figura 36</b> | Corte de tubo ASTM A-36.....                                 | 107 |
| <b>Figura 37</b> | Proceso de maquinado. ....                                   | 108 |
| <b>Figura 38</b> | Soldadura de las piezas de la estructura (Proceso TIG). .... | 109 |
| <b>Figura 39</b> | Doblado de los tubos a 90 grados.....                        | 109 |
| <b>Figura 40</b> | Maquinado del eje vertical. ....                             | 110 |
| <b>Figura 41</b> | Maquinado del eje central horizontal.....                    | 111 |
| <b>Figura 42</b> | Fresado de las platinas para los seguros.....                | 111 |
| <b>Figura 43</b> | Piezas cromadas.....   | 112 |
| <b>Figura 44</b> | Montaje de la estructura a la silla de ruedas.....           | 112 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|   |    |
|---|----|
| <b>Ilustración 1</b> Ancho de Vía .....   | 27 |
| <b>Ilustración 2</b> Aceleración Normal vs Radios de Curvatura .....                              | 70 |
| <b>Ilustración 3</b> Acople del motor con el trinche.....   | 82 |
| <b>Ilustración 4</b> Fuerzas y reacciones en el acople.....                                       | 82 |
| <b>Ilustración 5:</b> Análisis de Esfuerzo Equivalente del Acople .....                           | 83 |
| <b>Ilustración 6:</b> Análisis del Esfuerzo Principal Máximo del Acople .....                     | 83 |
| <b>Ilustración 7:</b> Análisis de Deformación del Acople.....                                     | 84 |
| <b>Ilustración 8:</b> Análisis del Factor de Seguridad del Acople.....                            | 85 |
| <b>Ilustración 9</b> Acople para el seguro de la silla .....                                      | 86 |
| <b>Ilustración 10</b> Cargas aplicadas al seguro de la silla.....                                 | 86 |
| <b>Ilustración 11:</b> Análisis de Esfuerzo Equivalente del Seguro de la Silla .....              | 87 |
| <b>Ilustración 12:</b> Análisis de Esfuerzo principal máximo del Seguro.....<br>de la Silla ..... | 87 |
| <b>Ilustración 13:</b> Análisis de Deformación del Seguro de la Silla.....                        | 88 |
| <b>Ilustración 14:</b> Análisis de Factor de Seguridad del Seguro de la Silla .....               | 89 |
| <b>Ilustración 15</b> Eje volante trinche .....   | 89 |
| <b>Ilustración 16</b> Cargas aplicadas al eje volante trinche .....                               | 90 |
| <b>Ilustración 17:</b> Análisis del Esfuerzo Equivalente del Eje Volante.....                     | 90 |
| <b>Ilustración 18:</b> Análisis del Esfuerzo Principal Máximo del Eje Volante .....               | 91 |
| <b>Ilustración 19:</b> Análisis de Deformación Total del Eje Volante .....                        | 91 |
| <b>Ilustración 20:</b> Análisis de Factor de Seguridad del Eje Volante .....                      | 92 |
| <b>Ilustración 21</b> Tubo del chasis.....  | 93 |
| <b>Ilustración 22</b> Cargas aplicadas al tubo del chasis.....                                    | 93 |
| <b>Ilustración 23:</b> Análisis de Esfuerzo Equivalente del Tubo del Chasis .....                 | 94 |
| <b>Ilustración 24:</b> Análisis de Esfuerzo Principal Máximo del Tubo.....<br>del Chasis.....     | 94 |
| <b>Ilustración 25:</b> Análisis de Deformación Total del Tubo del Chasis.....                     | 95 |
| <b>Ilustración 26:</b> Análisis de Factor de Seguridad del Tubo del Chasis.....                   | 96 |
| <b>Ilustración 27</b> Unión del trinche .....   | 96 |
| <b>Ilustración 28</b> Cargas aplicadas a la unión.....  | 97 |
| <b>Ilustración 29:</b> Análisis de Esfuerzo Equivalente en la Unión del trinche ...               | 97 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Ilustración 30:</b> Análisis de Esfuerzo Principal Máximo en la Unión.....    |     |
| del trinche .....  | 98  |
| <b>Ilustración 31:</b> Análisis Deformación Total en la Unión del trinche .....  | 98  |
| <b>Ilustración 32:</b> Análisis de Factor de Seguridad en la Unión del.....      |     |
| trinche.....   | 99  |
| <b>Ilustración 33</b> Seguros de la silla de ruedas.....                         | 100 |
| <b>Ilustración 34</b> Cargas aplicadas seguros.....                              | 100 |
| <b>Ilustración 35</b> Análisis de Esfuerzo Equivalente de los Seguros .....      | 101 |
| <b>Ilustración 36</b> Análisis del Esfuerzo Principal Máximo de los Seguros..... | 101 |
| <b>Ilustración 37</b> Análisis de Deformación Total de los Seguros.....          | 102 |
| <b>Ilustración 38</b> Análisis de Factor de Seguridad de los Seguros .....       | 103 |
| <b>Ilustración 39</b> Ruta de Prueba.....  | 124 |
| <b>Ilustración 40</b> Ruta para Pruebas en Pendientes .....                      | 124 |
| <b>Ilustración 41</b> Gráfica de Aceleración en Carga Baja .....                 | 127 |
| <b>Ilustración 42</b> Gráfica de Aceleración en Carga Media .....                | 128 |
| <b>Ilustración 43</b> Gráfica de Aceleración en Carga Plena .....                | 129 |
| <b>Ilustración 44</b> Gráfico de Pruebas en Superficies Inclinadas .....         | 130 |
| <b>Ilustración 45</b> Prueba de Seguridad de Elementos .....                     | 131 |
| <b>Ilustración 46</b> Prueba de Seguridad en recorrido .....                     | 132 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|   |    |
|---|----|
| <b>Ec. 1.1</b> Seleccción de muestra .....  | 12 |
| <b>Ec. 1. 2</b> Fuerza de tracción que es la que impulsa al vehículo.....<br>eléctrico.....   | 24 |
| <b>Ec. 1. 3</b> Fuerza de tracción que es la que impulsa al vehículo eléctrico.....           | 24 |
| <b>Ec. 1.4</b> Fuerza de fricción entre la superficie a rodar con los.....<br>neumáticos..... | 25 |
| <b>Ec. 1.5</b> Fuerza de fricción con el viento .....   | 25 |
| <b>Ec. 1.6</b> Componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente .....              | 26 |
|   |    |
| <b>Ec. 3. 1</b> Fuerza de fricción entre la superficie a rodar y los.....<br>neumáticos.....  | 49 |
| <b>Ec. 3. 2</b> Fuerza de fricción con el viento .....  | 50 |
| <b>Ec. 3. 3</b> Componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente .....             | 51 |
| <b>Ec. 3. 4</b> Fuerza de tracción que es la que impulsa al vehículo.....<br>eléctrico.....   | 52 |
| <b>Ec. 3. 5</b> Torque necesario.....   | 52 |
| <b>Ec. 3. 6</b> Potencia del motor.....   | 53 |
| <b>Ec. 3. 7</b> Potencia calculada.....   | 53 |
| <b>Ec. 3. 8</b> Potencia del motor.....   | 54 |
| <b>Ec. 3. 9</b> Autonomía de la batería .....   | 59 |
| <b>Ec. 3. 10</b> Autonomía teórica de la batería.....   | 59 |
| <b>Ec. 3. 11</b> Carga muerta.....  | 60 |
| <b>Ec. 3. 12</b> Carga muerta bajo un factor crítico.....                                     | 60 |
| <b>Ec. 3. 13</b> Carga viva .....   | 61 |
| <b>Ec. 3. 14</b> Carga viva bajo un factor crítico .....                                      | 61 |
| <b>Ec. 3. 15</b> Carga total .....  | 61 |
| <b>Ec. 3. 16</b> Distribucion de ejes .....   | 62 |
| <b>Ec. 3. 17</b> Fuerza sobre el eje delantero .....  | 62 |
| <b>Ec. 3. 18</b> Fuerza sobre el eje delantero bajo un factor crítico .....                   | 62 |
| <b>Ec. 3. 19</b> Fuerza sobre el eje trasero.....   | 63 |
| <b>Ec. 3. 20</b> Fuerza sobre el eje trasero bajo un factor crítico.....                      | 63 |
| <b>Ec. 3. 21</b> Masa total .....   | 63 |
| <b>Ec. 3. 22</b> Masa total en eje delantero .....  | 64 |

|                  |  |     |
|------------------|--|-----|
| <b>Ec. 3. 23</b> | Masa total en eje trasero .....  | 64  |
| <b>Ec. 3. 24</b> | Velocidad teórica alcanzada.....   | 64  |
| <b>Ec. 3. 25</b> | Aceleración máxima teórica.....  | 65  |
| <b>Ec. 3. 26</b> | Aceleración máxima teórica.....  | 65  |
| <b>Ec. 3. 27</b> | Transferencia de carga en aceleración brusca.....                                | 65  |
| <b>Ec. 3.28</b>  | Transferencia de carga en aceleración brusca bajo un factor.....<br>crítico..... | 66  |
| <b>Ec. 3. 29</b> | Carga en el eje delantero en aceleración brusca.....                             | 66  |
| <b>Ec. 3. 30</b> | Transferencia de carga en frenada brusca.....                                    | 67  |
| <b>Ec. 3. 31</b> | Transferencia de carga en frenada brusca.....                                    | 67  |
| <b>Ec. 3. 32</b> | Trasferencia de carga en frenada brusca bajo un factor crítico....               | 68  |
| <b>Ec. 3. 33</b> | Carga en el eje delantero en frenada brusca.....                                 | 68  |
| <b>Ec. 3. 34</b> | Aceleración normal .....   | 69  |
| <b>Ec. 3. 35</b> | Tranferencia de carga en curva .....   | 70  |
| <b>Ec. 3. 36</b> | Transferencia de carga durante la curva con factor crítico .....                 | 71  |
| <b>Ec. 3. 37</b> | Velocidad de límite de vuelco. ....  | 71  |
| <b>Ec. 3. 38</b> | Ángulo de la dirección .....   | 72  |
| <b>Ec. 4. 1</b>  | Pruebas de velocidad.....  | 125 |
| <b>Ec. 4. 2</b>  | Pruebas de aceleración .....   | 125 |

## **RESUMEN**

El presente trabajo de titulación está dirigido a las personas con paraplejía, de tal manera que su movilización se realice sin necesidad de ayuda de una tercera persona, para ello se construyó el monociclo de mando eléctrico el cual consiste en un sistema de propulsión eléctrica que ofrece una velocidad de 20 km/h y una autonomía de 2 horas, el cual recorrerá una distancia de 15 km a plena carga. El sistema eléctrico está constituido de un motor brushless con una potencia de 1000 W y una batería de ION LITIO de 48 V y 12 Ah con sus respectivos accesorios; la selección de los componentes se la hizo muy minuciosamente ya que gran parte de ellos están sometidos a diferentes cargas para cumplir de manera efectiva su trabajo. Así mismo para la selección de materiales se hizo con la asistencia de la Casa de la Calidad, en donde se obtuvo información de las exigencias que debe tener el monociclo, como son el confort, seguridad, fácil manejo e instalación sencilla para que las personas discapacitadas lo ensamblen por sí mismas. De igual forma se seleccionó el tubo redondo ASTM A-500 grado B y platinas ASTM-A36 como materiales para la construcción del monociclo. Demostrando así que este prototipo puede ser incluido en el mercado como una alternativa eficiente y libre de emisiones de CO<sub>2</sub> contribuyendo con el medio ambiente. Unas de las herramientas fundamentales utilizadas para lograr este ideal fue la ayuda de softwares CAD y CAE en los que se pudo obtener datos concisos para la construcción.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **PERSONAS CON DISCAPACIDAD**
- **VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**
- **MONOCICLETA ELÉCTRICA**
- **MOVILIZACIÓN**

## **SUMMARY**

The present titling work is directed to the people with paraplegia,, so that their mobilization takes place without the help of a third person, for it was built the electric control unicycle which consists of an electric propulsion system that offers A speed of 20 km / h and an autonomy of 2 hours, which will cover a distance of 15 km at full load. The electrical system consists of a brushless motor with a power of 1000 W and a battery of ION LITHIUM of 48 V and 12 Ah with their respective accessories; The selection of the components was done very meticulously since many of them are subjected to different loads to effectively fulfill their work. Also for the selection of materials was made with the help of the House of Quality, where information was obtained on the requirements of the unicycle, such as comfort, safety, easy handling and easy installation so that disabled people Assemble it by themselves. The ASTM A-500 round B tube and ASTM-A36 plates were also selected as materials for the construction of the unicycle. Proving that this prototype can be included in the market as an efficient alternative and free of CO2 emissions contributing to the environment. One of the fundamental tools used to achieve this ideal was the help of CAD and CAE software in which it was possible to obtain concise data for the construction.

### **KEYWORDS:**

- **PEOPLE WITH DISABILITIES**
- **ELECTRIC VEHICLES**
- **ELECTRIC MONOCHYLIC**
- **MOBILIZATION**

## CAPÍTULO I

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1.1. ANTECEDENTES

En el Ecuador según cifras del INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) en el año 2013 existían 1'608.334 personas con algún tipo de discapacidad; 193.520 ecuatorianos tienen discapacidad en sus extremidades inferiores y un dato adicional es que el 50% de las personas con discapacidad son pobres y viven en zonas rurales del Ecuador. (Población y Demografía, 2015)

Durante los últimos años, la toma de conciencia hacia las personas con discapacidad ha hecho que muchas fundaciones, entidades y organizaciones, luchan por dar igualdad, confort y facilidad al desplazamiento de dichas personas por diferentes calzadas de la ciudad de Latacunga. El transporte para personas parapléjicas siempre ha sido la silla de ruedas, la misma que en muchos casos es eléctrica y presta mayor confort a dicha persona en su movilización de tramos cortos, además las sillas de ruedas eléctricas brindan la ventaja de poder circular por una diversidad de terrenos, lo cual no se puede hacer con las sillas de ruedas manuales.

En virtud de esta necesidad el Gobierno Nacional, a través del Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad (MCPEC), suscribió un acuerdo con representantes de Vehículos Eléctricos del país (Audi, Renault, KIA, BYD), para el impulso, mercantilización y perspectivas de fabricación de baterías y vehículos eléctricos en el Ecuador, esto contribuirá al cambio de la matriz productiva. (VEHÍCULOS ELÉCTRICOS, UNA REALIDAD EN ECUADOR, 2015).

En definitiva con la energía eléctrica se logrará reducir progresivamente la dependencia del uso de combustibles fósiles (gasolina o diésel); la reducción

progresiva de las emisiones de CO<sub>2</sub>; optimizar la salud de la ciudadanía; desplegando a la industria automotriz y eléctrica, aprovechando el cambio en la Matriz Energética del Ecuador.

### **1.1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La implementación de la monocicleta de mando eléctrico para la movilización autónoma de personas parapléjicas inicia de la necesidad de traslado por sus propios medios sin que esto requiera gran esfuerzo físico de parte de la persona discapacitada lo cual se puede lograr gracias al avance tecnológico.

Al tratarse de personas con paraplejía el dispositivo tiene que diseñarse para que sea operado con las extremidades superiores el mismo que alcanzará una velocidad de 20km/h por lo que debe brindar la seguridad necesaria a la persona que lo conduzca bajo la norma ISO 7176.

Además se debe considerar el costo de la implementación de la monocicleta en la silla de ruedas, la misma que se debe encontrar acorde a las necesidades y requerimientos de la persona discapacitada considerando que esta persona tendría recursos limitados.

### **1.1.3. DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO**

El presente trabajo a desarrollar es el estudio de la implementación de una monocicleta de mando eléctrico para la movilización autónoma de personas parapléjicas, cuya investigación se realizó para ayudar al traslado de las personas con esta discapacidad.

El objetivo es ayudar a su movilización con rapidez, seguridad y eficiencia debe ser a la vez que sea amigable al medio ambiente; por ello se ejecutará el estudio para la implementación de la monocicleta de mando eléctrico considerando su ergonomía, basándose en normas técnicas, para que una vez verificado la convergencia de los cálculos matemáticos y los archivos de diseño Ingeniería CAD (Dibujo Asistido por Computador), se valide utilizando

Ingeniería CAE (Ingeniería Asistida por Computador) en base al análisis de esfuerzos y factor de seguridad.

Luego se procederá a la fabricación de la monocicleta de mando eléctrica en base a manufactura ecuatoriana, tomando en cuenta los análisis anteriores, para posteriormente ejecutar el ensamblaje de la misma y su correspondiente prueba de funcionamiento en varias calzadas con diferentes pesos y velocidad.

La monocicleta de mano eléctrico tiene altos niveles de seguridad y ergonomía, con el objetivo de que la persona parapléjica pueda acoplar este dispositivo a cualquier silla de ruedas convencional y tenga el control de la velocidad mediante unas empuñaduras en el manubrio para acelerar y manetas para frenar.

#### **1.1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

En el Ecuador existen 193.520 personas con discapacidad física según datos estadísticos actualizados del CONADIS, dentro de las cuales una gran parte tiene su discapacidad en las piernas, dando a conocer que sus extremidades superiores están en funcionamiento. Con el avance tecnológico se puede implementar dispositivos para que estas personas con paraplejía puedan moverse de una manera autónoma y debido a la ausencia hasta el momento de una solución, es indispensable un medio de transporte innovador, versátil, económico y ecológico que se acople a la movilización de personas con discapacidad.

Las sillas eléctricas para discapacitados tiene un costo elevado, lo que se busca es diseñar un dispositivo capaz de acoplarse a la propia silla de ruedas convencional de la persona discapacitada para que la misma pueda trasladarse de una manera segura, rápida y que esté al alcance de personas de escasos recursos



Según la SENESCYT, “El Plan Nacional Ciencia, Tecnología, Innovación y Saberes Ancestrales su política II, indica: Impulsar la generación y potenciación de la investigación científica, el desarrollo tecnológico, la innovación y la (re)valorización de los saberes ancestrales”. (Senescyt SNNA 2015 2016, 2008)

En razón a lo mencionado, la investigación a desarrollarse pretende resolver la problemática de la movilización de persona discapacitadas con paraplejía de una manera autónoma, mediante la implementación de la monocicleta eléctrica, anexa a la silla de ruedas convencional.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar el estudio para la implementación de una monocicleta de mando eléctrico para la movilización autónoma de personas parapléjicas

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer el estado de arte de las sillas de ruedas eléctricas y acoples motrices hasta la actualidad.
- Analizar la viabilidad técnica basada en métodos analíticos con el fin de obtener las exigencias de seguridad con la tecnología disponible para la implementación de la monocicleta de mando eléctrico.
- Realizar el diseño de una monocicleta de mando eléctrico para personas parapléjicas con los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos, mediante software CAD.
- Validar el funcionamiento del sistema motriz a través de cargas y esfuerzos realizados mediante cálculos matemáticos y software CAE.
- Implementar el monocicleta de mando eléctrica con sus accesorios eléctricos, electrónicos y mecánicos en una silla de ruedas convencional para la movilidad de personas parapléjicas.

### **1.3. METAS**

- Desarrollo de una investigación relacionada con la movilización autónoma de personas parapléjicas y su transporte por medio de un dispositivo que pueda ser controlado por sus propias extremidades superiores sin ayuda.
- Selección del motor eléctrico en base a cálculos matemáticos.
- Selección de la batería de acuerdo a los requerimientos del motor.
- Cálculo de las cargas a las que estará expuesta la estructura.
- Construcción del monociclo de mando eléctrico para la movilidad autónoma de personas parapléjicas.
- Realización de diferentes pruebas de velocidad, autonomía y tiempo de descarga del monociclo a fin de verificar el estado y funcionamiento del ensamble y el sistema eléctrico.
- Verificación de la pruebas de funcionamiento con la comparación de datos reales con los datos teóricos

### **1.4. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

#### **1.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Movilización autónoma de personas parapléjicas

**Tabla 1**

Operacionalización de variable independiente

| <b>VARIABLE</b>  | <b>DIMENSIÓN</b>   | <b>INDICADOR</b>             | <b>UNIDAD</b>       | <b>INSTRUMENTO</b> |
|--|--------------------|------------------------------|---------------------|--------------------|
| <b>Las personas parapléjicas necesitan moverse sin ayuda</b> | Velocidad          | Recorrido cronometrado       | m/s                 | Cronometro         |
|  | Tiempo de Descarga | Tiempo en superficies planas | Horas<br>Minutos    | Cronometro         |
|  | Autonomía          | Distancia total recorrida    | Kilómetro<br>Metros | Odómetro           |

**1.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

Monocicleta de mando eléctrico

**Tabla 2**

Operacionalización de variable dependiente

| <b>VARIABLE</b>   | <b>DIMENSIÓN</b> | <b>INDICADOR</b>               | <b>UNIDAD</b> | <b>INSTRUMENTO</b> |
|---|------------------|--------------------------------|---------------|--------------------|
| <b>Desarrollar una máquina para la movilización de persona parapléjicas</b> | Adaptación       | Acople y desacople             | Segundo       | Cronómetro         |
|   | Seguridad        | Persona segura en el recorrido | Segundo       | Cronómetro         |

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO.

#### 2.1. ANTECEDENTES

La silla de ruedas es un aparato de locomoción indispensable para las personas parapléjicas, modificando su personalidad, la forma de ver y comportarse en el mundo y frente a los seres que lo rodean, la silla de ruedas transforma al discapacitado en un individuo más satisfecho, seguro de sí mismo e independiente

En el Ecuador según cifras del INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) en el año 2014 existían 1'608.334 personas con algún tipo de discapacidad; 137.237 ecuatorianos tienen discapacidad física; 830 cotopaxense sobrellevan paraplejia. (Acurio, 2013)

Durante los últimos años, la toma de conciencia hacia las personas con distintas discapacidades ha hecho que muchas fundaciones, entidades y organizaciones, luchan por dar igualdad, confort y facilidad al desplazamiento de dichas personas por diferentes calzadas de la ciudad de Latacunga. El medio común de transporte para personas parapléjicas siempre ha sido la silla de ruedas, la misma que en muchos casos es eléctrica y presta mayor confort a dicha persona en su movilización de tramos cortos.

El Gobierno Nacional, a través del Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad (MCPEC), suscribió un convenio con representantes de marcas de Vehículos Eléctricos (VE) del país (Audi, Renault, KIA, BYD), para el desarrollo, mercantilización y perspectivas de fabricación de baterías y vehículos eléctricos en el Ecuador, las cuales aportará al cambio de la matriz productiva. (El comercio, 2015).

Con el ingreso de la energía eléctrica se logrará reducir progresivamente la dependencia del uso de combustibles fósiles (gasolina o diesel); la reducción progresiva de las emisiones de CO<sub>2</sub>; optimizar la salud de la ciudadanía;

desarrollar una industria automotriz y eléctrica, aprovechando el cambio en la Matriz Energética.

## **2.2. DISCAPACIDADES**

Aquí se describe las diferentes discapacidades que dan en las personas, específicamente que perturben al movimiento en sus extremidades inferiores, entre los cuales tenemos la Paraplejía y Monoplejía, los cuales se describirán rápidamente a continuación.

### **2.2.1. PARAPLEJÍA**

La paraplejía es un impedimento en la función motora o sensorial de las extremidades inferiores como se muestra en la figura 1. Por lo general, la consecuencia de la lesión de la médula espinal como la espina bífida que perturba a los elementos neurales del canal espinal. El espacio del canal espinal que se ve presuntuoso en la paraplejía, lumbar, sacra o. Si los dos brazos también se ven presumidos por la parálisis, tetraplejía es el término adecuado.

Algunos individuos con paraplejía logran caminar hasta cierto punto, varios dependen de sillas de ruedas u terceras medidas de apoyo.



**Figura 1:** Persona parapléjica

**Fuente:** (Photaki, 2014)

### 2.2.2. MONOPLEJÍA

La Monoplejía es lo mismo que la paraplejía, pero únicamente se ve afectado un solo miembro de la persona, como se muestra en la figura 2, esta persona es capaz de mover solo una mano y una pierna



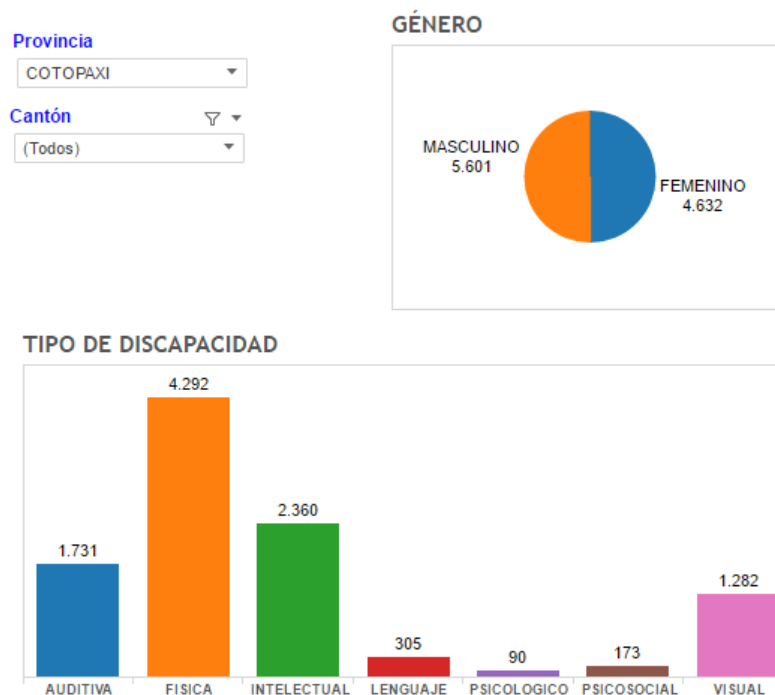
**Figura 2:** Persona con Monoplejía

**Fuente:** (Como los Sapos Ciegos, 2015)

### 2.3. ESTUDIO CUANTITATIVO

Luego de determinar los diferentes tipos de discapacidades que afectan a los miembros inferiores de las personas, se realiza una investigación cuantitativa de las personas que tienen este tipo de discapacidades en la ciudad de Latacunga.

El CONADIS realiza investigaciones y brinda información referente al tema pero muy generalizada, de todos modos sirve como referente para la investigación, en la figura 3 se detalla el cuadro de discapacidades para la provincia de Cotopaxi.



**Figura 3:** Número de personas con discapacidad Carnetizadas en Cotopaxi

**Fuente: Ministerio de Salud Pública de Ecuador JUNIO 2016**

En conclusión, según la investigación realizada un total de 4.292 personas entre hombres y mujeres tienen problemas físicos, entonces esta sería la población a la que está dirigido nuestro proyecto.

#### **2.4. FORMULACIÓN DE LAS ENCUESTAS A REALIZAR.**

Una encuesta es una práctica o método de recolección de información en donde se sondea de manera verbal o escrita a un grupo de personas con el fin de conseguir determinada información necesaria para una investigación. (Negocios, 2015)

## 2.4.1. MODELO DE LA ENCUESTA

**Tabla 3**

Preguntas de encuesta y objetivos

| PREGUNTA  | OBJETIVO  |
|---|---|
| ¿Qué tipo de vehículo utiliza normalmente para moverse?   | Saber en qué medio de transporte es el que más comúnmente las personas con paraplejia se movilizan.   |
| ¿Existe una persona lista para atenderle cuando necesita moverse?   | Conocer si existe siempre una persona dispuesta a ayudarle a moverse a una persona parapléjica cuando este lo requiera.   |
| ¿Le gustaría conducir un vehículo eléctrico para moverse?   | Determinar los gustos de las personas al para realizar el diseño del dispositivo.   |
| ¿Le gustaría conducir un dispositivo eléctrico que sea adaptado a la silla de ruedas convencional para moverse?                                 | Determinar si las personas están dispuestas a conducir el dispositivo de mando electrónico adaptado a la silla de ruedas convencional para moverse.                     |
| ¿Cuánto dinero estaría usted dispuesto a pagar para adaptar un dispositivo de mando electrónico a la silla de ruedas convencional para moverse? | Determinar el costo que las personas estarían dispuestas a pagar por adaptar un dispositivo de mando electrónico a su silla de ruedas convencional.                     |
| ¿Señale las características primordiales que cree que debe tener este dispositivo?  | Identificar las características primordiales que las personas con parapléjicas buscan en el dispositivo de mando electrónico adaptado a la silla de ruedas convencional |



## 2.4.2. FORMA DE SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Las personas que presenta tener movilidad reducida en sus extremidades inferiores y la cual necesita de ayuda para poder movilizarse en la ciudad de Latacunga, registradas en el CONADIS 4.292 personas con discapacidades físicas, de las cuales hay 873 personas que registran tener movilidad reducida en sus miembros inferiores. Considerando que de las 873 personas que registran tener movilidad reducida en sus miembros inferiores, de las cuales hay 58 personas con Paraplejia de toma este dato con la formula expuesta. (Registradas, 2016)

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2Z^2} \quad \text{Ec. 1.1}$$

$$n = \frac{(58) * (0.5)^2 * (95\%)^2}{(58 - 1) * 0.07^2 + (0.5)^2 * (95\%)^2}$$

$$n = 19.039 \text{ personas}$$

Una vez hecho el cálculo respectivo se determinó que a 19 personas con paraplejia se debe hacer la entrevista.

## 2.4.3. ANÁLISIS DE LAS ENCUESTAS FORMULADAS

El presente análisis se basa en las encuestas realizadas a las diferentes personas que presentan paraplejia para poder movilizarse en la ciudad de Latacunga, las mismas que permitirán determinar la problemática de movilidad que las personas presentan. (Suarez, 2011)

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N - 1)e^2 + \sigma^2Z^2}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra.

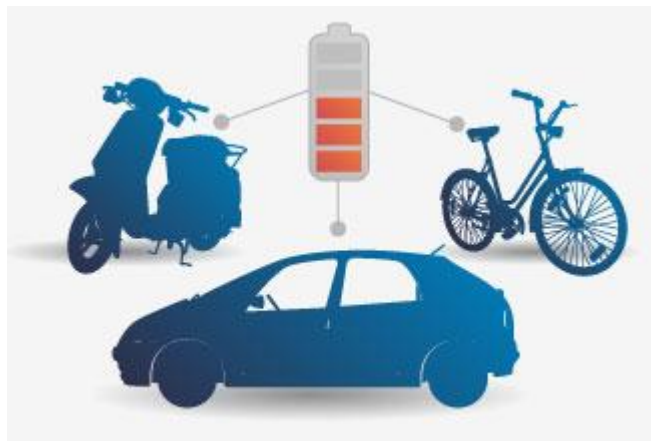
N = Tamaño de la población.

$\sigma$  = Desviación estándar de la población que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0,5.

- Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza. Es un valor constante que, si no se tiene su valor, se lo toma en relación al 95% de confianza.
- e = Límite aceptable de error maestro que, se utiliza un valor que varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09), valor que permanece a criterio del encuestador.

#### 2.4.4. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Los vehículos eléctricos se desplazan por un motor eléctrico sustentado por baterías como se muestra en la figura 3 que se carga por medio de una toma de corriente. Su utilización muestra ventajas desde el punto de vista ambiental, ya que reconoce reducir el nivel de emisiones de CO al espacio. (Vehículos eléctricos., 2013)



**Figura 4:** Modelos de vehículos eléctricos  
**Fuente:** (Vehículos eléctricos., 2013)

#### 2.5. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS PARA DISCAPACITADOS.

El triciclo 100% eléctrico para personas discapacitadas que se muestra en la figura 5 es una alternativa en el futuro de la movilidad y transporte urbano, gracias a la utilización de una energía limpia y eficiente como es la energía eléctrica.

Una de las oportunidades que brinda el triciclo eléctrico es la de eliminar por completo el esquema de propulsión convencional con una única unidad propulsora, donde, el motor brushless es la verdadera protagonista al enviar el torque necesario para mover el triciclo. Es decir, instalar el motor directamente en la rueda sin transmisiones intermedias.



**Figura 5** Triciclo eléctrico para discapacitados

**Fuente:** (Vehículos eléctricos., 2013)

## **2.6. ATTITUDE HÍBRIDA**

La handbike Quickie Attitude Híbrida ajusta los beneficios físicos del handbike manual con la bienestar de la asistencia eléctrica con un motor de 250 W. Logra activar su motor en aquellos tramos que te reflejen más complicados o cuando necesite una ayuda sobresaliente de velocidad. Con 10 velocidades para acomodar el manejo en función del terreno, guardabarros y luz delantera y trasera de serie.



**Figura 6:** Hand Bike hibrida  
**Fuente:** (Medical, 2016)

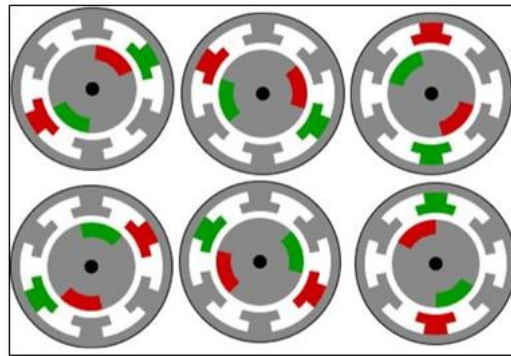
## **2.7. MOTOR**

Los motores eléctricos tienen su principio de funcionamiento en la transformación de energía eléctrica en energía mecánica. La base de funcionamiento son las fuerzas electromagnéticas existentes entre el imán y el bobinado. Los motores empleados en bicicletas, motos o triciclos eléctricos son casi en su totalidad motores de imanes permanentes con o sin escobillas, estos motores tienen la densidad de potencia más alta.

### **2.7.1. MOTOR DE MAGNETISMO PERMANENTE O BRUSHLESS (BLDC).**

A este tipo de motores también se los conoce como motores brushless, por su denominación en inglés, estos son conmutados electrónicamente (ECM), es un tipo de motor sin escobillas que tiene control del par y velocidad. (Abatta Jacome & Moya Llano, 2013)

Un BLDC tiene un rotor con imanes permanentes y un estator con bobinado como se muestra en la figura 7, las escobillas y el colector han sido anulados, los enroscados están acoplados a la electrónica de control, dicha electrónica sustituye la función de energizar el devanado apropiado. (Abatta Jacome & Moya Llano, 2013)



**Figura 7** Motor Brushless principio de funcionamiento  
**Fuente:** (Abatta Jacome & Moya Llano, 2013)

Las escobillas de un motor de corriente continua tienen varias limitaciones, ruido, limitada vida del colector, limitada velocidad máxima, entre otras. Los motores BLDC son potencialmente más limpios, más rápidos, más eficientes, menos ruidosos, más fiables y no producen chispas. Sin embargo, el motor BLDC requiere control electrónico, siendo este el motor BLDC el más apto para vehículos o motocicletas eléctricas. (Abatta Jacome & Moya Llano, 2013)

### 2.7.2. VENTAJAS DE MOTORES BRUSHLESS (BLDC)

Estos motores tienen ciertas ventajas de rendimiento sobre los motores de corriente alterna, especialmente en aplicaciones con amplias variaciones en carga y velocidad, pues una de sus características, es mantener eficiencias relativamente altas a cargas de motor bajas. ( VARGAS SHIGUANGO, 2015)

## 2.8. BATERÍAS

Desde su invención, las baterías se han mantenido con una evolución que se podría considerar constante. Para el vehículo considerado, las baterías son su corazón, y sin ellas su funcionamiento no sería posible. (Becerril Sandoval, 2014)

Los vehículos eléctricos tiene como características la autonomía, velocidad máxima, tiempo de recarga y costo dependen fuertemente del tipo

de baterías que se va a manejar en el diseño y fabricación del vehículo. Por todo ello, la temática de las baterías recargables es un punto importante en el campo de los vehículos eléctricos. (Martín Pérez, 2010)

Las baterías utilizadas, son las convencionales de electrolito líquido. Pero existen otro tipo de baterías, las llamadas “secas”. En el interior de la batería no hay electrolito en estado de fluido, por lo que el electrolito está inmovilizado. (Bastidas Arroyo & Cabrera Diaz , 2014)

### **2.8.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

Las baterías deben tener las siguientes características:

- Alta potencia específica
- Prolongado ciclo de vida
- Bajo costo
- Seguridad
- Simple mantenimiento
- Proporcionar una correcta estimación de la energía remanente
- Tener una baja auto descarga
- Ser recargada rápidamente.
- Sin riesgo de causar contaminación ambiental cuando sean desechadas. (CONAE, 2015)

### **2.8.2. BATERÍA UTILIZADA EN AUTOS ELÉCTRICOS**

#### **a) IONES DE LITIO (LI-ION)**



**Figura 8** Batería de Iones de Litio 48 V

El progreso de la telefonía móvil dio paso a nuevas tecnologías como la creación de baterías de iones de litio. Su densidad energética asciende a unos 115 Wh/kg, y no sufren el efecto memoria. Su ciclo de vida es elevado 500-600 ciclos. (RENOVAENERGÍA, 2015)

**Tabla 4**

*Ventajas de la batería ion-litio*

| VENTAJAS   |
|--|
| <b>Alta densidad de energía capaces de proporcionar altas corrientes</b> |
| <b>Muy bajo porcentaje de auto descarga</b>                              |
| <b>No tienen efecto memoria</b>  |
| <b>Alto voltaje por celda</b>  |
| <b>Son más ligeras</b>   |

**Fuente:** (Navarrete Chang & Vega Trujillo, 2012)

**Tabla 5**

*Limitación de la batería ion-litio*

| LIMITACIONES   |
|--|
| <b>Están sujetas al envejecimiento aunque no sean usadas</b>                     |
| <b>Muy costosas</b>  |
| <b>Requieren de un circuito de protección para mantener una operación segura</b> |
| <b>Muy contaminantes</b>   |

**Fuente:** (Navarrete Chang & Vega Trujillo, 2012)

Sera la siguiente generación que alimentarán de energía a los vehículos híbridos y cien por ciento eléctricos conectados a la red. A pesar de sus indudables ventajas, también presentan inconvenientes como: sobrecalentamiento, alto costo y, sobre todo, las reservas de litio, sujetas a una gran controversia. (Navarrete Chang & Vega Trujillo, 2012)

**Tabla 6**

Prestaciones de la batería iones de litio

| Tipo           | Energía<br>(wh/kg) | Energía/volumen<br>(wh/litro) | Numero de<br>ciclos | Eficiencia<br>energética % |
|----------------|--------------------|-------------------------------|---------------------|----------------------------|
| iones de litio | 125                | 300                           | 1000                | 92,5                       |

Fuente: (Ceña &amp; Santamarta, 2009)

## 2.9. ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

### 2.9.1. ELEMENTOS DE CONTROL

El controlador mostrado en la figura 9, es el componente más importante para el funcionamiento del motor eléctrico brushless, y en la actualidad en su mayoría son muy eficientes.

Las funciones principales del controlador en el motor eléctrico, son:

- Regulación de velocidad
- Regulación de par

Su principal objetivo es limitar el arranque del motor eléctrico, ya que este puede exigir enorme intensidad eléctrica, tanto como las baterías o la fuente de alimentación se lo permitan. (Abatta Jacome & Moya Llano, 2013)

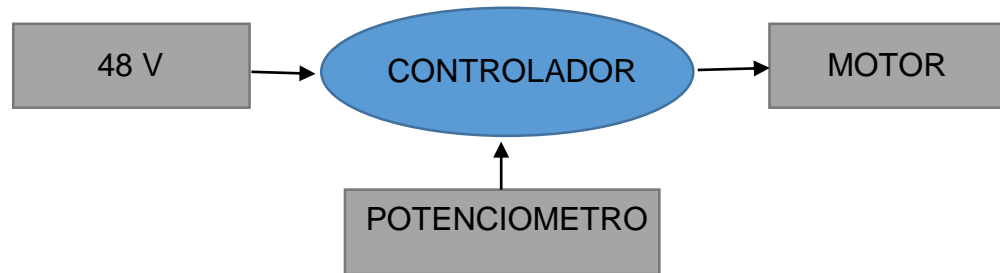
Es un dispositivo electrónico que permite controlar el flujo de voltaje hacia el motor eléctrico, es un controlador programable, se lo realiza mediante un software a través del ordenador o de una laptop, ya que permite comunicarse por el protocolo RS232.



**Figura 9** Controlador electrónico de 48 v/12ah



El controlador tiene una función similar al del carburador en un motor de combustión interna, es decir permite y regula el paso de voltaje hacia el motor eléctrico, mediante un circuito de control implementado en su diseño. En el siguiente gráfico se representa la función básica del controlador.



**Figura 10** Función del controlador

**Fuente:** (Tutillo Taipe, 2014)

**a) Palanca de control o acelerador electrónico.**

Los aceleradores de tipo electrónico mostrados en la figura 11, los cuales trabajan enviando señales mediante un sensor de “efecto hall” hacia el controlador.

Para su funcionamiento requiere alimentación (+5V), y masa. Devuelve como señal una onda de amplitud variable (0,9V- 4,8V), dependiendo de los deseos del conductor 0-100% de aceleración (Fernández & Efrén, 2012)



**Figura 11** Acelerador para motor eléctrico

## 2.9.2. ELEMENTOS DE SEGURIDAD

### a) FRENO DE DISCO

Los frenos de disco mostrados en la figura 12, mecánicos o hidráulicos, son cada vez más comunes, sobre todo en bicicletas de montaña. En algunos casos es improbable colocar frenos de disco debido a la distancia de anclajes para su instalación en el cuadro, en la horquilla, o la llanta no dispone de una pista donde la zapata pueda rozar.

La llanta puede ser frenada con zapatas como con disco. Los discos necesitan de un buje adecuado para instalar el disco y que los radios sean fuertes para aguantar la carga de frenado.



**Figura 12** Freno de disco mecánico delantero

## 2.9.3. ACCESORIOS ELÉCTRICOS

### a) VELOCÍMETRO

En el velocímetro mostrado en la figura 13 funciona en base a un cable flexible que gira en el interior de una funda y que va conectado a la caja de cambios o un piñón que va conectado a la rueda en caso de un motor eléctrico. (Meganeboy, 2014)

Los tipos de velocímetros que hay son: mecánico, electrónico y digital.



**Figura 13** Display

### **b) CARGADOR INTELIGENTE**

El cargador mostrado en la figura 14 controla su temperatura y el voltaje de la batería que lleva cargándose, proporcionando una corriente de carga adecuada en todo momento.

En las baterías de Ni-Cd y NiMH, el voltaje que puede prometer la batería agranda poco a poco durante el proceso de carga hasta que la batería está completamente cargada. Tras esto el voltaje reduce, lo que enseña a un cargador inteligente que la batería está completamente cargada.

Un cargador recarga la batería hasta un 85% de su capacidad máxima en menos de una hora, entonces cambia a carga de mantenimiento, lo que requiere varias horas hasta conseguir la carga completa. (Alibaba.com, 2013)



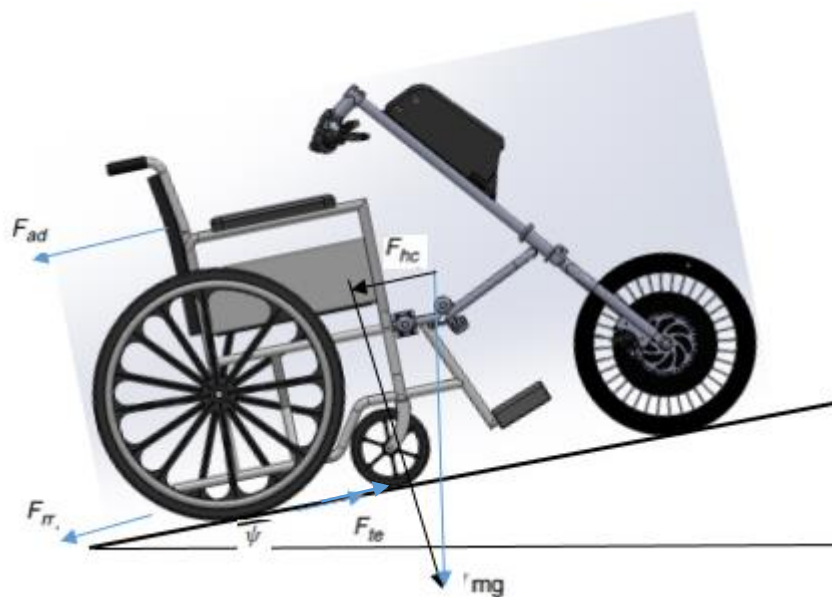
**Figura 14** Cargador de batería de 48 v ion litio

## 2.10. MODELO MATEMÁTICO DEL SISTEMA MOTRIZ

La teoría de control es una parte fundamental de los estudio de sistemas dinámicos, para poder obtener el desempeño deseado de un sistema motriz, lo primero que se debe saber es su respuesta ante las distintas condiciones de operación. Una forma de entender la dinámica de un sistema es la obtención de un modelo matemático abstracto, el cual es obtenido mediante la aplicación de leyes físicas que rigen su comportamiento, como las leyes de Newton para sistemas mecánicos. Este modelo matemático es un conjunto de ecuaciones que representan de forma aproximada la respuesta del sistema. (Ogata , 2003)

### 2.10.1. ESFUERZO DE TRACCIÓN

Para un buen desempeño del prototipo, en pendiente tendrá que cumplir con la Segunda ley de Newton que plantea que la sumatoria de fuerzas en el eje x es igual a la masa del cuerpo en movimiento por la aceleración que este tenga. Las ecuaciones para el cálculo de la fuerza de tracción fueron tomadas de Larminie y se esquematiza las fuerzas como se indica en la figura 15



**Figura 15** Fuerzas que actúan en un vehículo en una pendiente

El primer paso en el modelado de rendimiento del vehículo es producir una ecuación para la tracción esfuerzo. Esta es la fuerza que impulsa el vehículo hacia adelante, que se transmite al suelo a través las ruedas de tracción. Considere un vehículo de masa  $m$ , de proceder a una velocidad  $v$ , por una pendiente de ángulo  $\psi$ . La fuerza que impulsa el vehículo hacia adelante, el esfuerzo de tracción, tiene que cumplir el seguimiento: (Larminie J. , 2003)

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

Vamos a considerar cada uno de estos a su vez:

### 2.10.2. Fuerza de tracción del vehículo eléctrico ( $F_{te}$ ).

$$F_{te} - F_{rr} - F_{ad} - F_{hc} = m.a \quad \text{Ec. 1. 2}$$

Esta es la fuerza que necesita proveer el motor eléctrico para impulsar al monociclo, despejando la fuerza de tracción eléctrica de la ecuación:

$$F_{te} = m.a + F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} \quad \text{Ec. 1. 3}$$

Dónde:

$F_{te}$ = Fuerza de tracción del vehículo eléctrico. [N]

$F_{rr}$ = Fuerza de fricción entre la superficie y los neumáticos. [N]

$F_{ad}$ = Fuerza de fricción con el viento. [N]

$F_{hc}$ = Componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente. [N]

### 2.10.3. Fuerza de fricción entre la superficie y los neumáticos ( $F_{rr}$ ).

Esta fuerza es la que se opone al movimiento del vehículo por que produce fricción (energía convertida en calor) entre los neumáticos y la superficie donde se esté desplazando el vehículo, para realizar este cálculo dependerá mucho la superficie por donde vayamos a rodar el vehículo.

El valor de  $\mu_{rr}$  razonablemente se puede calcular fácilmente tirando de un vehículo a una velocidad constante muy baja velocidad, y la medición de la fuerza requerida. Los valores típicos de  $\mu_{rr}$  son 0.015 para un neumático de estructura radial, hasta aproximadamente 0,005 para los neumáticos desarrollado especialmente para los vehículos eléctricos. (Kindler, 1986)

$$F_{rr} = U_{rr} * m * g * \cos(\psi) \quad \text{Ec. 1.4}$$

Dónde:

$U_{rr}$ = Coeficiente de rozamiento dinámico entre caucho y asfalto (0.015)

$m$  = Masa del vehículo eléctrico. [Kg]

$\psi$  = Ángulo de la pendiente en grados. [°]

### 2.10.4. Fuerza de fricción con el viento ( $F_{ad}$ ).

Esta fuerza se aplica sobre la sección transversal del triciclo debido a que estará en movimiento y será ejercida por la acción del viento en contra del avance del monociclo y será negativa por estar opuesta al movimiento. En situaciones reales esta podría cambiar de sentido y ser positiva si el viento estuviera en el mismo sentido del movimiento, pero por motivo de diseño se la considera contraria.

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d v^2 \quad \text{Ec. 1.5}$$

Dónde:

$\rho$  = Densidad del aire. [Kg/m<sup>3</sup>]

$A$  = Sección transversal del triciclo en.[m<sup>2</sup>]

$Cd$ = Coeficiente aerodinámico 0.3 a 0.8 en vehículos de turismo

$v$  = Producto de la velocidad de la monocicleta m/s (la fuerza de fricción con el viento es directamente proporcional a la velocidad del vehículo, más velocidad mayor fuerza). [m/s]

### 2.10.5. Componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente ( $F_{hc}$ ).

La fuerza necesaria para conducir el vehículo por una pendiente es el más sencillo de encontrar. Es simplemente el componente del peso del vehículo que actúa a lo largo de la pendiente. Por simple resolución de las fuerzas vemos que:

$$F_{hc} = m * g * \text{sen}(\psi) \quad \text{Ec. 1.6}$$

Donde:

$m$  = Masa del vehículo eléctrico. [Kg]

$g$  = Gravedad. [m/s<sup>2</sup>]

$\psi$  = Ángulo de la pendiente en grados. [°]

## 2.11. CONCEPTOS TÉCNICOS SOBRE VEHÍCULOS

En este apartado se explica conceptos técnicos utilizados a lo largo del presente proyecto para demostraciones y justificaciones. Se centran principalmente en dimensiones generales de los vehículos así como las ubicaciones de puntos de partida para el análisis, en las de definiciones de las masas y en el estudio de las cargas.

### 2.11.1. DISTANCIA ENTRE EJES

Es la distancia entre el centro del eje delantero y del eje trasero.

### 2.11.2. CARACTERÍSTICAS PARA LA DISTANCIA ENTRE EJES.

- **Estabilidad:** Una mayor distancia entre ejes implica que, con el mismo ángulo de giro de las ruedas, el vehículo gire menos ya que transita una recorrido con un radio mayor. Esto representa que se vuelve más estable a altas velocidades y en curvas amplias pero menos manejables a bajas velocidades y en curvas cerradas.
- **Momento de Inercia respecto al giro del chasis:** En un vehículo ligero, el peso de los componentes supone un porcentaje considerable respecto al total del chasis. Al aumentar la distancia entre ejes se desplaza este peso del eje vertical de giro (situado entre los ejes).

### 2.11.3. ANCHO DE VÍA

Es la medida entre el centro de la huella del neumático izquierdo y derecho como se muestra en la ilustración 1. Puede ser diferente en el tren delantero y en el trasero.

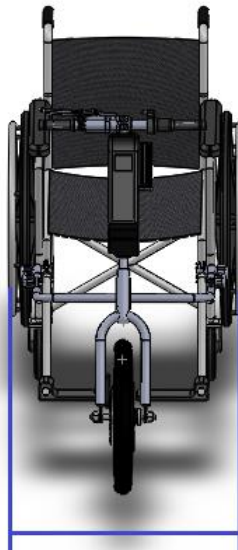


Ilustración 1 Ancho de Vía

### 2.11.4. CARACTERÍSTICAS PARA EL ANCHO DE VÍA.

- **Transferencia lateral de pesos:** Al tomar una curva se sobrecargan las ruedas exteriores al transferirse parte del peso del vehículo. Esta transferencia reduce al aumentar el ancho de vía.



- **Peso:** Mayor anchura involucra mayor peso total.
- **Área frontal:** Mayor anchura suele involucrar mayor área frontal y mayor resistencia aerodinámica.
- **Manejabilidad:** Del mismo modo que notamos en la distancia entre ejes, una mayor anchura implica una menor maniobrabilidad al aumentar el momento de inercia respecto al eje vertical. En otras palabras, el vehículo se vuelve algo más "lento" pero también más estable.
- **Elección de trayectoria:** Una mayor anchura exige a que el centro del vehículo posea que pasar algo más apartado del borde de la curva, alejándonos de la trayectoria ideal. Este efecto se nota más en curvas de radio reducido.

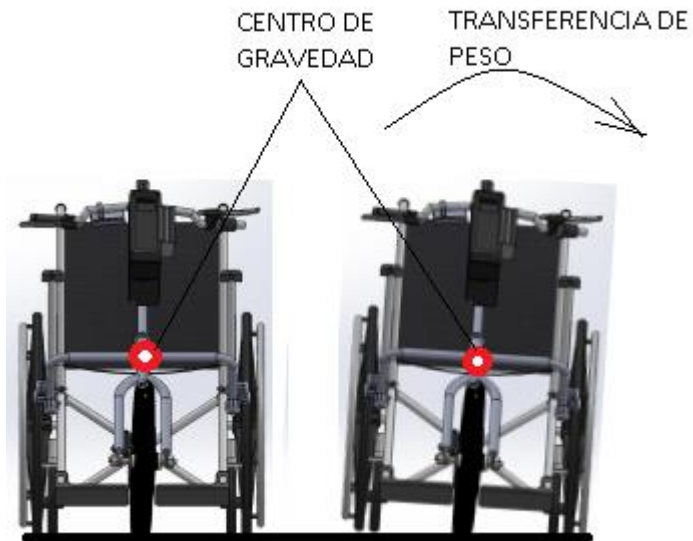
#### 2.11.5. TRANSFERENCIA DE PESO

##### a) TRANSFERENCIA TRANSVERSAL

En el momento de curvar la fuerza centrífuga hace que haya una transferencia de peso hacia la rueda del exterior de la curva. Es directamente proporcional a la fuerza centrífuga y al centro de gravedad e inversamente proporcional al ancho de vía del vehículo.

Esta transferencia se muestra por el balanceo de la carrocería y hace que los neumáticos del interior de la curva desaprovechen la capacidad de adherencia lateral, tracción, frenada, y los del exterior ensanchan la adherencia.

El balanceo provoca una modificación de los ángulos de suspensión que hace que la pista del neumático no sea la ideal. Para controlar el balanceo se recurre al control del centro de gravedad, variación de vía, dureza de los muelles y sobre todo la barra estabilizadora.



**Figura 16:** Transferencia de peso transversal.

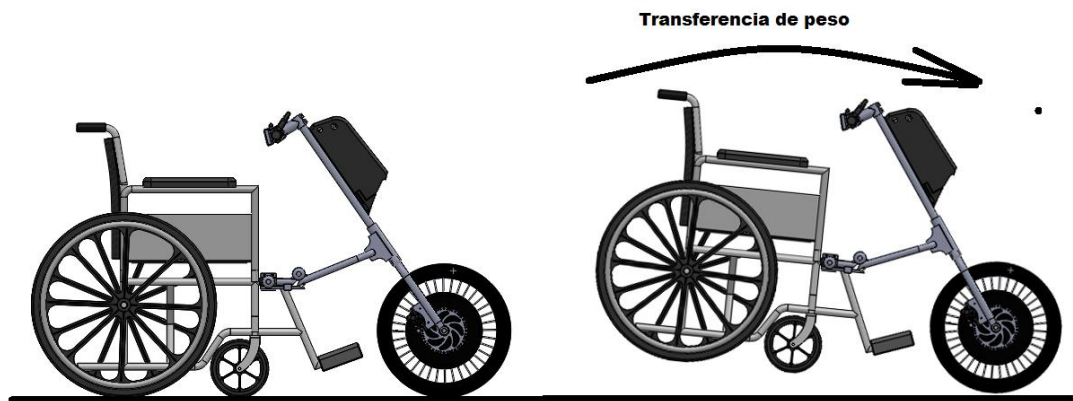
**Fuente:** (Dinámica de Vehículos, 2015)

### **b) TRANSFERENCIA LONGITUDINAL**

Al acelerar se transfiere peso hacia el eje trasero, el delantero se descarga y hay menos capacidad de tracción, por eso los tracción trasera tienen mejores condiciones de aceleración, más cuando el terreno es hacia arriba.

Al frenar sucede lo inverso, el tren trasero se descarga y el delantero se comprime también cambia la geometría de suspensiones, es por eso la frenada es mucho mayor en el tren delantero.

Cuando más agudo esté el CG mayor transmisión de pesos se producirá en las ruedas delanteras por lo que disminuirá la fuerza de frenada total. Para reducir estos efectos se plantean las suspensiones con efecto anti hundimiento. Para el hundimiento longitudinal se diseñan las articulaciones con un ángulo que ayude a controlar estos movimientos en función del centro de gravedad CG.



**Figura 17** Transferencia transversal de pesos.

**Fuente:** (Dinámica de Vehículos, 2015)

#### 2.11.6. CENTRO DE GRAVEDAD O DE MASAS

El Centro de Gravedad (CG) es el punto en el cual podríamos agrupar toda la masa del vehículo más piloto como muestra la figura 18 sin que cambie la conducta dinámica. También se define como aquel punto en el que se puede aplicar cualquier fuerza ejercida sobre el vehículo obteniendo el mismo efecto que en la realidad. (García, 2012)



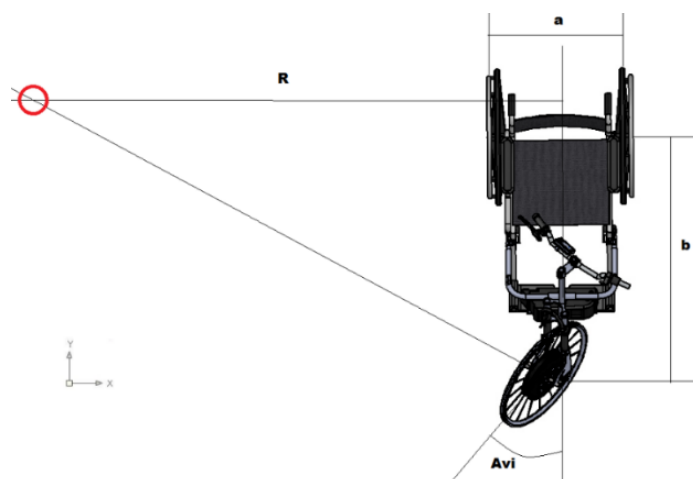
**Figura 18** Centro de gravedad.

Si el centro de gravedad está muy adelantado, la moto tendrá una dirección muy precisa, mientras que si está retrasado o próximo a la rueda posterior favorecerá la tracción haciendo la dirección más torpe. Si lo miramos en vertical, lo perfecto sería detallar con un centro de gravedad bajo en el que los cambios de movimiento de moto y ayudan a la estabilidad en marcha; un centro de gravedad más alto es poco aconsejable ya que desequilibran al conductor en las curvas.

### 2.11.7. PRINCIPIO DE ACKERMAN

Se usa casi exclusivamente en la industria del automóvil. Es la distribución que llevan los coches: dos ruedas con tracción traseras, y dos ruedas de dirección delanteras. Esta disposición está delineada para que la rueda delantera interior en un giro posea un ángulo levemente más sagaz que la exterior, e impedir así el derrape de las ruedas. (Enriquez, 2013)

Como se puede apreciar en la figura 19, las normales a ambas ruedas se cortan en un punto, que se encuentra sobre la prolongación del eje de las ruedas traseras. Así, se puede comprobar que las trayectorias de ambas ruedas para ángulos de giro constantes son circunferencias concéntricas.



**Figura 19:** Principio de Ackerman.

### **2.11.8. ANALISIS DE LAS CARGAS**

Según Robbert Norton en su libro Diseño de Maquinas indica que este procedimiento supone que todas las fuerzas y momentos desconocidos del sistema son de signo positivo, sin importar lo que pudiera indicar la propia intuición o la inspección del diagrama de cuerpo libre en lo que pudiera indicar la propia intuición o la inspección del diagrama de cuerpo libre en lo que se refiere a sus probables direcciones. Sin embargo, para definir las direcciones, a todas las componentes de las fuerzas conocidas se les asigna sus signos correspondientes. La solución simultánea del conjunto de ecuaciones que resulta hará que las componentes desconocidas tengan los signos correctos una vez terminada la solución.

Los sistemas dinámicos reales existen en tres dimensiones por lo tanto deben ser analizados como tales. No obstante, muchos sistemas tridimensionales pueden analizarse mediante métodos más sencillos en dos dimensiones.

### **2.11.9. TERCERA LEY DE NEWTON**

La Tercera ley de Newton expresa que “Cuando dos partículas interactúan, en su punto de contacto un par de fuerzas de acción iguales y opuestas. Este par de fuerzas tendrá la misma magnitud y actuará a lo largo de la misma línea de dirección, pero tendrá sentido opuesto”

### **2.11.10. ANÁLISIS BIDIMENSIONAL**

Todas las máquinas son de tres dimensiones, pero muchos sistemas tridimensionales pueden analizarse bidimensionales cuando sus movimientos sólo se presentan en un plano o en planos paralelos. Las ecuaciones de Euler muestran que si los movimientos de rotación y los momentos o pares de fuerzas aplicados sólo existen respecto a un eje, entonces el conjunto de tres ecuaciones se reduce a una ecuación.

### **2.11.11. ANÁLISIS DE CARGA ESTÁTICA**

La diferencia entre una situación de carga dinámica y una de carga estática es la presencia o ausencia de aceleraciones. En las ecuaciones las aceleraciones son todas ellas de valor cero

### **2.12. LA CASA DE LA CALIDAD**

Es una matriz conformada de seis partes que se emplea para determinar el nivel de importancia que tienen cada una de las características de diseño y al mismo tiempo conocer en qué aspectos se debe mejorar un servicio o un producto relacionando las necesidades del cliente (QUE´S) y la manera de implantar dichas necesidades (CÓMO´S) mediante símbolos que tienen diferentes ponderaciones.

El nivel de importancia se analiza realizando una serie de operaciones matemáticas elementales para obtener valores absolutos y relativos de cada una de las necesidades del cliente y de la manera de cubrir esas necesidades.

#### **2.12.1. NECESIDADES DEL CLIENTE**

El cliente tiene una serie de necesidades y expectativas, en este caso se trata de las necesidades de las personas para transportarse en un prototipo de energía alternativa, por ejemplo si es cómodo, si es fácil de conducir, si consume combustible etc. A las necesidades del cliente se los conoce como los QUÉ´S.

Junto a cada necesidad se ubica un símbolo que representa una cantidad que determina su grado de importancia.

### **2.12.2. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO**

Explica cómo se va a responder a las expectativas que tienen las personas con el monociclo eléctrico expresadas por los diseñadores del proyecto. En la casa de la calidad se denominan los CÓMO'S

### **2.12.3. RELACIÓN ENTRE NECESIDADES CLIENTE Y CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO**

Indica mediante símbolos qué tipo de relación existe entre ambos requerimientos, ya sea muy fuerte, fuerte o débil a través de símbolos para conocer si las necesidades del cliente serán satisfechas

#### **a) RELACIÓN ENTRE LOS CÓMO'S**

En la parte superior de la casa de la calidad, se encuentra una malla de forma triangular donde se ubican en cada espacio y mediante simbología la relación que existe entre las características de diseño. Una vez colocados los símbolos se realiza la sumatoria de las ponderaciones de cada CÓMO con los demás y se divide para el menor valor. Se relaciona al cociente con un símbolo de la tabla de ponderaciones de acuerdo a su proximidad y se coloca sobre cada CÓMO en la casa de la calidad.

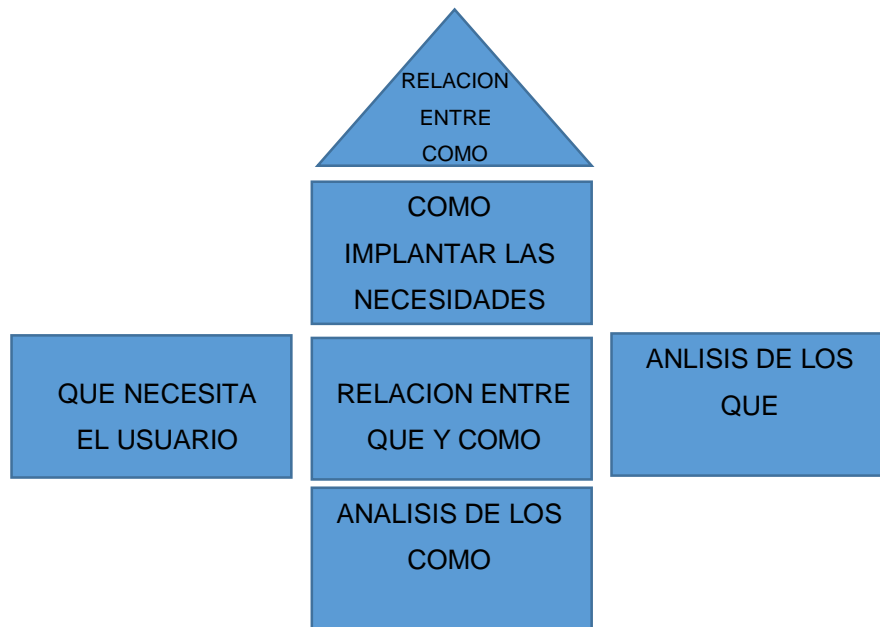
#### **b) ANÁLISIS DE LOS QUÉ'S**

El análisis de las necesidades del cliente se efectúa también con simbología y relacionándolas con la competencia que existe en el mercado con la finalidad de conocer en qué aspectos se debe mejorar.

#### **c) ANÁLISIS DE LOS CÓMO'S**

En esta sección se colocan los valores obtenidos de la multiplicación entre las ponderaciones de los QUE'S con las ponderaciones de los CÓMO'S y cada valor existente entre sus relaciones. El resultado indica el nivel de jerarquía que tiene cada requerimiento del diseñador, el mayor valor es más

importante. Se ubica en el sector inferior de la casa de la calidad y con el análisis de los QUÉ'S constituyen los puntos más relevantes de la casa de la calidad porque con estos análisis se concluye en que detalles se debe fijar más la atención en el diseño y construcción del monociclo eléctrico.



**Figura 20** Esquema Casa de la Calidad

**Fuente:** (Evans, 2008)



## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO

Previo a la construcción del sistema motriz del monociclo de mando eléctrico se procederá a realizar el diseño y los cálculos necesarios para la implementación del motor, el controlador y las baterías que necesitará el monociclo para que cumpla con la autonomía necesaria que está proyectada, y así seleccionar los componentes que se utilizaran para la construcción y ensamble.

Los parámetros que debemos tomar en cuenta para empezar son los siguientes:

- Peso total (incluido el ocupante)
- Velocidad de circulación
- Porcentaje de pendiente para la circulación.
- Aceleración del prototipo.

De esta manera para calcular la potencia que se requiere para impulsar la monocicleta, se necesita calcular en base a las condiciones más exigentes como por ejemplo para circular en pendientes, tomando en cuenta la topografía en el recorrido de la ciudad de Latacunga, con su respectivo arrastre, esto significa que tendrá que impulsar a una persona con ausencia de movilidad en sus extremidades inferiores y la silla de ruedas (90 Kg persona, 20 Kg silla de ruedas) en una pendiente del 8% (ver ilustración 2), a una velocidad promedio de 20 km/h que es lo que plantea en el libro de James Larminie en su obra *Electric Vehicle Technology Explained* de la pag. 226. Si estas condiciones se cumplen, entonces la monocicleta podrá cumplir con las demás condiciones del recorrido que requieren menor demanda, las cuales están compuestas por ligeras pendientes y superficies planas. El análisis de diseño se llevará a cabo en base a las condiciones presentadas por la casa de la calidad.

### **3.1. CASA DE LA CALIDAD**

#### **3.1.1. VOZ DEL USUARIO**

De acuerdo al criterio del usuario, en la que como principal actor manifiesta sus necesidades, el presente proyecto debe contar con las siguientes características:

- Liviano.
- Seguro en curvas.
- Confortable.
- Durable.
- Seguro en el momento de la conducción
- Resistente a impactos.
- Facilidad de montaje y desmontaje.
- Coste reducido.
- Largas horas de funcionamiento
- Silencioso

#### **3.1.2. VOZ DEL INGENIERO**

Una vez conocidos los requerimientos y deseos del usuario, se procede a traducirlos a especificaciones o características técnicas:

- Ergonomía.
- Dimensionamiento.
- Ángulo de levantamiento de la silla de ruedas
- Peso neto.
- Material de construcción.
- Anchura del centro de gravedad.
- Tratamiento superficial.
- Tipo de motor.
- Energía de funcionamiento
- Distancia entre ejes

**Título:** MONOCICLO DE MANDO ELECTRICO  
**Autor:** Cunalata Paulo, Manosalvas Marcelo  
**Fecha:** 04/08/2016  
**Notas:** El presente informe se llevó a cabo tomando en cuenta las necesidades del cliente, para así poder ayudar de una mejor manera a los discapacitados.

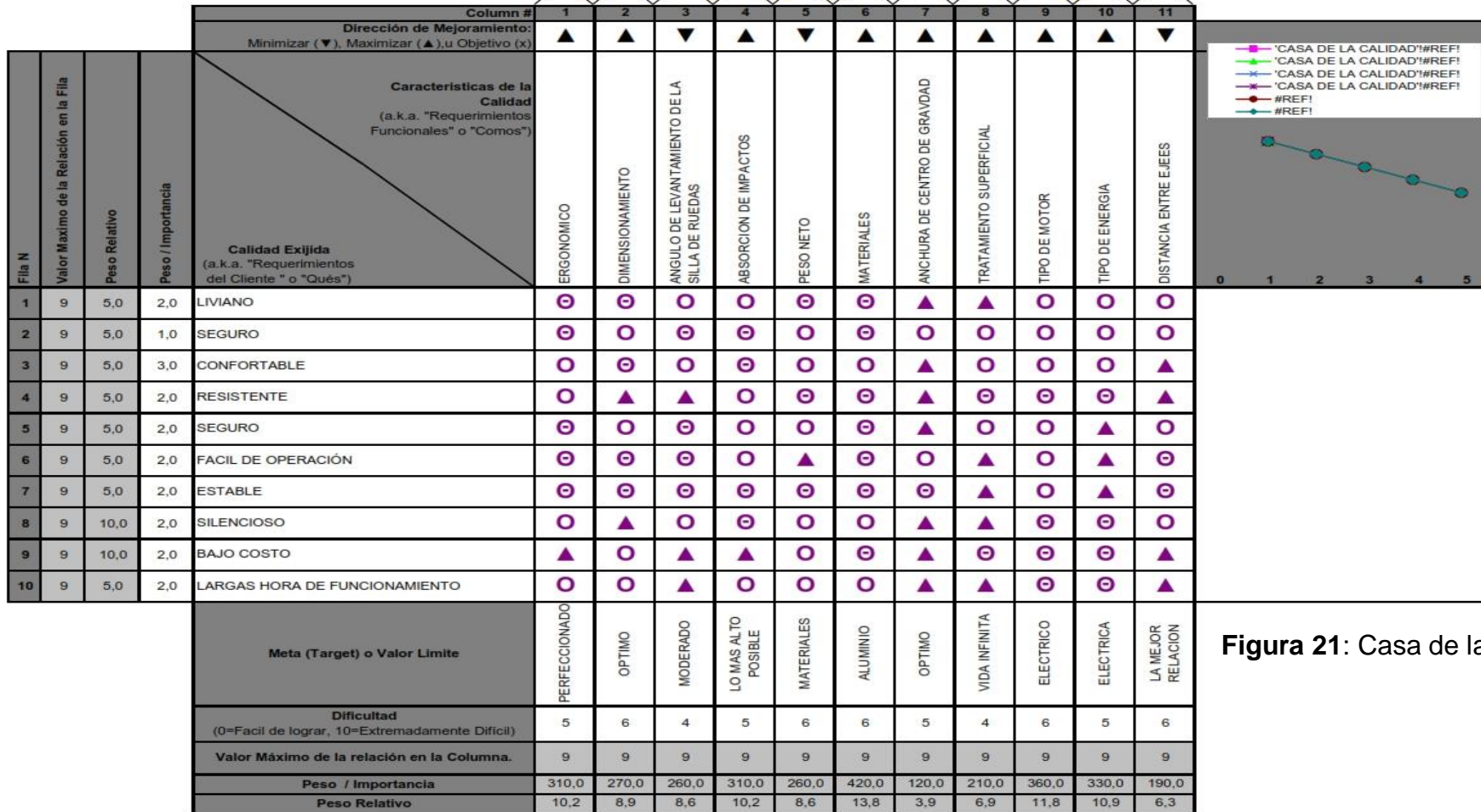
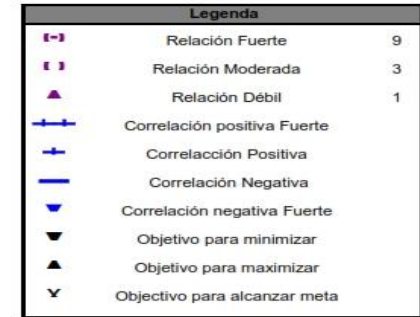


Figura 21: Casa de la Calidad

### 3.1.3. CONCLUSIONES DE LA CASA DE LA CALIDAD

La casa de la calidad mostrada en la figura 21 brinda información necesaria sobre las características técnicas que satisfacen en gran mayoría al cliente. De esta manera se procede a deducir los requerimientos técnicos más relevantes que son:

- Material de construcción para que sea resistente a los impactos y a la vez tenga una capacidad de soportar la deformación torsional con el tiempo.
- Ergonómico, es decir que sea cómodo de maniobrar y que tenga un mecanismo fácil de acoplamiento para que la persona parapléjica lo adapte de una manera rápida a cualquier silla de ruedas convencional.
- El requerimiento de utilizar energía limpia, libre de exposiciones de CO<sub>2</sub> y que sea silencioso al momento de funcionar.

Tomando en cuenta los requerimientos antes detallados, se concluye que el mecanismo de dirección de vehículo estará conformado por el movimiento dinámico del volante el cual mediante acoples se encarga de conectar la rueda motriz. Debe estar formado por un material resistente ya que soportara grandes esfuerzos debido al movimiento constante de la rueda con respecto a la estructura.

Además, el material debe tener propiedades con relación a la dureza y peso, para que el prototipo soporte cargas de masa viva, debido a diferentes condiciones de masa del discapacitado.

En cuanto a la adaptación a la silla de ruedas convencional, la geometría del prototipo de acoplamiento deberá unir puntos de conexión debido a ello es necesario acondicionar nuevas geometrías en el mecanismo de unión, el cual será dividido en partes soldadas. Por lo tanto, el material debe permitir que se pueda adaptar a la geometría deseada y tener una buena soldabilidad

### 3.1.4. MAPA MORFOLÓGICO

En la tabla 7 se evalúan las diferentes alternativas con sus respectivas características, con el fin de seleccionar la mejor opción de diseño. Se consideran diversas opciones que constituyen el mapa morfológico detallado a continuación, para determinar una configuración inicial para el diseño.

**Tabla 7**

Mapa morfológico de vehículos para discapacitados.

| <b>MAPA MORFOLOGICO</b>            |                             |                 |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| <b>ALIMENTACIÓN</b>                | Aire-Combustible            | Electricidad    |
| <b>FUENTE MOTRIZ</b>               | Motor de Combustión Interna | Motor Eléctrico |
| <b>POTENCIA</b>                    | Media                       | Baja            |
| <b>PESO</b>                        | elevado                     | Bajo            |
| <b>EMISIONES<br/>CONTAMINANTES</b> | Moderadas                   | Nulas           |

### 3.1.5. MAPA DE PONDERACIÓN.

En la tabla 8 realizamos la comparación de similitud a la tabla 7 en el mapa morfológico, con la diferencia de que es un análisis cuantitativo, en el que se valoran las características de las alternativas, con el fin de realizar una selección menos subjetiva.

**Tabla 8**

Mapa de ponderaciones

| <b>MAPA DE PONDERACIONES</b>   |                    |                               |                     |                           |                     |
|--------------------------------|--------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|
| <b>SISTEMA</b>                 | <b>PONDERACIÓN</b> | <b>VEHÍCULO DE COMBUSTIÓN</b> |                     | <b>VEHÍCULO ELÉCTRICO</b> |                     |
|                                |                    | <b>VALORACIÓN</b>             | <b>CALIFICACIÓN</b> | <b>VALORACIÓN</b>         | <b>CALIFICACIÓN</b> |
| <b>ALIMENTACION</b>            | 0,25               | 3                             | 0,75                | 9                         | 2,25                |
| <b>FUENTE MOTRIZ</b>           | 0,1                | 4                             | 0,4                 | 8                         | 0,8                 |
| <b>POTENCIA</b>                | 0,1                | 9                             | 0,9                 | 6                         | 0,6                 |
| <b>PESO</b>                    | 0,2                | 7                             | 1,4                 | 8                         | 1,6                 |
| <b>EMISIONES CONTAMINANTES</b> | 0,25               | 2                             | 0,5                 | 9                         | 2,25                |
| <b>COSTOS DE MANTENIMIENTO</b> | 0,1                | 4                             | 0,4                 | 6                         | 0,6                 |
| <b>TOTAL</b>                   |                    |                               | 4,35                |                           | 8,1                 |

Se ha determinado que la mejor opción, es la de la construcción de un monociclo para discapacitados.

Los requerimientos previos al diseño y construcción de un monociclo eléctrico se han determinado como:

- Componentes y materiales accesibles.
- Liviano.
- Bajo costo de construcción y de operación.
- Diseño seguro.
- Estético.
- De fácil construcción.
- Duradero.

## 3.2. EJECUCIÓN DE LOS ANÁLISIS

Para la ejecución de los análisis funcionales y de módulos se han tomado en cuenta las necesidades del usuario, en el caso particular de las personas con discapacidad en sus extremidades inferiores, pero las mismas se interpretan de una forma técnica según el criterio de los diseñadores.

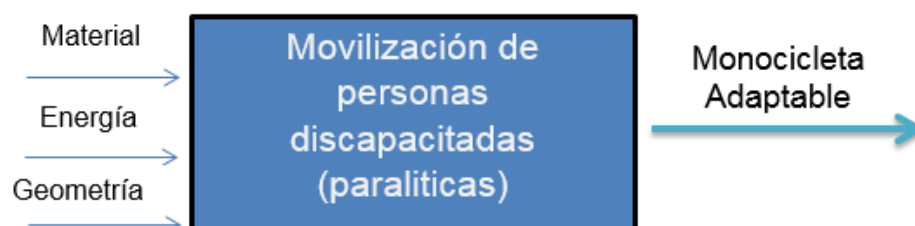
### 3.2.1. ANÁLISIS FUNCIONAL

Uno de los parámetros de este diseño son las necesidades del usuario, para lo cual se toma en cuenta la voz del usuario que se analizó con anterioridad para la casa de la calidad en la figura 21, y se determinó como principales a:

- Movilizar una persona discapacitada
- Fácil instalación por el usuario
- Desmontable y de armado rápido
- Desarrollar una velocidad a una aceleración constante
- Adaptable a cualquier tipo de silla de ruedas
- Manejo sencillo por la persona discapacitada

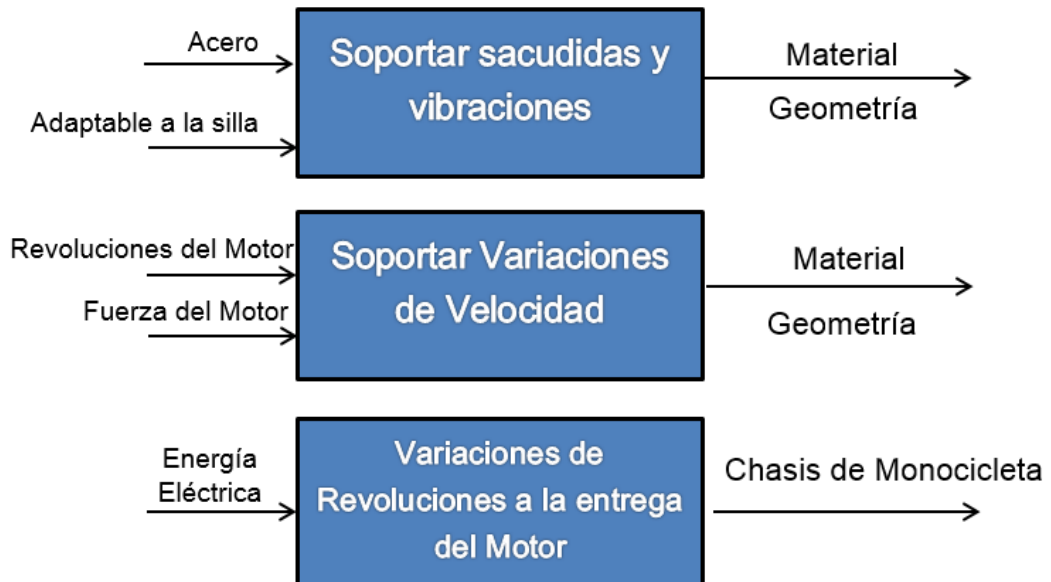
### 3.2.2. NIVEL 0: ANÁLISIS MODULAR

En este nivel se indicará el punto de partida, siendo este los criterios básico del diseño que son el material, la energía y la geometría para solucionar el problema de movilización de personas discapacitadas, paráliticas, siendo la respuesta el diseño y construcción de la motocicleta adaptable.



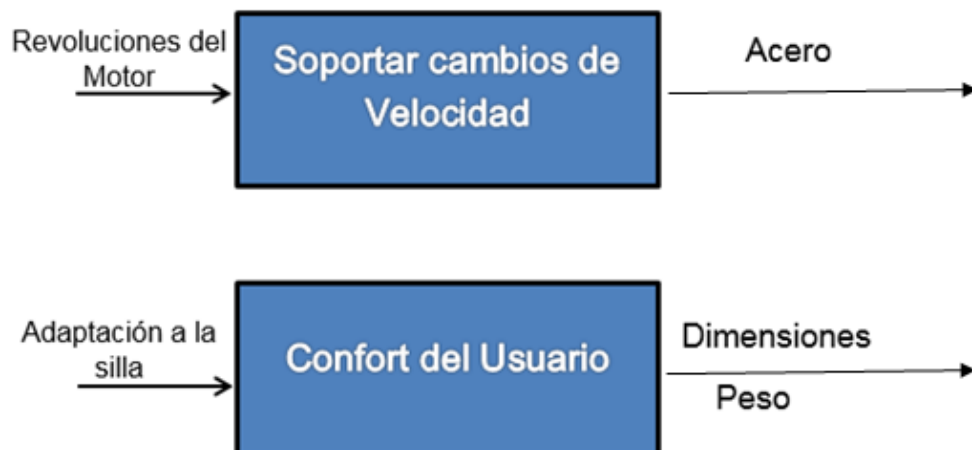
### 3.2.3. NIVEL 1: MÓDULO 1. ESTRUCTURA

Determinados los problemas a los que se enfrentaría el monociclo en cuanto a su estructura en este nivel se ofrecen alternativas que dan solución con el diseño del chasis del monociclo.



### 3.2.4. NIVEL 2: MÓDULO 2: SEGURIDAD

El nivel 2 ofrece soluciones de seguridad, una de las principales consideraciones es el material, el cual debe satisfacer las necesidades de diseño, ya que de él se basará los cálculos de dimensiones y cargas.





### 3.2.5. PLANTEAR SOLUCIONES A LOS MÓDULOS

#### a) SOLUCIÓN MÓDULO 1: ESTRUCTURA

El módulo 1 que se visualiza en la tabla 9, ofrece posibles soluciones a la problemática de la selección del material para cubrir los problemas planteados en el nivel 1 de estructura.

**Tabla 9**  
Módulo 1

| MODULO 1                           | POSIBLES SOLUCIONES |                |                            |
|------------------------------------|---------------------|----------------|----------------------------|
| <b>SACUDIDAS Y VIBRACIONES</b>     | ALUMINIO            | ACERO ASTM-A36 | ACERO INOXIDABLE ASTM A-32 |
| <b>SOPORTAR CARGAS REPETITIVAS</b> | ALUMINIO            | ACERO ASTM-A36 | ACERO INOXIDABLE ASTM A-32 |
| <b>CAMBIOS DE REVOLUCIONES</b>     | ALUMINIO            | ACERO ASTM-A36 | ACERO INOXIDABLE ASTM A-32 |
| <b>ALTERNATIVAS</b>                | ALT 1               | ALT 2          | ALT 3                      |

En la tabla 10 se realiza la ponderación de parámetros para la selección de las alternativas mostradas en módulo 1 referente a la estructura del monociclo. Para ello se establecen los factores de ponderación (0-1) y la calificación (1MIN-10MAX).

**Tabla 10**

Factores de ponderación para el módulo 1

| SACUDIDAS Y VIBRACIONES     |            |            |            |  |
|-----------------------------|------------|------------|------------|--|
| PARÁMETROS                  | Alt 1      | Alt 2      | Alt 3      |  |
| Seguro                      | 4          | 8          | 6          |  |
|                             | 0.3        | 0.3        | 0.3        |  |
| Fácil<br>instalación        | 5          | 5          | 5          |  |
|                             | 0.2        | 0.2        | 0.2        |  |
| Fiable                      | 3          | 9          | 9          |  |
|                             | 0.1        | 0.1        | 0.1        |  |
| Bajo costo                  | 5          | 9          | 2          |  |
|                             | 0.2        | 0.2        | 0.2        |  |
| Liviano                     | 9          | 5          | 5          |  |
|                             | 0.2        | 0.2        | 0.2        |  |
| <b>Σ</b>                    | <b>5.3</b> | <b>7,1</b> | <b>4,9</b> |  |
| SOPORTAR CARGAS REPETITIVAS |            |            |            |  |
| PARÁMETROS                  | Alt 1      | Alt 2      | Alt 3      |  |
| Seguro                      | 7          | 9          | 4          |  |
|                             | 0.3        | 0.3        | 0.3        |  |
| Fácil<br>instalación        | 3          | 7          | 8          |  |
|                             | 0.2        | 0.3        | 0.1        |  |
| Fiable                      | 7          | 7          | 4          |  |
|                             | 0.1        | 0.2        | 0.1        |  |
| Bajo costo                  | 4          | 6          | 7          |  |
|                             | 0.2        | 0.1        | 0.3        |  |
| Liviano                     | 8          | 4          | 7          |  |
|                             | 0.2        | 0.1        | 0.2        |  |
| <b>Σ</b>                    | <b>5.8</b> | <b>7.2</b> | <b>5.9</b> |  |
| CAMBIOS DE REVOLUCIONES     |            |            |            |  |
| PARÁMETROS                  | Alt 1      | Alt 2      | Alt 3      |  |
| Durable                     | 4          | 9          | 9          |  |
|                             | 0.4        | 0.3        | 0.5        |  |
| Liviano                     | 8          | 5          | 5          |  |
|                             | 0.4        | 0.4        | 0.2        |  |
| Fiable                      | 4          | 9          | 4          |  |
|                             | 0.2        | 0.3        | 0.3        |  |
| <b>Σ</b>                    | <b>5,6</b> | <b>7,4</b> | <b>6,7</b> |  |

## b) SOLUCIÓN MÓDULO 2: SEGURIDAD

En la tabla 11 se plantean alternativas de soluciones para la selección del material con la que se construirá el monociclo el cual se plantea en el módulo 2 de seguridad.

**Tabla 11**  
Módulo 2

| MÓDULO II                           | POSIBLES SOLUCIONES |                 |                            |
|-------------------------------------|---------------------|-----------------|----------------------------|
| Movilizar a personas discapacitadas | ALUMINIO            | ACERO ASTM A-36 | ACERO INOXIDABLE ASTM A-32 |
| Alternativas                        | Alt 1               | Alt 2           | Alt 3                      |

En la tabla 12 se realiza la ponderación de parámetros para la selección de las alternativas mostradas en módulo 2 referente a la seguridad de la persona que conducirá el monociclo. Para ello se establece los factores de ponderación (0-1) y la calificación (1MIN-10MAX).

**Tabla 12**  
Factores de ponderación para el módulo 2

| MANTENERSE EN PIE |            |            |            |
|-------------------|------------|------------|------------|
| PARÁMETROS        | Alt 1      | Alt 2      | Alt 3      |
| Seguro            | 5          | 9          | 8          |
|                   | 0.2        | 0.2        | 0.3        |
| Fácil instalación | 4          | 7          | 8          |
|                   | 0.3        | 0.2        | 0.2        |
| Fiable            | 5          | 6          | 3          |
|                   | 0.1        | 0.2        | 0.1        |
| Bajo costo        | 9          | 7          | 6          |
|                   | 0.2        | 0.2        | 0.2        |
| Liviano           | 9          | 7          | 7          |
|                   | 0.2        | 0.2        | 0.2        |
| $\Sigma$          | <b>6.3</b> | <b>7,2</b> | <b>6,9</b> |

### 3.2.6. SELECCIONAR LA ALTERNATIVA PARA CADA MÓDULO

**Tabla 13**

Resultados de las alternativas del módulo 1

| <b>MÓDULO 1</b>                    | <b>SOLUCIONES</b> |                            |                                  |
|------------------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------------|
| <b>SACUDIDAS Y VIBRACIONES</b>     | ALUMINIO          | <b>ACERO<br/>ASTM A-36</b> | ACERO<br>INOXIDABLE<br>ASTM A-32 |
| <b>SOPORTAR CARGAS REPETITIVAS</b> | ALUMINIO          | <b>ACERO<br/>ASTM A-36</b> | ACERO<br>INOXIDABLE<br>ASTM A-32 |
| <b>CAMBIOS DE REVOLUCIONES</b>     | ALUMINIO          | <b>ACERO<br/>ASTM A-36</b> | ACERO<br>INOXIDABLE<br>ASTM A-32 |

Una vez determinados los resultados, la opción seleccionada es el acero ASTM A-36, mostrada en la tabla 13, el brinda mayor soporte a las sacudidas y vibraciones, soportará cargas repetitivas sin mayores deformaciones y además de los cambios de revoluciones a las que estará expuesto el prototipo.

**Tabla 14**

Resultados de las alternativas del módulo 2

| <b>MÓDULO II</b>                           | <b>SOLUCIONES</b> |                            |                                  |
|--|-------------------|----------------------------|----------------------------------|
| <b>Movilizar a personas discapacitadas</b> | ALUMINIO          | <b>ACERO<br/>ASTM A-36</b> | ACERO<br>INOXIDABLE<br>ASTM A-32 |

En este módulo el resultado general es el Acero ASTM A-36 mostrado en la tabla 14, en la cual se denota uno de los puntos sobresalientes que es la seguridad, la cual es mayor en comparación al aluminio

### 3.3. DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE LA POTENCIA

En este proceso se deben tomar en cuenta varios factores, para tener como resultado un motor que cumpla con todos los requerimientos del prototipo, y su funcionamiento sea óptimo.

#### 3.3.1. VELOCIDAD A LA QUE DEBE DESPLAZARSE LA MONOCICLETA.

La velocidad mínima del prototipo de acuerdo a lo especificado en el libro de vehículos eléctricos se detalla en la tabla 15, tomando en cuenta además que el requerimiento de velocidad es necesario para la movilización de una persona con capacidades reducidas.

**Tabla 15**

Velocidad de la monocicleta

| MOVIMIENTO     | VELOCIDAD EN KM/H |
|----------------|-------------------|
| HACIA ADELANTE | 20                |

Fuente: (Larminie J. , 2003)

#### 3.3.2. PESO QUE DEBE ARRASTRAR LA MONOCICLETA

La tabla 16 muestra datos reales para realizar los cálculos fuerzas.

**Tabla 16**

Peso aproximado de los componentes

| COMPONENTE      | PESO EN KG |
|-----------------|------------|
| KIT ELÉCTRICO   | 7          |
| CHASIS          | 3          |
| BATERÍAS        | 4          |
| SILLA DE RUEDAS | 20         |
| PASAJERO        | 90         |
| TOTAL           | 124        |

### 3.3.3. FUERZAS QUE DEBE VENCER LA MONOCICLETA PARA SU CIRCULACIÓN

- Fuerza de fricción entre la superficie y los neumáticos (***Frr***).
- Fuerza de fricción con el viento (***Fad***).
- Componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente (***Fhc***).
- Fuerza de tracción (***Fte***).
- Torque necesario (***Tn***).
- Potencia necesaria (***Pn***).

## 3.4. CÁLCULOS DE FUERZAS

### 3.4.1. FUERZA DE FRICCIÓN ENTRE LA SUPERFICIE Y LOS NEUMÁTICOS (***Frr***).

Para los cálculos de la (***Frr***) utilizamos la ecuación

$$Frr = Urr * m * g * \cos(\psi) \quad \text{Ec. 3. 1}$$

Donde:

$Urr = 0.020$ ; Coeficiente de rozamiento dinámico entre caucho y asfalto (Kindler, 1986).

$m = 124 \text{ Kg}$ ; Masa del vehículo eléctrico. [Kg]

$\psi = 8^\circ$ ; Ángulo de la pendiente en grados. [°]

$$Frr = 0.020 * 124 \text{Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \cos(8^\circ)$$

$$Frr = 24.092 [N]$$

### 3.4.2. FUERZA DE FRICCIÓN CON EL VIENTO ( $F_{ad}$ ).

Para calcular la fricción con el viento primero se calcula la sección transversal de la silla de ruedas (geometría tomada de catálogo Mundo del Abuelo), tomando en cuenta la geometría de esta de esta manera los cálculos son reales.

$$A = Ancho * Alto$$

$$A = 0.914m * 0.635m$$

$$A = 0.5804 m^2$$

Para los cálculos de ( $F_{ad}$ ) utilizamos la ecuación

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d * V^2 \quad \text{Ec. 3. 2}$$

Donde:

$\rho = 0.833[\text{Kg}/\text{m}^3]$  a 2750msnm; Densidad del aire.  $[\text{Kg}/\text{m}^3]$

$A =$  Sección transversal del monociclo en  $[\text{m}^2]$

$C_d = 0.3$ ; Coeficiente aerodinámico 0.3 a 0.8 en vehículos de turismo

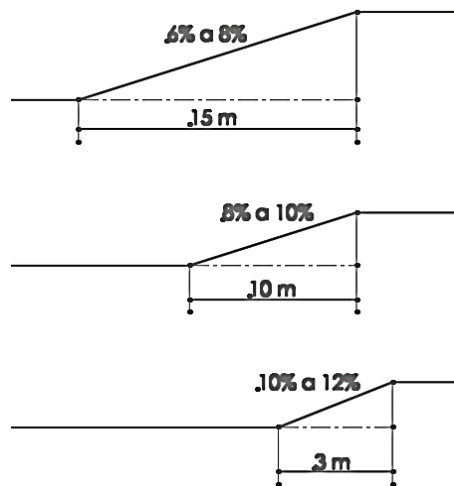
$V = 15 [\text{Km}/\text{h}] = 4.167 [\text{m}/\text{s}]$ ; Producto de la velocidad del triciclo m/s (la fuerza de fricción con el viento es directamente proporcional a la velocidad del vehículo, más velocidad mayor fuerza).  $[\text{m}/\text{s}]$

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * 0.833[\text{Kg}/\text{m}^3] * 0.5804 m^2 * 0.3$$

$$F_{ad} = 1.2592 [\text{N}]$$

### 3.4.3. COMPONENTE DEL PESO DEL VEHÍCULO A LO LARGO DE LA PENDIENTE ( $F_{hc}$ ).

El peso aplicado para este cálculo, es el peso total de la estructura del monociclo, incluyendo el pasajero y las baterías, tal como se muestra a continuación, además debemos considerar en ángulo de la pendiente, como se observa en la figura 22 utilizaremos el 8%.



**Figura 22:** Porcentajes de Pendientes para rampas

**Fuente:** Norma NTE INEN 2245

$$F_{hc} = m * g * \text{sen}(\psi)$$

**Ec. 3. 3**

Donde:

$m$  = Masa del vehículo eléctrico. [Kg]

$g$  = Gravedad. [ $m/s^2$ ]

$\psi$  = Ángulo de la pendiente en grados. [ $^\circ$ ]

$$F_{hc} = 124Kg * 9,81 \frac{m}{s^2} * \text{sen}(8^\circ)$$

$$F_{hc} = 169.295[N]$$

#### 3.4.4. FUERZA DE TRACCIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO ( $F_{te}$ ).

El peso aplicado para este cálculo, es el peso total, incluyendo el pasajero y las baterías, tal como se muestra a en la tabla 16, de esta manera se efectúan cálculos para solventar todas las necesidades de la persona con discapacidad



$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{ia} + F_{wa} \quad \text{Ec. 3. 4}$$

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{ia}$$

$$F_{ia} = m \cdot a$$

$$F_{te} - F_{rr} - F_{ad} - F_{hc} = m \cdot a$$

$$F_{te} = m \cdot a + F_{rr} + F_{ad} + F_{hc}$$

Donde:

$F_{te}$ = Fuerza de tracción que es la que impulsa al vehículo eléctrico. [N]

$F_{rr}$ = Fuerza de fricción entre la superficie a rodar y los neumáticos. [N]

$F_{ad}$ = Fuerza de fricción con el viento. [N]

$F_{hc}$ = Componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente. [N]

$$F_{te} = (124Kg) \cdot (0.04 \frac{m}{s^2}) + 24.092[N] + 1.2592 [N] + 169.295[N]$$

$$F_{te} = 199.606[N]$$

### 3.4.5. TORQUE NECESARIO ( $T_n$ ).

Para calcular el torque necesario, depende del radio de la rueda que se implementará y de la fuerza de empuje: (Becerril Sandoval, 2014)

$$T_n = R \cdot F \quad \text{Ec. 3. 5}$$

Donde:

$T_n$ =Torque necesario. [Nm]

$R$  =10 pulgadas = 0,127 m; Radio del neumático. [m]

$F$  = Fuerza de empuje. [N]

$R$  = Radio del neumático utilizado

$$T_n = 0.127m * 199.606N$$

$$T_n = 25.3499 [Nm]$$

### 3.4.6. VELOCIDAD ANGULAR ( $\omega$ )

Para calcular la velocidad angular a velocidad máxima, se utiliza la siguiente expresión tomada de la obra de Becerril Sandoval llamada Diseño de etapa de potencia y control para un motor brushless de CD con frenado regenerativo aplicado a una moto deportiva eléctrica.

$$\omega = \frac{V_{ma}}{R} \quad \text{Ec. 3. 6}$$

Donde:

$\omega$  = Velocidad angular [rad/seg]

$V_{max}$  = Velocidad máxima del motor eléctrico 15 Km/h = 4.167 m/s

$R$  = Radio del neumático. [m]

$$\omega = \frac{4.167 \text{ m/s}}{0.127 \text{ m}}$$

$$\omega = 32.8110 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$\omega_{rpm} = \frac{\omega(60)}{2\pi}$$

$$\omega_{rpm} = \frac{32.8110 \text{ rad/seg}(60)}{2\pi}$$

$$\omega_{rpm} = 313.48 \text{ rpm}$$

### 3.4.7. POTENCIA CALCULADA ( $P_{calculada}$ ).

Es el producto de la fuerza de tracción por la velocidad máxima que llevará. (La velocidad máxima en pendiente 15 km/h = 4.167 m/s) para este cálculo utilizaremos la siguiente ecuación.

$$P_{calculada} = F_{te} \cdot v_{max} \quad \text{Ec. 3. 7}$$

$$P_{calculada} = 199.606 [N] * 4.167 \text{ m/s}$$

$$P_{calculada} = 831.758 \text{ W}$$

### 3.4.8. POTENCIA MOTOR ( $P_{Motor}$ ).

$$P_{Motor} = \frac{P_{calculada}}{eficiencia} \quad \text{Ec. 3. 8}$$

Suponiendo una pérdida en la eficiencia del motor del 20%

$$P_{Motor} = \frac{831.758 \text{ W}}{0.8}$$

$$P_{Motor} = 996.6977 \text{ [W]}$$

### 3.5. SELECCIÓN DEL MOTOR

**Tabla 17**

Selección del motor

| Tipo de motor         | Voltaje (v) | Potencia (w) | Eficiencia (%) | Velocidad (km/h) | Radiado en llanta (in) |
|-----------------------|-------------|--------------|----------------|------------------|------------------------|
| Brushless MOD-2201224 | 48          | 1000         | 83             | 20               | 20                     |
| Brushless MOD-2201231 | 24          | 800          | 80             | 20               | 12                     |
| Brushless MOD-2201243 | 36          | 350          | 80             | 20               | 16                     |
| Brushless MOD-2201222 | 24          | 100          | 80             | 7                | 24                     |

Fuente: (Ciclotekstore, 2014)

De acuerdo a la tabla 17 se selecciona el motor Brushless MOD-2201224 porque cumple con las características que se busca en el cálculo de potencia y puede llegar a desempeñar la potencia calculada, para ampliar las razones por la que se seleccionó el motor, a continuación, se detalla las especificaciones del mismo.

#### 3.5.1. SELECCIÓN DEL MOTOR

En la tabla 18 se detalla las descripciones del motor seleccionado.



**Figura 23** Motor trasero NT radiado en 20 para piñones Mod-2201224

**Fuente:** (Ciclotekstore, 2014)

**Tabla 18**

Motor seleccionado

| PARÁMETROS             | ESPECIFICACIONES |
|------------------------|------------------|
| TIPO DE MOTOR          | MOTOR BRUSHLESS  |
| VOLTAJE (V)            | 48               |
| POTENCIA (W)           | 1000             |
| CORRIENTE MAX (A)      | 12               |
| EFICIENCIA (%)         | 80               |
| VELOCIDAD (Km/h)       | 20               |
| TORQUE                 | 40               |
| RADIADO EN LLANTA (IN) | 26               |
| TIPO DE FRENO          | DISCO            |
| PESO (Kg)              | 5.47             |
| AUTONOMÍA (Km)         | 60               |

**Fuente:** (Ciclotekstore, 2014)

Este motor se seleccionó debido a que presenta una potencia de 1000W y es cercana a la potencia calculada para el motor de nuestra monocicleta que es de 996.6977 [W], tomando en cuenta el sobre dimensionamiento de cada parte de la monocicleta se estima a consideración de los diseñadores que la potencia de 1000 W del motor es suficiente, sin olvidar que este motor requiere una batería de 48 V.

### **3.6. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA BATERÍA**

En base a la ficha técnica del motor seleccionado mostrada en la tabla 18 se requiere una batería de 48 V y una corriente máxima de 12 A, para ello se realiza una búsqueda profunda en catálogos de diversas compañías, páginas de internet de compra, venta y reparación de motores y baterías eléctricas, tomando en cuenta los parámetros señalados para la elección, como la tensión, corriente eléctrica y sin olvidar el peso que se describe en la tabla 17.

#### **3.6.1. PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE BATERÍAS**




##### **a) TENSIÓN Y CORRIENTE ELÉCTRICA**

El punto primordial a tomar en cuenta es el consumo que ejercerá el motor y los accesorios que en total son de 1000W. Comúnmente en el mercado nacional existen baterías con una tensión de 12V y una corriente de 60-80 Ah, para conseguir los 48V y los 12A necesarios para el funcionamiento del motor a utilizarse se deberá adquirir una batería de Ion Litio.

##### **b) PESO Y GEOMETRÍA**

El éxito en los prototipos de vehículos eléctricos es la reducción del peso, mientras más liviano sea, será mucho más viable. Por tal razón para la selección de la batería, se utilizará una batería de Ion Litio la misma que influirá en el desempeño de la monocicleta. Así mismo al ser un vehículo pequeño, se deberá seleccionar una batería de cortas dimensiones, así se optimizará el espacio dispuesto para la misma.

**Tabla 19**  
Comparaciones de diferentes baterías

| CARACTERÍSTICAS    | LIFEPO4  | PL ENERGY   | SAMSUNG 29 E  |
|--------------------|--|---|---|
| <b>Tipo</b>        | LiMn2O4  | Li-Ion  | Ion – Litio   |
| <b>Voltaje</b>     | 48 V   | 48 V  | 48 V  |
| <b>Amperaje</b>    | 10   | 10 Ah   | 12 Ah   |
| <b>Peso</b>        | 6 Kg   | 5.5 Kg  | 3.10 Kg   |
| <b>Dimensiones</b> | 365*138*90<br>mm   | 197*165*169<br>mm   | 310X150X100<br>mm   |
| <b>Precio</b>      | 520 \$   | 560 \$  | 500 \$  |
| <b>Imagen</b>      |  |  |  |

### 3.6.2. SELECCIÓN DE LA BATERÍA

La batería seccionada es la Samsung 29E como se muestra en la figura 24, considerando el amperaje, las dimensiones y el peso mostrada en la tabla 20. Se considera que es la más idónea en vista que se relaciona con las especificaciones del motor.



**Figura 24** Batería Samsung 29E Ion de litio.

**Tabla 20**

Descripción de la batería seleccionada.

| <b>1. Características Básicas</b> |   |  |
|-----------------------------------|---|--|
| <b>Peso</b>                       |   | ≤ 3.10 kg                                      |
| <b>Dimensión (L * W * H)</b>      |   | 310*150*100mm                                  |
| <b>Temperatura de trabajo</b>     | Temperatura de la carga                     | 0 ~ 45 ° C                                     |
|                                   | Temperatura de descarga                     | -20 ~ 65 ° C                                   |
| <b>2. Datos técnicos</b>          |   |  |
| <b>Tensión nominal</b>            |   | 48 V   |
| <b>Capacidad nominal de C1</b>    |   | 12 Ah  |
| <b>Resistencia de la batería</b>  |   | ≤100mΩ   |
| <b>Carga</b>                      | Manera de carga                             | CC/CV (Corriente Constante, Tensión Constante) |
|                                   | Corriente de Carga estándar                 | 2A   |
|                                   | Corriente de Carga máxima                   | 5A   |
|                                   | Max Voltaje De Carga                        | 54.6 V   |
|                                   | Protección de Sobrecarga de Tensión celular | 4.2 V/Celular                                  |
| <b>Descarga</b>                   | Corriente de descarga estándar              | 10A se puede personalizar                      |
|                                   | Max. Corriente de Descarga                  | 20A puede ser personalizado                    |
|                                   | Descarga de Tensión de Corte                | 39 V   |
|                                   | Celular Protección Sobre descarga Voltaje   | 3.0 V/celular                                  |
| <b>Relación de Descarga</b>       | 1C  | > 96% C1                                       |
|                                   | 2C  | > 93% C1                                       |
|                                   | 3C  | > 90% C1                                       |
| <b>Ciclo de Vida</b>              |   | ≥ 600 Ciclos                                   |

### 3.7. AUTONOMÍA TEÓRICA DE LA BATERÍA

Con los datos obtenidos de consumo eléctrico del motor (Tabla 18) y la carga de la batería (Tabla 20) se puede proceder a realizar el cálculo de la autonomía de duración de la batería siguiendo la siguiente fórmula basada en (Sandoval B. , 2014)

$$t_o = \frac{Q}{I_B}$$

**Ec. 3. 9**

Donde:

$t_o$  = Tiempo de operación a corriente continua (h)

Q = Carga de la batería (Ah)

$I_B$  = Corriente suministrada por la batería (A)

$$t_o = \frac{12 \text{ Ah}}{10 \text{ A}}$$

$$t_o = 1,2 \text{ horas}$$

Se determina que el monociclo será capaz de alcanzar una autonomía de 1,2 h a una velocidad estipulada de 25 km/h, en superficie plana, con un consumo promedio de 10 A y su batería a carga máxima.

El monociclo en pendientes con un consumo promedio de 12 A, una velocidad promedio de 15 Km/h y sabiendo de antemano que la capacidad de la batería seleccionada es 12 Ah, la autonomía queda determinada por la siguiente ecuación.

$$\text{Autonomía} = \frac{12 \text{ Ah} \times 25 \frac{\text{Km}}{\text{h}}}{12 \text{ A}}$$

**Ec. 3. 10**

$$\text{Autonomía} = 25 \text{ Km} \quad \text{En plano}$$

$$\text{Autonomía} = \frac{12 \text{ Ah} \times 15 \frac{\text{Km}}{\text{h}}}{12 \text{ A}}$$

$$\text{Autonomía} = 15 \text{ Km} \quad \text{En Pendientes}$$

### 3.8. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE LA MONOCICLETA

El diseño mecánico de la monocicleta, corresponde a la creación de nuevas piezas cuyo material es Acero ASTM36; los componentes necesarios para la implementación ya se han determinado a consideración de los diseñadores, y en virtud de ello se va a diseñar las piezas en el programa de diseño CAD y su análisis en un programa CAE.



### 3.8.1. CARGA MUERTA

El software utilizado en modelación mecánica, calcula automáticamente el peso de la estructura, se debe considerar que no se cuenta aún con las especificaciones y ubicación exacta, es decir el peso total y otros accesorios de la monocicleta se irán desarrollando conforme avance el prototipo, por este motivo se debe determinar un factor de carga muerta, como se detalla a continuación:

**Tabla 21**

Masa de cargas muertas

| Elementos          | Masa (Kg) |
|--------------------|-----------|
| Motor              | 5.47      |
| Batería            | 3.36      |
| Estructura         | 3         |
| Silla              | 20        |
| Total ( $m_{cm}$ ) | 31.83     |

### 3.8.2. CARGA MUERTA

$$F_{cm} = m_{cm} * g \quad \text{Ec. 3. 11}$$

$$F_{cm} = 31.83(Kg) * 9.81\left(\frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_{cm} = 414.535 [N]$$

### 3.8.3. CARGA MUERTA BAJO UN FACTOR CRÍTICO

$$F_{cm(10\%)} = F_{cm} + (0.1 * F_{cm}) \quad \text{Ec. 3. 12}$$

$$F_{cm(10\%)} = 414.535 N + (0.1 * 414.535N)$$

$$F_{cm(10\%)} = 455.988 [N]$$

### 3.8.4. CARGA VIVA

La carga viva es aquella que puede cambiar de posición y magnitud. Por esta razón se considera carga viva al peso de la persona parapléjica quien maneja el vehículo, de esta manera se estima un valor promedio como se detallan en la tabla 22.

**Tabla 22**  
Carga viva.

| Elementos                          | Masa (Kg) |
|------------------------------------|-----------|
| <b>Persona con discapacidad</b>    | 90        |
| <b>Total (<math>m_{cv}</math>)</b> | <b>90</b> |

### 3.8.5. CARGA VIVA

$$F_{cv} = m_{cv} * g \quad \text{Ec. 3. 13}$$

$$F_{cv} = 90(Kg) * 9.81\left(\frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_{cv} = 882.9 [N]$$

### 3.8.6. CARGA VIVA BAJO UN FACTOR CRÍTICO

$$F_{cv(10\%)} = F_{cv} + (0.1 * F_{cv}) \quad \text{Ec. 3. 14}$$

$$F_{cv(10\%)} = 882.9 N + (0.1 * 882.9 N)$$

$$F_{cv(10\%)} = 971.19 [N]$$

### 3.8.7. CARGA TOTAL

$$\sum F_T = F_{cm(10\%)} + F_{cv(10\%)} \quad \text{Ec. 3. 15}$$

$$\sum F_T = 971.19 N + 455.98 N$$

$$\sum F_T = 1427.178 [N]$$

### 3.8.8. DISTRIBUCIÓN DE EJES

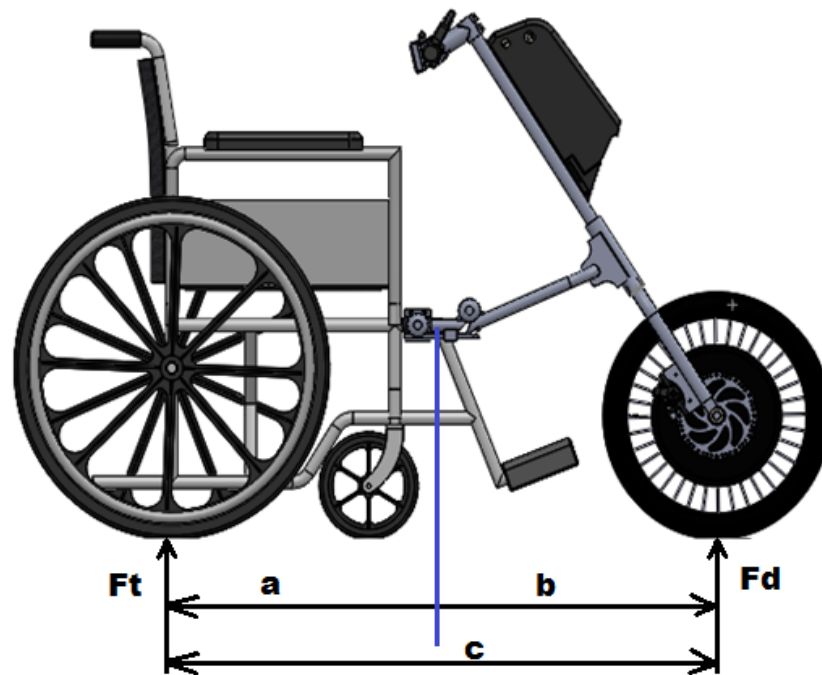


Figura 25 Distribución de fuerzas respecto al centro de gravedad.

$$c = a + b \quad \text{Ec. 3. 16}$$

$$c = 663.66 \text{ mm} + 461.85 \text{ mm}$$

$$c = 1125.51 \text{ mm}$$

$$c = 1.125 \text{ m}$$

### 3.8.9. FUERZA SOBRE EL EJE DELANTERO

$$F_d = F_T * \frac{a}{c} \quad \text{Ec. 3. 17}$$

$$F_d = 1427.178 \text{ [N]} * \frac{663.66}{1125.51}$$

$$F_d = 841.539 \text{ [N]}$$

### 3.8.10. FUERZA SOBRE EL EJE DELANTERO BAJO UN FACTOR CRÍTICO

$$F_{d(10\%)} = F_d + (0.1 * F_d) \quad \text{Ec. 3. 18}$$

$$F_{d(10\%)} = 841.539 \text{ [N]} + (0.1 * 841.539 \text{ [N]})$$

$$F_{d(10\%)} = 925.2969 \text{ [N]}$$

### 3.8.11. FUERZA SOBRE EL EJE TRASERO.

$$F_t = F_T * \frac{a}{c} \quad \text{Ec. 3. 19}$$

$$F_t = 1427.178 [N] * \frac{461.85}{1125.51}$$

$$F_t = 585.63 [N]$$

### 3.8.12. FUERZA SOBRE EL EJE TRASERO BAJO UN FACTOR CRÍTICO

$$F_{t(10\%)} = F_t + (0.1 * F_t) \quad \text{Ec. 3. 20}$$

$$F_{t(10\%)} = 585.63 [N] + (0.1 * 585.63 [N])$$

$$F_{t(10\%)} = 644.193 [N]$$

### 3.8.13. MASA TOTAL

$$m_t = m_{cm} + m_{cv} \quad \text{Ec. 3. 21}$$

$$m_t = 41.83 Kg + 90 Kg$$

$$m_t = 121.83 Kg$$

### 3.8.14. DETERMINACIÓN DE MASAS CON RESPECTO AL CENTRO DE GRAVEDAD

En este apartado se determina y se analiza cómo se está distribuyendo las masas en todo el vehículo tomando como referencia la distancia hacia el centro de masas y la masa total del vehículo

**Tabla 23**

Distribución de fuerzas respecto al centro de masa

| <b>Distribución de fuerzas respecto al centro de masa</b> |            |                |
|---|------------|----------------|
|   | Fuerza [N] | Porcentaje (%) |
| <b>Eje delantero</b>                                      | 925.2969   | 58.95          |
| <b>Eje posterior</b>                                      | 644.193    | 41.05          |

**3.8.15. MASA TOTAL EN EJE DELANTERO**

$$m_{td} = m_t * \frac{a}{c} \quad \text{Ec. 3. 22}$$

$$m_{td} = 121.83 \text{ Kg} * \frac{663.66}{1125.51}$$

$$m_{td} = 71.84 \text{ Kg}$$

**3.8.16. MASA TOTAL EN EJE TRASERO**

$$m_{tp} = m_t * \frac{a}{c} \quad \text{Ec. 3. 23}$$

$$m_{tp} = 121.83 \text{ Kg} * \frac{461.85}{1125.51}$$

$$m_{tp} = 49.99 \text{ Kg}$$

**3.8.17. TRANSFERENCIA DE CARGA EN ACELERACIÓN BRUSCA.**

En el momento de acelerar se transfiere el peso hacia el eje posterior, el delantero se descarga y hay menor tracción, cuando más alto esté el centro de masas mayor transferencia de pesos se producirá en las ruedas delanteras por lo que disminuirá la fuerza de frenada total y la variabilidad de esta transferencia será muy importante.

**3.9. VELOCIDAD TEÓRICA ALCANZADA**

La monocicleta tiene un motor eléctrico con una potencia de 1000 Watts y su ficha técnica (tabla 18) con una velocidad máxima de 20 Km/h

$$v = 20 \frac{\text{Km}}{\text{h}} * \frac{1\text{h}}{3600 \text{ s}} * \frac{1000\text{m}}{1\text{Km}} \quad \text{Ec. 3. 24}$$

$$v = 4.34 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 3.9.1. ACELERACIÓN MÁXIMA TEÓRICA

Para la aceleración máxima se toma en cuenta los pesos de la tabla 16 sin consideración del peso del pasajero, por ende se aumenta a la siguiente decena para redondear cifras y se obtiene 40 Kg. La potencia será transformada al sistema técnico de unidades con un factor de transformación de 9,8062 W que representa 1 Kgm/s, obteniéndose así una potencia de 101,976 Kgm/s. Partiendo de la formula básica se obtendrá la aceleración máxima teórica

$$P = F \times v \quad \text{Ec. 3. 25}$$

$$P = m \times a \times v$$

P = Potencia

m = masa Tabla 16

a = Aceleración máxima teórica

v = Velocidad Teórica

$$a = \frac{\text{Potencia}}{m \times v} \quad \text{Ec. 3. 26}$$

$$a = \frac{101,976 \frac{\text{Kgm}}{\text{s}}}{40\text{Kg} \times 4,34 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$a = 0,58 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

### 3.9.2. TRANSFERENCIA DE CARGA EN ACELERACIÓN BRUSCA

William Milleken en su obra Race Car Vehicle Dynamics en la página 367 se establece la transferencia de carga durante una aceleración brusca de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$W_a = \frac{a \cdot m_t \cdot h_{cg}}{c} \quad \text{Ec. 3. 27}$$

$W_a$  = transferencia de carga

$h_{cg}$  = altura del centro de gravedad

$c$  = distancia entre ejes

$$W_a = \frac{0.58 \frac{m}{s^2} * 121.83Kg * 0.42486m}{1.125m}$$

$$W_a = 23.925 [N]$$

### 3.9.3. TRANSFERENCIA DE CARGA EN ACELERACIÓN BRUSCA BAJO UN FACTOR CRÍTICO

$$W_{a(10\%)} = W_a + (0.1 * W_a) \quad \text{Ec. 3. 28}$$

$$W_{a(10\%)} = 23.925 [N] + (0.1 * 23.925[N])$$

$$W_{a(10\%)} = 26.3175 [N]$$

### 3.9.4. CARGA EN EL EJE DELANTERO EN ACELERACIÓN BRUSCA

$$m_{ac}^d = (m_{td} * \gamma_P) + \left( \frac{W_{a(10\%)}}{g} * \gamma_v \right) \quad \text{Ec. 3. 29}$$

$m_{ac}^d$  = Carga en el eje delantero en aceleracion brusca

$m_{td}$  = masa total en eje delantero

$W_{a(10\%)}$  = carga en aceleración brusca bajo un factor critico

$\gamma_P$  = Factor de carga permanente (1.33)

$\gamma_v$  = Factor de carga variable (1.50)

$$m_{ac}^d = (71.84 Kg * 1.33) + \left( \frac{26.3175 [N]}{9.8 \frac{m}{s^2}} * 1.50 \right)$$

$$m_{ac}^d = 99.57 Kg$$

### 3.9.5. TRANSFERENCIA DE CARGA EN FRENADA BRUSCA

En el momento que se acciona el freno manualmente la energía mecánica se convierte en energía calorífica y se disipa en el ambiente, esta acción ocasiona que el eje delantero se compriman y el trasero extiendan, provocando principalmente una transferencia de cargas al eje delantero. Para obtener los datos necesarios para continuar con los cálculos se cronometró el tiempo que toma el motor para frenar de su velocidad máxima a 0 Km/h, de lo cual se obtuvo 4 segundos.

$$v_o = 20 \frac{Km}{h} = 4.34 \frac{m}{s}$$

$$v_f = v_o + a_f * t$$

$$a_f = \frac{v_f - v_o}{t}$$

**Ec. 3. 30**

$$a_f = - \frac{4.34 \frac{m}{s}}{4 s}$$

$$a_f = -1.04 \frac{m}{s^2}$$

William Milleken en su obra Race Car Vehicle Dynamics muestra que para calcular la transferencia de carga de frenado se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$W_f = \frac{a_f * m_t * h_{cg}}{c}$$

**Ec. 3. 31**

$w_f$  = *trasnferencia de carga de frenado*

$a_f$  = *aceleracion final*

$m_T$  = *masa total*

$h_{cg}$  = *altura del centro de gravedad*

$c$  = *distancia entre ejes*



$$W_f = \frac{1.04 \frac{m}{s^2} * 121.83 \text{ Kg} * 0.421 \text{ m}}{1.125 \text{ m}}$$

$$W_f = 47.415 \text{ [N]}$$

### 3.9.6. TRASFERENCIA DE CARGA EN FRENADA BRUSCA BAJO UN FACTOR CRÍTICO.

$$W_{f(10\%)} = W_f + 0.1 * W_f \quad \text{Ec. 3. 32}$$

$$W_{f(10\%)} = 47.415 \text{ [N]} + (0.1 * 47.415 \text{ [N]})$$

$$W_{f(10\%)} = 52.156 \text{ [N]}$$

### 3.9.7. CARGA EN EL EJE DELANTERO EN FRENADA BRUSCA.

$$m_f^d = (m_{td} * \gamma_P) + \left( \frac{W_{f(10\%)}}{g} * \gamma_v \right) \quad \text{Ec. 3. 33}$$

$m_f^d$  = Carga en el eje delantero en frenada brusca

$m_{td}$  = masa total en eje delantero

$W_{f(10\%)}$  = carga en aceleración brusca bajo un factor critico

$\gamma_P$  = Factor de carga permanente (1.33)

$\gamma_v$  = Factor de carga variable (1.50)

$$m_{ac}^d = (71.84 \text{ Kg} * 1.33) + \left( \frac{52.156 \text{ [N]}}{9.8 \frac{m}{s^2}} * 1.50 \right)$$

$$m_f^d = 103.53 \text{ Kg}$$

El resultado de la carga durante frenada brusca en el eje delantero con respecto al centro de masas y considerando la masa total delantera multiplicando por una factor de carga permanente y carga variable que asegurará la fiabilidad por concepto de falla mecánica de los diferentes componentes del vehículo.

### 3.9.8. TRANSFERENCIA DE CARGA DURANTE LA CURVA

Cuando el vehículo entra a una curva se produce fuerzas que generan transferencia de carga en el caso de nuestro monociclo, se dará en el neumático delantero.

### 3.10. ACELERACIÓN NORMAL

Según la Norma ecuatoriana para estudios viales NEVI-12 MTOP volumen 2ª, se indica que los radios mínimos son los valores límites de la curvatura para la velocidad de diseño de las calzadas en zonas rurales y urbanas, que se relacionan con la sobreelevación y la fricción, la cual se detalla en la tabla 24. (Ministerio de Obras Publicas, 2013)

**Tabla 24**

Radios mínimos de curvas

| Velocidad de diseño (Km/h) | Radio     |             |
|----------------------------|-----------|-------------|
|                            | Calculado | Recomendado |
| 30                         | 33,7      | 35          |
| 40                         | 60        | 60          |
| 50                         | 98,4      | 100         |
| 60                         | 149,2     | 150         |
| 70                         | 214,3     | 215         |

**Fuente:** (Ministerio de Obras Publicas, 2013)

Se tomará 35 m para la realización del cálculo debido a que es el más cerrado de todos, después se representara en la tabla 25 los valores de todos los radios de curvatura y se reflejara en la ilustración 2

$$A_n = \frac{v^2}{r}$$

**Ec. 3. 34**

$A_n$  = aceleracion normal

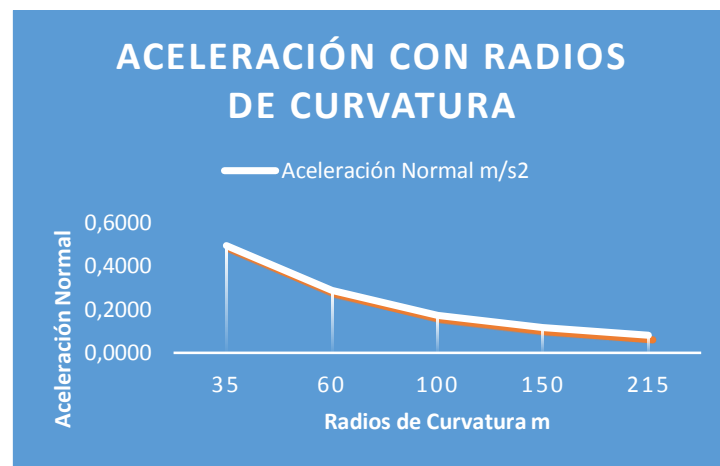
$v$  = velocidad

$r$  = radio de curvatura

$$A_n = \frac{v^2}{r} = \frac{\left(\frac{4.16m}{s}\right)^2}{35 m} = 0.494 \frac{m}{s^2}$$

**Tabla 25**  
Aceleraciones con radios de curvatura

| Radios de Curvaturas m | Aceleración Normal m/s <sup>2</sup> |
|------------------------|-------------------------------------|
| 35                     | 0,4944                              |
| 60                     | 0,2884                              |
| 100                    | 0,1731                              |
| 150                    | 0,1154                              |
| 215                    | 0,0805                              |



**Ilustración 2** Aceleración Normal vs Radios de Curvatura

William Milleken en su obra Race Car Vehicle Dynamics se determina la transferencia de carga durante la curva como:

$$W_c = \frac{A_n * m_t * h_{cg}}{A_v} \quad \text{Ec. 3. 35}$$

$W_c$  = transferencia de carga en curva

$m_t$  = masa total

$h_{cg}$  = altura del centro de gravedad

$A_v$  = Ancho de la vía

$$W_c = \frac{0.494 \frac{m}{s^2} * 121.83 Kg * 0.421 m}{0.616 m}$$

$$W_c = 35.937 [N]$$

### 3.10.1. TRANSFERENCIA DE CARGA DURANTE LA CURVA CON FACTOR CRÍTICO

$$W_{c(10\%)} = W_c + 0.1 * W_c \quad \text{Ec. 3. 36}$$

$$W_{c(10\%)} = 35.937 [N] * (0.1 * 35.937 [N])$$

$$W_{c(10\%)} = 39.527 [N]$$

### 3.10.2. VELOCIDAD DE LÍMITE DE VUELCO.

Al registrar un centro de masas dinámico en el monociclo que permite la inclinación de en curvas se considera la siguiente fórmula para verificar el límite de vuelco conociendo la inclinación del vehículo con respecto a su eje vertical. William Milleken en su obra Race Car Vehicle Dynamics se considera la siguiente fórmula para el cálculo de la velocidad límite de vuelco.

$$V_v = \sqrt{g * r * \frac{A_v}{2 * h_{cg}}} \quad \text{Ec. 3. 37}$$

$V_v$  = Velocidad de vuelco

$g$  = gravedad

$r$  = Radio de curvatura

$A_v$  = Ancho de la via

$h_{cg}$  = altura del centro de gravedad

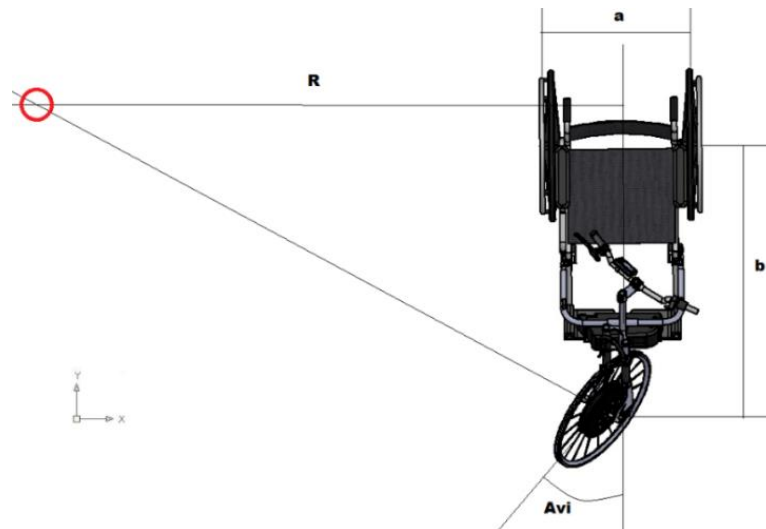
$$V_v = \sqrt{9.8 \frac{m}{s^2} * 35m * \frac{0.616m}{2 * 0.421m}}$$

$$V_v = 15,84 \frac{m}{s}$$

$$V_v = 57,02 \frac{Km}{h}$$

### 3.11. ÁNGULO DE LA DIRECCIÓN

Con el principio de Ackermann positivo se consigue una geometría óptima para la dirección. Para perseguir este principio se hace que el ángulo de giro de la rueda interior sea mayor que la exterior. Asumiendo en cuenta que el radio de giro minúsculo en los vehículos suele ser alrededor del doble de la distancia entre ejes:  $R = 2 b$ .



**Figura 26** Ángulo de giro

$$\operatorname{tg}(A_{vi}) = \frac{2b}{4b-a}$$

**Ec. 3. 38**

$A_{vi}$  = Angulo de viraje

$a$  = ancho de vía

$b$  = distancia entre ejes

$$\operatorname{tg}(A_{vi}) = \frac{2 * 1.125}{(4 * 1.125) - 0.616}$$

$$A_{vi} = 30.08^\circ$$

## CAPÍTULO IV

### 4. MODELACIÓN, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS

#### 4.1. INTRODUCCIÓN

Se utilizará herramientas computacionales CAD y CAE, en donde se puede diseñar y simular condiciones reales de funcionamiento, y así mejorar los puntos críticos de estos, asegurando la efectividad en su funcionamiento, sin necesidad de previamente comprar o fabricar el elemento para probarlo experimentalmente, este proceso ayuda a ahorrar tiempo y recursos.

La modelización en 3D de cada uno de los componentes del sistema de suspensión y dirección es fundamental en el proceso de diseño y desarrollo de los sistemas, por la posibilidad de realizar un ensamblaje total a través de la unión de todos sus componentes.

De esta forma se obtiene una visión clara de sus dimensiones, características y la distribución de los elementos en su espacio generado por las condiciones geométricas del vehículo.



**Figura 27** Idea principal para la realización del diseño

## **4.2. HERRAMIENTA COMPUTACIONAL CAD**

Un programa computacional CAD se basa en metodologías de modelado paramétrico. Los beneficiarios comienzan diseñando piezas que se pueden ajustar en ensamblajes, con la disposición de corrección en el intervalo que el diseñador crea conveniente.

## **4.3. HERRAMIENTA COMPUTACIONAL CAE**

Un programa computacional CAE ayuda a realizar cálculos estáticos y dinámicos que involucra cierta complejidad, de tal forma que se consigue obtener resultados mucho más precisos optimizando tiempo y recursos.

## **4.4. TEORÍAS ESTÁTICAS**

### **4.4.1. ESFUERZOS COMBINADOS**

Los esfuerzos combinados constituyen la suma o la combinación del esfuerzo de una carga axial, una carga por flexión o una carga por torsión. El método de los esfuerzos combinados es manejado para localizar el punto donde la estructura lograría fallar, y también dimensionar y escoger el material adecuado para el elemento.

### **4.4.2. SELECCIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS**

Este análisis determina los esfuerzos máximos que se pueden producir en cualquier parte de la estructura, de este modo se escoge los puntos críticos en secciones transversales donde la resultante de esfuerzos alcance los valores máximos. Ya en dichas secciones se optarán los puntos en que los esfuerzos cortantes posean sus valores máximos. Si la selección de los puntos se hace con buen juicio se puede estar razonablemente seguros de obtener los esfuerzos máximos en la estructura.

#### 4.4.3. REACCIONES

Con las cargas obtenidas en los cálculos anteriores, se procede a la distribución de las fuerzas en cada elemento que conforma la monocicleta. Para estos análisis están basados en el Libro de Robert Norton en su obra Diseño de Máquinas, en el cual se explica a detalle la realización de este tipo de estudio. La fuerza  $F_t$ , fuerza de frenado, es la mitad debido a que se divide para los dos acoples y la fuerza  $F_d$ , carga en el eje delantero, es la mitad debido a que se divide para los dos acoples.

Datos:

$F_t = W_f$  =Trasnferencia de carga de frenado

$F_a = W_a$  =Transferencia de carga

$F_d$  = Fuerza sobre el eje delantero

$$F_t = W_f = 52,156 \text{ [N]}$$

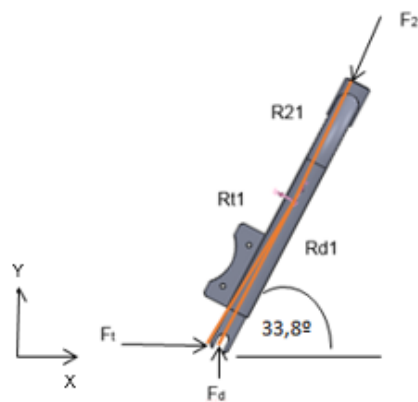
$$F_a = W_a = 26.315 \text{ [N]}$$

$$F_d = 841,539 \text{ [N]}$$

Los valores de los ángulos fueron medidos en el programa de simulación CAD, con referencia a los requerimientos a los que está sometido.

#### 4.5. REACCIONES EN EL CONJUNTO

##### a) REACCIONES EN EL ACOUPLE DE LA LLANTA DELANTERA



**Figura 28** Reacciones en el Acople de la llanta delantera



$$\sum F_x = -F_{21x} + 2F_t = 0$$

$$\sum F_y = F_{21y} - 2F_d = 0$$

$$\sum M_z = (R_d * F_d) + (R_{21} * F_{21}) + (R_t * F_t)$$

$$\sum M_z = (R_{dx} * F_{dy} - R_{dy} * F_{dx}) + (R_{21x} * F_{21y} - R_{21y} * F_{21x}) + (R_{tx} * F_{ty} - R_{ty} * F_{tx})$$

$$F_{12} = -F_{21}$$

Debido a que son dos lados las fuerzas  $F_d$  y  $F_t$  se multiplicaran por dos

$$F_{21y} - 2F_d = 0$$

$$F_{21} * \sin \theta - 2F_d = 0$$

$$F_{21} * \sin \theta = 2F_d$$

$$F_{21} = \frac{2(841,539)}{\sin (33.8)}$$

$$F_{21} = 3025,510[N]$$

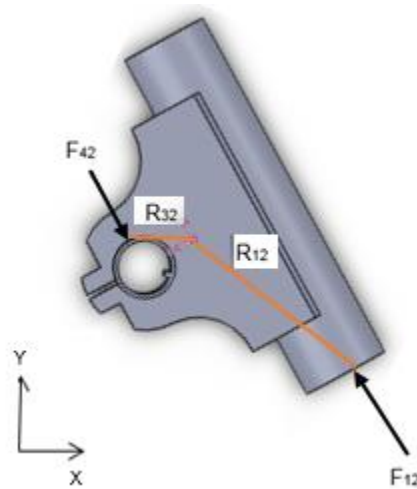
Los valores obtenidos de las reacciones y fuerzas que se genera en el Acople de la llanta delantera se reflejan en la tabla 26, que es un resumen de valores de donde proviene cada fuerza y reacción.

**Tabla 26**

Valores en el acople de la llanta delantera

| Variable   | Valor   | Unidad | Comentario                          |
|------------|---------|--------|-------------------------------------|
| <b>F21</b> | 3025,10 | N      | Fuerza que actúa el elemento 2 en 1 |
| <b>Fd</b>  | 841,539 | N      | Fuerza producidas por las masas     |
| <b>Ft</b>  | 51,156  | N      | Fuerza de frenado                   |
| <b>R21</b> | 118,20  | mm     | Reacción de la fuerza 21            |
| <b>Rd1</b> | 224,65  | mm     | Reacción de la fuerza d1            |
| <b>Rt1</b> | 212,28  | mm     | Reacción de la fuerza t1            |
| <b>Rd2</b> | 224,65  | mm     | Reacción de la fuerza d2            |
| <b>Rt2</b> | 212,28  | mm     | Reacción de la fuerza t2            |

## b) REACCIONES EN LA UNIÓN DEL TRINCHE



**Figura 29** Reacciones en la Unión del Trinchete

$$\sum F_x = F_{32x} + F_{42x} - F_{12x} = 0$$

$$\sum F_y = F_{32y} + F_{42y} - F_{12y} = 0$$

$$\sum M_z = (R_{32} \times F_{32}) + (R_{42} \times F_{42}) - (R_{12} \times F_{12})$$

$$\sum M_z = (R_{32x} * F_{32y} - R_{32y} * F_{32x}) + (R_{42y} * F_{42x} - R_{42x} * F_{42y}) + (R_{12x} * F_{12y} - R_{12y} * F_{12x})$$

$$F_{12} = -F_{21}$$

$$F_{32} = F_{42}$$

$$2F_{32} \cos(33,8) + F_{12} \cos(33,8) = 0$$

$$F_{32} = \frac{F_{12}}{2}$$

$$F_{32} = \frac{-3025,510}{2}$$

$$F_{32} = -1512.755 \text{ [N]}$$

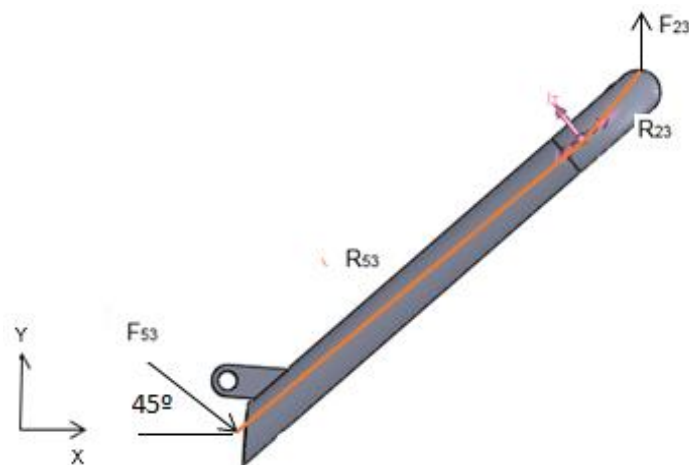
Los valores obtenidos de las reacciones y fuerzas que se genera en la unión del trinche se reflejan en la tabla 27, que es un resumen de valores de donde proviene cada fuerza y reacción.

**Tabla 27**

Valores en la unión del trinche

| Variable | Valor     | Unidad | Comentario                          |
|----------|-----------|--------|-------------------------------------|
| F32      | -1512,755 | N      | Fuerza que actúa el elemento 3 en 2 |
| F42      | -1512,755 | N      | Fuerza que actúa el elemento 4 en 2 |
| F12      | -3025,51  | N      | Fuerza que actúa el elemento 1 en 2 |
| R42      | 153,79    | mm     | Reacción de la fuerza 42            |
| R32      | 153,79    | mm     | Reacción de la fuerza 32            |
| R12      | 41,27     | mm     | Reacción de la fuerza 12            |

### c) REACCIONES EN LOS TUBOS DEL CHASIS



**Figura 30** Reacciones en los Tubos del Chasis

$$\sum F_x = F_{53x} = 0$$

$$\sum F_y = F_{53y} - F_{23y} = 0$$

$$\sum M_z = (R_{53} \times F_{53}) + (R_{23} \times F_{23}) = 0$$

$$\sum M_z = (R_{53x} * F_{53y} - R_{53y} * F_{53x}) + (R_{23x} * F_{23y} - R_{23y} * F_{23x}) = 0$$

$$F_{23} = -F_{32}$$

$$F_{53} \sin 45^\circ + F_{23} = 0$$

$$F_{53} \sin 45^\circ = -1512,755$$

$$F_{53} = 2139,359 \text{ [N]}$$

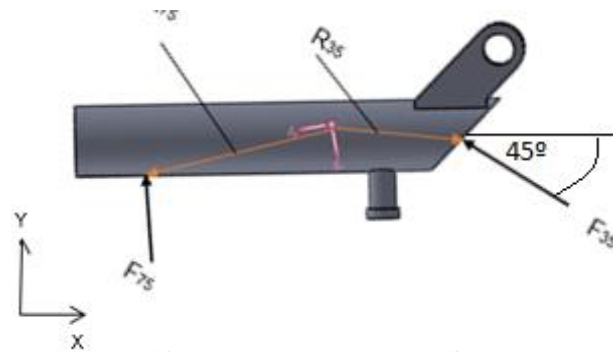
Los valores obtenidos de las reacciones y fuerzas que se genera en los tubos del chasis se reflejan en la tabla 28, que es un resumen de valores de donde proviene cada fuerza y reacción.

**Tabla 28**

Valores en los tubos del chasis

| Variable   | Valor     | Unidad | Comentario                          |
|------------|-----------|--------|-------------------------------------|
| <b>F23</b> | -1512,755 | N      | Fuerza que actúa el elemento 2 en 3 |
| <b>F53</b> | 2139,359  | N      | Fuerza que actúa el elemento 5 en 3 |
| <b>R53</b> | 251,86    | mm     | Reacción de la fuerza 53            |
| <b>R23</b> | 120,98    | mm     | Reacción de la fuerza 23            |

#### d) REACCIONES EN LAS CONEXIONES DE SOPORTES



**Figura 31** Reacciones en las conexiones de los soportes

$$\sum F_x = F_{35x} = 0$$

$$\sum F_y = -F_{35y} - F_{75} = 0$$

$$\sum M_z = (R_{35} \times F_{35}) + (R_{75} \times F_{75}) = 0$$

$$\sum M_z = (R_{35x} * F_{35y} - R_{35y} * F_{35x}) + (R_{75x} * F_{75y} - R_{75y} * F_{75x}) = 0$$

$$F_{35} = -F_{53}$$

$$F_{35} \sin(45^\circ) - F_{75} = 0$$

$$F_{75} = 2139,359 (\sin 45^\circ)$$

$$F_{75} = 1512,755 [N]$$

Los valores obtenidos de las reacciones y fuerzas que se genera en las conexiones de los soportes se reflejan en la tabla 29, que es un resumen de valores de donde proviene cada fuerza y reacción.

**Tabla 29**

Valores en las conexiones de los soportes

| Variable   | Valor     | Unidad | Comentario                          |
|------------|-----------|--------|-------------------------------------|
| <b>F75</b> | 1512,755  | N      | Fuerza que actúa el elemento 7 en 5 |
| <b>F35</b> | -2139,359 | N      | Fuerza que actúa el elemento 3 en 5 |
| <b>R35</b> | 40,13     | mm     | Reacción de la fuerza 35            |
| <b>R75</b> | 51,9      | mm     | Reacción de la fuerza 75            |

#### 4.6. ANÁLISIS DE CADA PARTE DEL TREN DELANTERO

Al analizar las propiedades mecánicas más importantes, se seleccionó el material para manufactura del chasis de la monocicleta y los seguros que estarán envueltos en la construcción de la misma.

Tabla 30

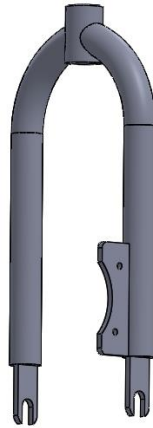
Propiedades mecánicas de los materiales

| <b>PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIALES</b>     |                                 |                                    |                                 |            |                                |            |
|---|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------|--------------------------------|------------|
| <b>Componente del mecanismo</b>                 | <b>Designación del material</b> | <b>Grado, producto o geometría</b> | <b>Resistencia a la tensión</b> |            | <b>Resistencia de fluencia</b> |            |
|   |                                 |                                    | <b>Ksi</b>                      | <b>MPa</b> | <b>Ksi</b>                     | <b>MPa</b> |
| <b>Brazos Principales</b>                       | ASTM A500                       | Tubo Redondo, grado B              | 58                              | 400        | 42                             | 290        |
| <b>Brazos Secundarios</b>                       | ASTM A500                       | Tubo Redondo, grado B              | 58                              | 400        | 42                             | 290        |
| <b>Eje Volante Trinche</b>                      | ASTM A500                       | Tubo Redondo, grado B              | 58                              | 400        | 42                             | 290        |
| <b>Barra Horizontal en la Unión del Trinche</b> | ASTM A500                       | Tubo Redondo, grado B              | 58                              | 400        | 42                             | 290        |
| <b>Base de la Batería</b>                       | ASTM A36                        | Plancha                            | 58                              | 400        | 36                             | 250        |
| <b>Unión del Trinche</b>                        | ASTM A500                       | Eje                                | 58                              | 400        | 42                             | 290        |
| <b>Terminales de los Brazos Principales</b>     | ASTM A500                       | Eje                                | 58                              | 400        | 42                             | 290        |
| <b>Trinche</b>                                  | ASTM A36                        | Plancha                            | 58                              | 400        | 36                             | 250        |
| <b>Seguros de la Silla</b>                      | ASTM A500                       | Eje                                | 58                              | 400        | 42                             | 290        |

Fuente: Robert I. Mott, apendice 7.

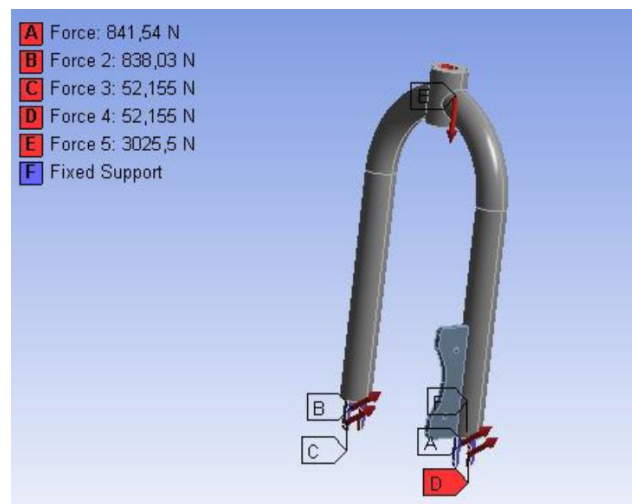
#### 4.6.1. TRINCHE

En primer lugar se realizó la simulación del trinche en un programa de asistencia computacional CAD según se muestra en la ilustración 3



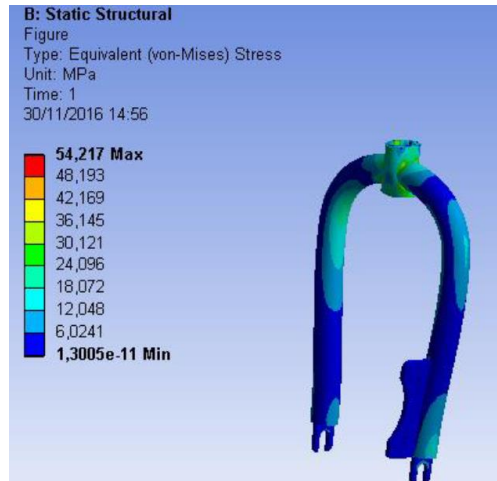
**Ilustración 3** Acople del motor con el trinche

Se colocó las cargas en los puntos A, B, C, D y E siendo estos 841,54 N, 838,03 N, 52,155 N, 52,155 N y 3025,5 N respectivamente y sus puntos de anclaje en el punto F como se muestra en la ilustración 4 por medio de la ayuda de un programa de asistencia computacional CAE



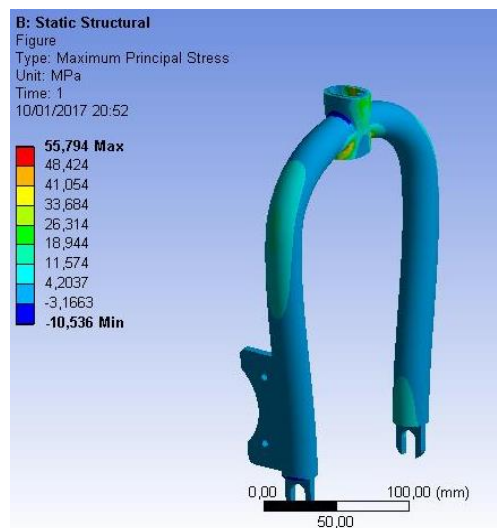
**Ilustración 4** Fuerzas y reacciones en el acople

Se obtuvo los siguientes resultados del análisis estático realizado en el programa de asistencia computacional CAE, para ellos se trabajó bajo la teoría de esfuerzos combinados



**Ilustración 5:** Análisis de Esfuerzo Equivalente del Acople

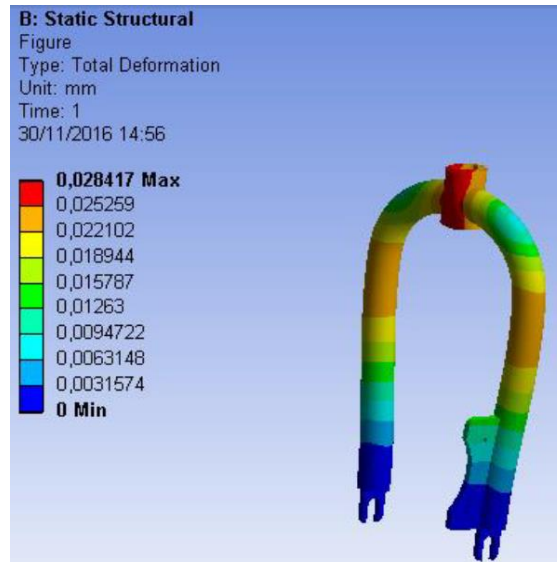
La ilustración 5 muestra el Esfuerzo Equivalente en el Acople del Trinche en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 54,217 MPa y  $1,3e^{-11}$  MPa respectivamente



**Ilustración 6:** Análisis del Esfuerzo Principal Máximo del Acople



La ilustración 6 muestra el Esfuerzo Principal Máximo en el Acople del Trinche en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 55,794 MPa y -10,536 MPa respectivamente



**Ilustración 7:** Análisis de Deformación del Acople

La ilustración 7 muestra la Deformación Total en el Acople del Trinche en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 0,028 mm y 0,0031 mm respectivamente

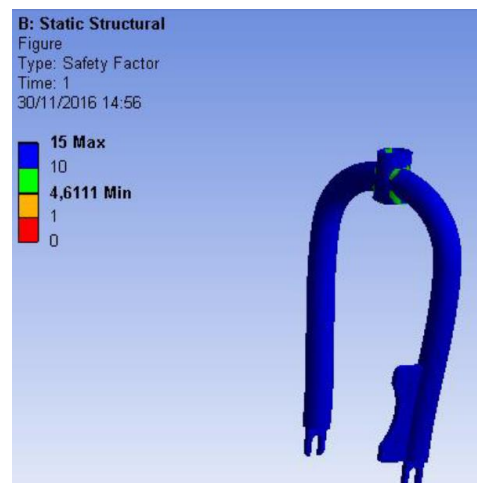
Los datos de los resultados de los análisis del Acople se observan reflejados en la tabla 31 que es el resumen de los esfuerzos que existen en la pieza debido a las cargas aplicadas

**Tabla 31**

Análisis del acople

| Análisis Static Structural del Acople |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Nombre de la Prueba                   | Valor de la prueba       |
| <b>Esfuerzo Equivalente</b>           | MAX                      |
|                                       | 54,217 MPa               |
|                                       | MIN                      |
|                                       | 1,30e <sup>-11</sup> MPa |
| <b>Esfuerzo Principal</b>             | MAX                      |
|                                       | <b>Máximo</b>            |
|                                       | 55,794 MPa               |
|                                       | MIN                      |
|                                       | -10,536 MPa              |
| <b>Deformación Total</b>              | 0.0284mm                 |

El esfuerzo máximo producido en el elemento es de 55,794 MPa que está por debajo del límite de fluencia del material (250 MPa) que proporciona la tabla 31

**Ilustración 8:** Análisis del Factor de Seguridad del Acople

El resultado del análisis del factor de seguridad del Acople mostrado en la ilustración 8 es de 4,6 que indica que la pieza esta sobre dimensionada en material, esto es correcto debido a que el diseño tiene una seguridad elevada

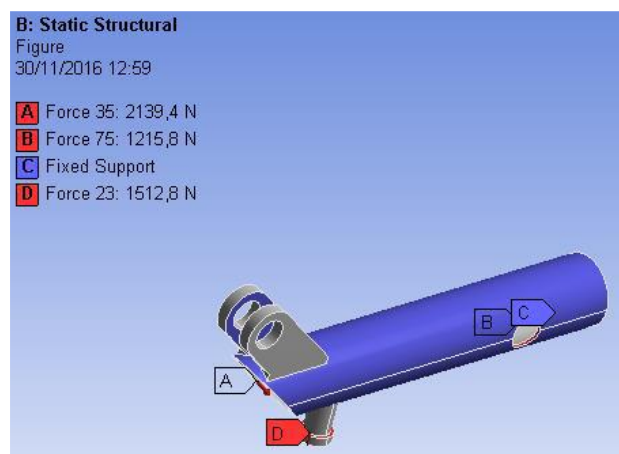
#### 4.6.2. ACOPLA PARA EL SEGURO DE LA SILLA

En primer lugar se realizó la simulación del Seguro de la Silla en un programa de asistencia computacional CAD como se muestra en la ilustración 9



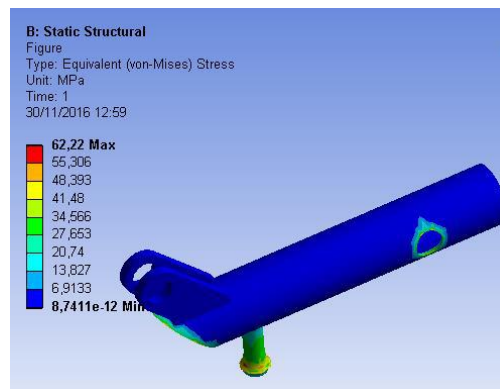
**Ilustración 9** Acople para el seguro de la silla

Se colocó las cargas en los puntos A, B y D siendo de 2139,4 N, 1215,8 N y 1512,8 N respectivamente y sus puntos de anclaje en el punto C como se muestra en la ilustración 10 por medio de la ayuda de un programa de asistencia computacional CAE



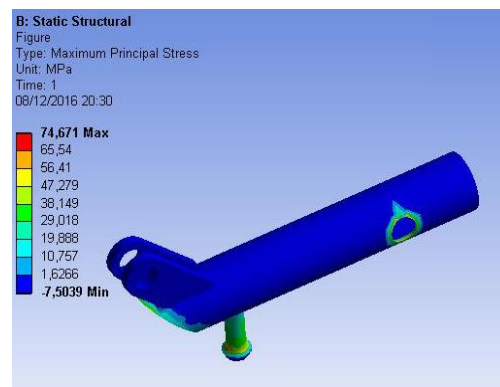
**Ilustración 10** Cargas aplicadas al seguro de la silla

Se obtuvo los siguientes resultados del análisis estático realizado en el programa de asistencia computacional CAE para ello trabajó bajo la teoría de esfuerzos combinados



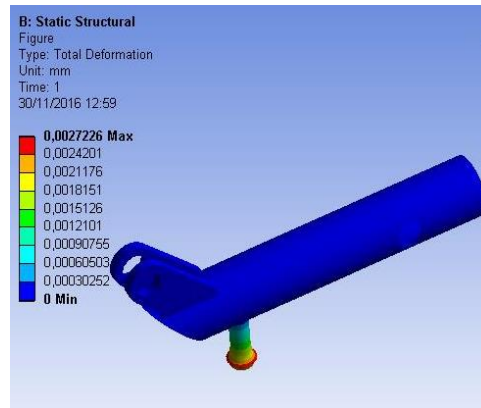
**Ilustración 11:** Análisis de Esfuerzo Equivalente del Seguro de la Silla

La ilustración 11 muestra el Esfuerzo Equivalente en el Seguro de la Silla en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 62,22MPa y  $8,74e^{-12}$  MPa respectivamente



**Ilustración 12:** Análisis de Esfuerzo principal máximo del Seguro de la Silla

La ilustración 12 muestra el Esfuerzo Principal Máximo en el Seguro de la Silla en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 74,671 MPa y -7,50 MPa respectivamente



**Ilustración 13:** Análisis de Deformación del Seguro de la Silla

La ilustración 13 muestra la Deformación Total en el Seguro de la Silla en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 0,022 mm y 0,0030 mm respectivamente

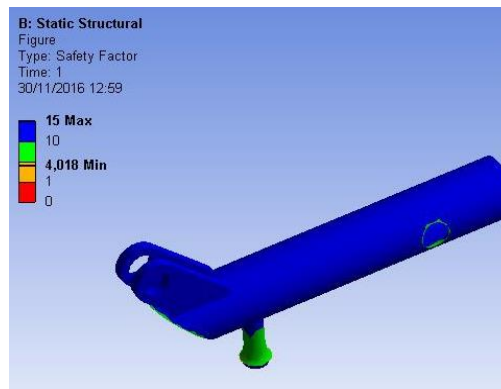
Los datos de los resultados de los análisis del Acople se pueden ver reflejados en la tabla 32 que es el resumen de los esfuerzos que existen en la pieza debido a las cargas aplicadas

**Tabla 32**

Análisis del acople de la silla

| Análisis del acople de la silla |                          |
|---------------------------------|--------------------------|
| Nombre de la Prueba             | Valor de la prueba       |
| Esfuerzo Equivalente            | MAX                      |
|                                 | 62,72 MPa                |
|                                 | MIN                      |
|                                 | 8,74e <sup>-12</sup> MPa |
| Esfuerzo principal máximo       | MAX                      |
|                                 | 74,671 MPa               |
|                                 | MIN                      |
|                                 | -7,58 MPa                |
| Deformación Total               | 0,0027 mm                |

El esfuerzo máximo producido en el elemento es de 74,671MPa que está por debajo del límite de fluencia del material (290 MPa) que proporciona la tabla 32

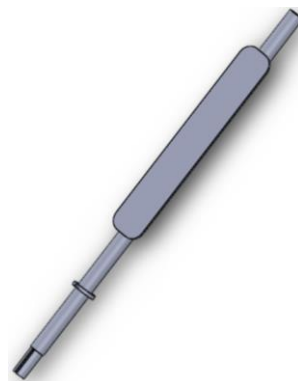


**Ilustración 14:** Análisis de Factor de Seguridad del Seguro de la Silla

El resultado del análisis del factor de seguridad del Seguro de la Silla es de 4,01 como se muestra en la ilustración 14 indica que la pieza esta sobre dimensionada en material, esto es correcto debido a que el diseño tiene que tener una seguridad elevada

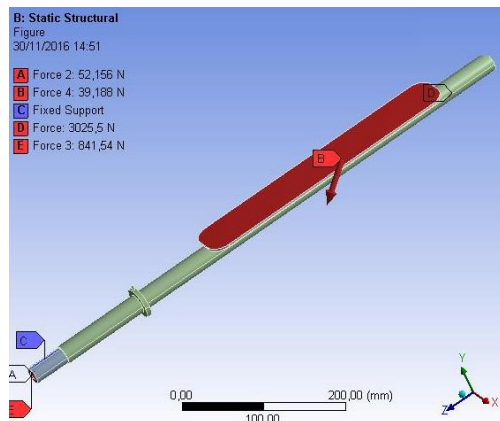
#### 4.6.3. EJE VOLANTE TRINCHE

En primer lugar se realizó la simulación del Seguro de la Silla en un programa de asistencia computacional CAD según se muestra en la ilustración 15



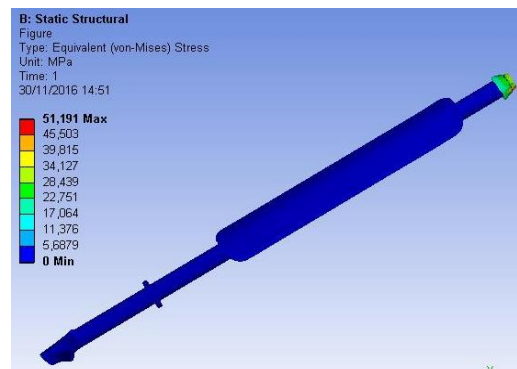
**Ilustración 15** Eje volante trincHE

Se colocó las cargas en los puntos A, B, D y E siendo estas de 52,156 N, 39,188 N, 30125,5 N y 641,54 N respectivamente y su punto de anclaje en el punto C como se muestra en la ilustración 16 por medio de la ayuda de un programa de asistencia computacional CAE



**Ilustración 16** Cargas aplicadas al eje volante trinche

Se obtuvo los siguientes resultados del análisis estático realizado en el programa de asistencia computacional CAE para ello se trabajó bajo la teoría de que es el resumen de los esfuerzos que existen en la pieza debido a las cargas aplicadas



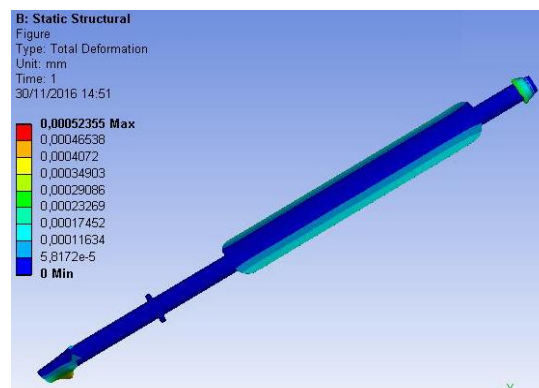
**Ilustración 17:** Análisis del Esfuerzo Equivalente del Eje Volante

La ilustración 17 muestra el Esfuerzo Equivalente en el Eje del Volante en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 51,19 MPa y 0 MPa respectivamente



**Ilustración 18:** Análisis del Esfuerzo Principal Máximo del Eje Volante

La ilustración 18 muestra el Esfuerzo Principal Máximo en el Eje Volante en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 38,43 MPa y -1,74 MPa respectivamente



**Ilustración 19:** Análisis de Deformación Total del Eje Volante

La ilustración 19 muestra la Deformación Total en el Eje Volante en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 0,00052 mm y  $5,81e^{-5}$  mm respectivamente

Los datos de los resultados de los análisis del eje volante se pueden ver reflejados en la tabla 33 que es el resumen de los esfuerzos que existen en la pieza debido a las cargas aplicadas

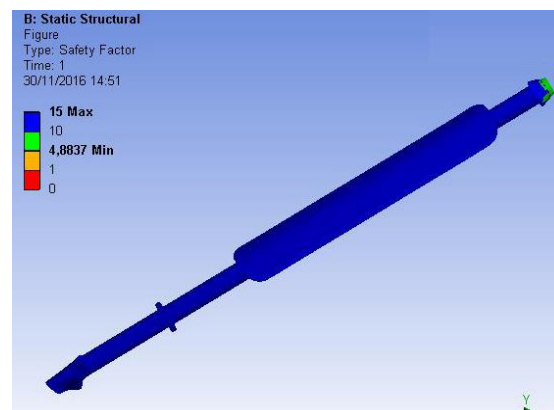


**Tabla 33**

Análisis del eje volante trinche

| Nombre de la Prueba              | Valor de la prueba     |
|----------------------------------|------------------------|
| <b>Esfuerzo Equivalente</b>      | MAX                    |
|                                  | 51,191 MPa             |
|                                  | MIN                    |
| <b>Esfuerzo principal máximo</b> | MAX                    |
|                                  | 38,436 MPa             |
|                                  | MIN                    |
|                                  | -1,74 MPa              |
| <b>Deformación Total</b>         | 5,23e <sup>-4</sup> mm |

El esfuerzo máximo producido en el elemento es de 38,436 MPa que está por debajo del límite de fluencia del material (290 MPa para la parte del tubo y 250 MPa para la parte de la platina) que proporciona la tabla 33

**Ilustración 20:** Análisis de Factor de Seguridad del Eje Volante

El resultado del análisis del factor de seguridad del Eje Volante Trinche es de 4,0 que indica la ilustración 20, la pieza está sobredimensionada en material, esto es correcto debido a que el diseño tiene que tener una seguridad elevada

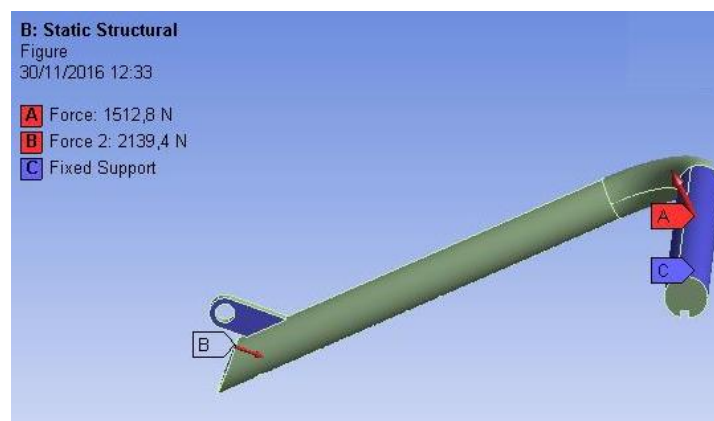
#### 4.6.4. TUBOS DEL CHASIS

En primer lugar se realizó la simulación del trinche en un programa de asistencia computacional CAD según se muestra en la ilustración 21



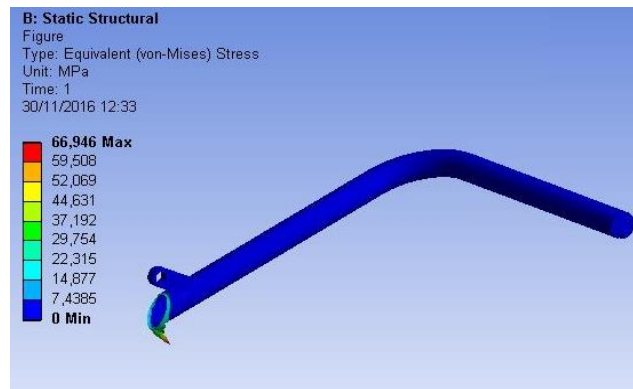
**Ilustración 21** Tubo del chasis

Se colocó las cargas en los puntos A y B siendo estas de 1512,8 N y 2139,4 N respectivamente y su punto de anclaje en el punto C como se muestra en la ilustración 22 por medio de la ayuda de un programa de asistencia computacional CAE



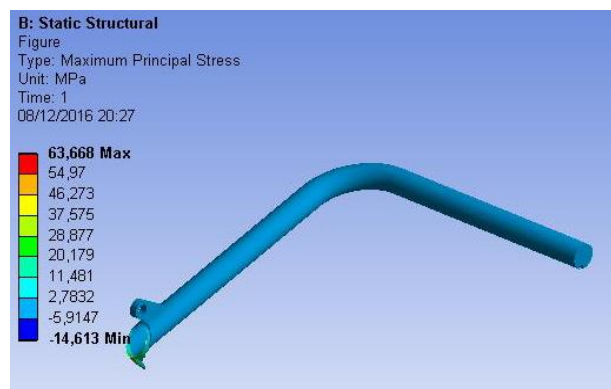
**Ilustración 22** Cargas aplicadas al tubo del chasis

Se obtuvo los siguientes resultados del análisis estático realizado en el programa de asistencia computacional CAE para ellos se trabajó bajo la teoría de esfuerzos combinados



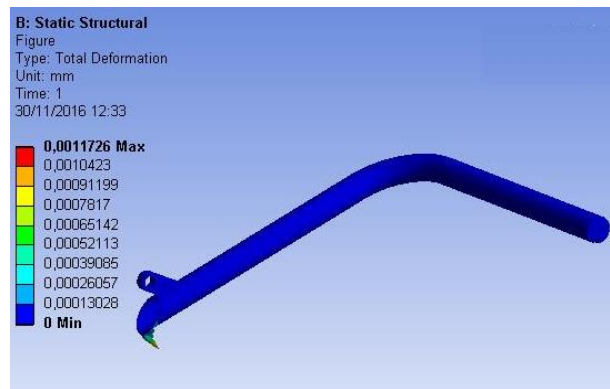
**Ilustración 23:** Análisis de Esfuerzo Equivalente del Tubo del Chasis

La ilustración 23 muestra el Esfuerzo Equivalente en el Tubo del Chasis en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 66,94 MPa y 0 MPa respectivamente



**Ilustración 24:** Análisis de Esfuerzo Principal Máximo del Tubo del Chasis

La ilustración 24 muestra el Esfuerzo Principal Máximo en el Tubo del Chasis en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 63,66 MPa y -14,61 MPa respectivamente



**Ilustración 25:** Análisis de Deformación Total del Tubo del Chasis

La ilustración 25 muestra la Deformación Total en el Tubo del Chasis en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 0,0011 mm y 0,00013 mm respectivamente

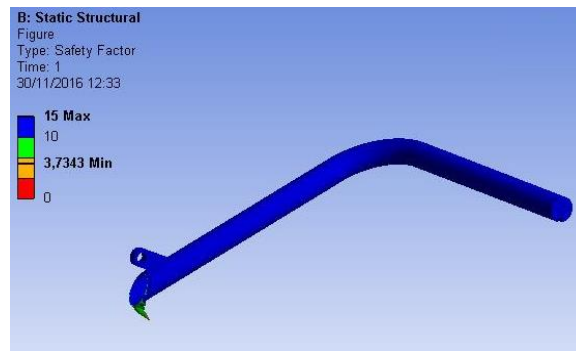
Los datos de los resultados de los análisis del Brazo se pueden ver reflejados en la tabla 34 que es el resumen de los esfuerzos que existen en la pieza debido a las cargas aplicadas.

**Tabla 34**

Análisis del brazo

| Nombre de la Prueba              | Valor de la prueba |
|----------------------------------|--------------------|
| <b>Esfuerzo Equivalente</b>      | MAX                |
|                                  | 66,946 MPa         |
|                                  | MIN                |
|                                  | 7,43 MPa           |
| <b>Esfuerzo Principal Máximo</b> | MAX                |
|                                  | 63,66 MPa          |
|                                  | MIN                |
|                                  | -14,61 MPa         |
| <b>Deformación Total</b>         | 0,00117 mm         |

El esfuerzo máximo producido en el elemento es de 63,66 MPa que está por debajo del límite de fluencia del material (290 MPa) que proporciona la tabla 34

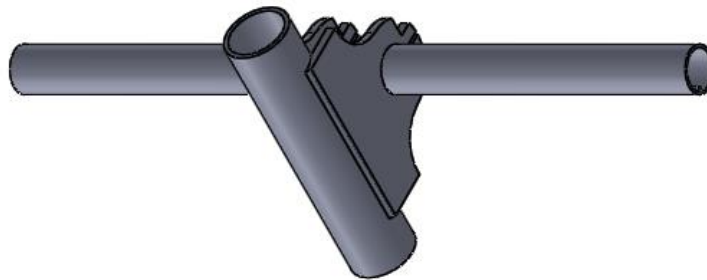


**Ilustración 26:** Análisis de Factor de Seguridad del Tubo del Chasis

El resultado del análisis del factor de seguridad del Tubo del Chasis es de 3,73 que indica la ilustración 26, la pieza está sobredimensionada en material, esto es correcto debido a que el diseño tiene que tener una seguridad elevada

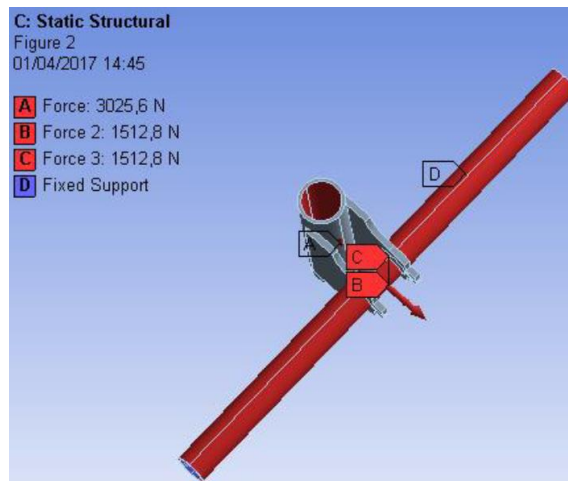
#### 4.6.5. UNIÓN DE TRINCHE

En primer lugar se realizó la simulación del trinche en un programa de asistencia computacional CAD según se muestra en la ilustración 27



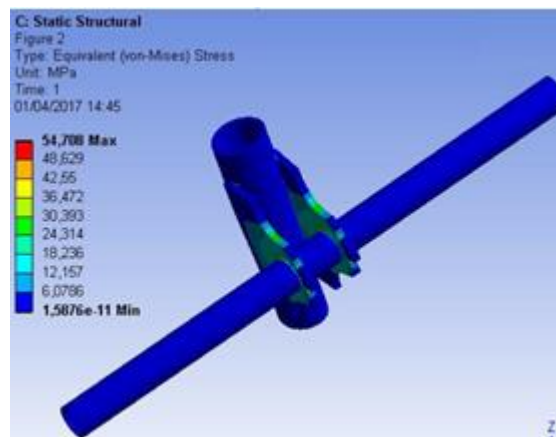
**Ilustración 27** Unión del trinche

Se colocó las cargas en los puntos A, B, y C siendo estas de 3015,6 N, 1512,8 N y 1512,8 N respectivamente y su punto de anclaje en el punto D como se muestra en la ilustración 28 por medio de la ayuda de un programa de asistencia computacional CAE



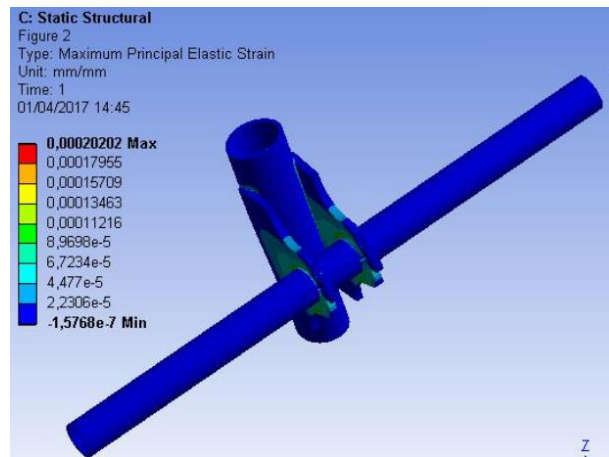
**Ilustración 28** Cargas aplicadas a la unión

Se obtuvo los siguientes resultados del análisis estático realizado en el programa de asistencia computacional CAE para ellos se trabajó bajo la teoría de esfuerzos combinados



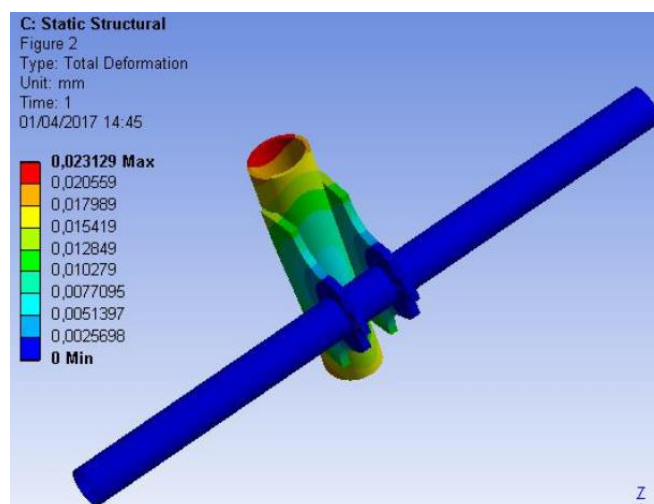
**Ilustración 29:** Análisis de Esfuerzo Equivalente en la Unión del trinche

La ilustración 29 muestra el Esfuerzo Principal Máximo en la Unión del trinche en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 51,61 MPa y  $4,18e^{-12}$  MPa respectivamente



**Ilustración 30:** Análisis de Esfuerzo Principal Máximo en la Unión del trinche

La ilustración 30 muestra el Esfuerzo Principal Máximo en la Unión del trinche en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 55,73 MPa y -19,72 MPa respectivamente



**Ilustración 31:** Análisis Deformación Total en la Unión del trinche

La ilustración 31 muestra la Deformación Total en la Unión del trinche en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 0,026 mm y 0,0029 mm respectivamente.

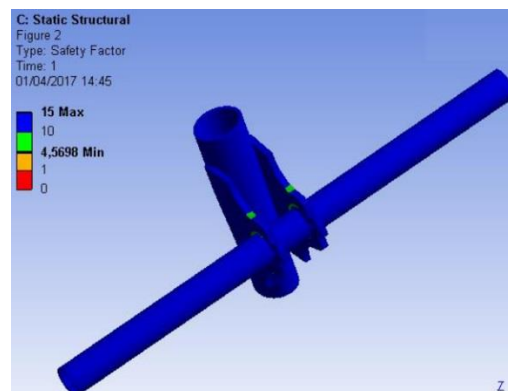
Los datos de los resultados de los análisis de la unión del trinche se pueden ver reflejados en la tabla 35 que es el resumen de los esfuerzos que existen en la pieza debido a las cargas aplicadas.

**Tabla 35**

Análisis en la unión del trinche

| Nombre de la Prueba              | Valor de la prueba       |
|----------------------------------|--------------------------|
| <b>Esfuerzo Equivalente</b>      | MAX                      |
|                                  | 51,61MPa                 |
|                                  | MIN                      |
|                                  | 4,18e <sup>-12</sup> MPa |
| <b>Esfuerzo Principal Máximo</b> | MAX                      |
|                                  | 55,73 MPa                |
|                                  | MIN                      |
|                                  | -19,72 MPa               |
| <b>Deformación Total</b>         | 0,026mm                  |

El esfuerzo máximo producido en el elemento es de 55,73 MPa que está por debajo del límite de fluencia del material (290 MPa) que proporciona la tabla 35

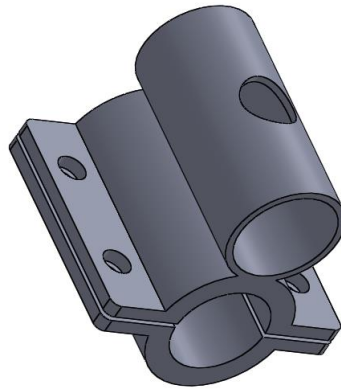
**Ilustración 32:** Análisis de Factor de Seguridad en la Unión del trinche

El resultado del análisis del factor de seguridad del Unión del trinche es de 4,8 que indica la ilustración 32, la pieza esta sobre dimensionada en material, esto es correcto debido a que el diseño tiene que tener una seguridad elevada



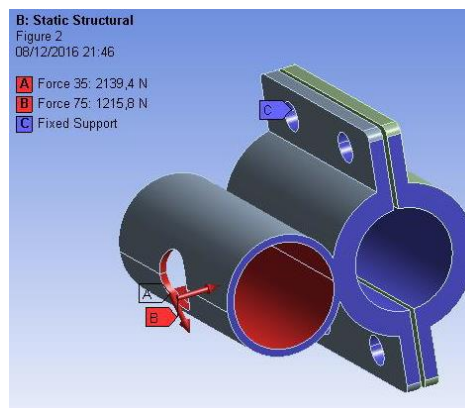
#### 4.6.6. SEGUROS DE LA SILLA DE RUEDAS

En primer lugar se realizó la simulación del trinche en un programa de asistencia computacional CAD según se muestra en la ilustración 33



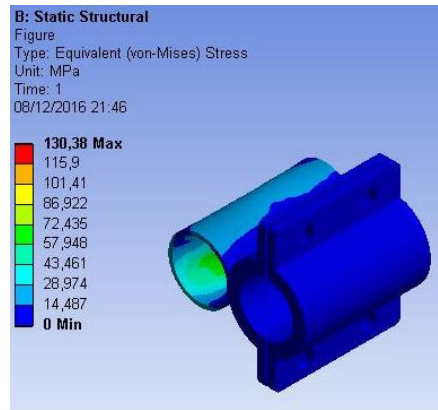
**Ilustración 33** Seguros de la silla de ruedas

Se colocó las cargas en los puntos A y B siendo estas de 2139,4 N y 1215,8 N respectivamente y su punto de anclaje en el punto C como se muestra en la ilustración 34 por medio de la ayuda de un programa de asistencia computacional CAE



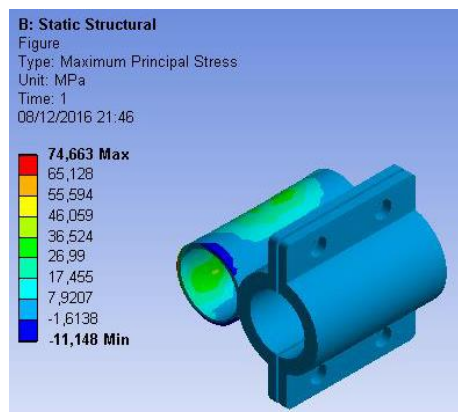
**Ilustración 34** Cargas aplicadas seguros

Se obtuvo los siguientes resultados del análisis estático realizado en el programa de asistencia computacional CAE para ellos se trabajó bajo la teoría de esfuerzos combinados



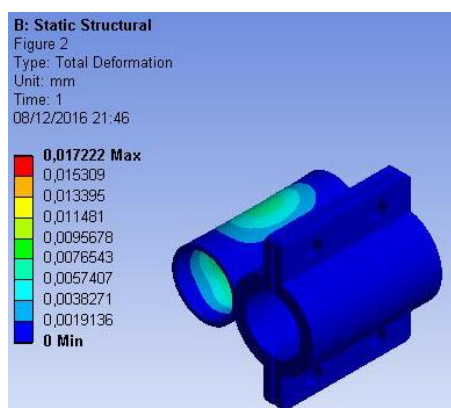
**Ilustración 35** Análisis de Esfuerzo Equivalente de los Seguros

La ilustración 35 muestra el Esfuerzo Equivalente de los Seguros en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 130,38 MPa y 0 MPa respectivamente



**Ilustración 36** Análisis del Esfuerzo Principal Máximo de los Seguros

La ilustración 36 muestra el Esfuerzo Principal Máximo de los Seguros en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 74,663 MPa y -11,148 MPa respectivamente



**Ilustración 37** Análisis de Deformación Total de los Seguros

La ilustración 37 muestra la Deformación Total de los Seguros en análisis estático, dando los resultados máximos y mínimos, siendo estos 0,0172 mm y 0,0019 mm respectivamente

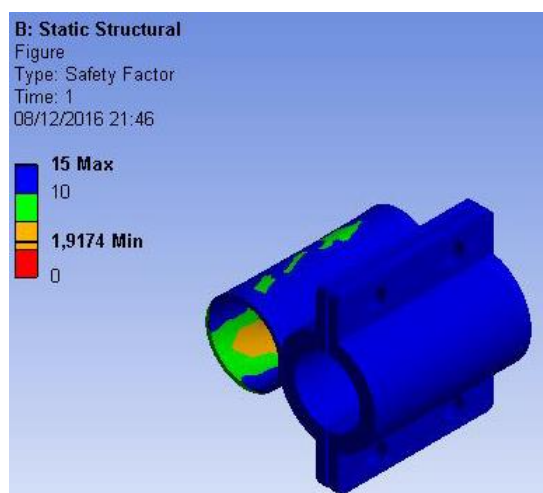
Los datos de los resultados de los análisis del seguro de la silla se pueden ver reflejados en la tabla 36 que es el resumen de los esfuerzos que existen en la pieza debido a las cargas aplicadas.

**Tabla 36**

Análisis de los seguros de la silla

| Nombre de la Prueba              | Valor de la prueba |
|----------------------------------|--------------------|
| <b>Esfuerzo Equivalente</b>      | MAX                |
|                                  | 138,38 MPa         |
|                                  | MIN                |
|                                  | 14,48 MPa          |
| <b>Esfuerzo principal máximo</b> | MAX                |
|                                  | 74,76 MPa          |
|                                  | MIN                |
|                                  | -11,148 MPa        |
| <b>Deformación Total</b>         | 0,0172 mm          |

El esfuerzo máximo producido en el elemento es de 138,38 MPa que está por debajo del límite de fluencia del material (290 MPa) que proporciona la tabla 36



**Ilustración 38** Análisis de Factor de Seguridad de los Seguros

El resultado del análisis del factor de seguridad de los Seguros de la Silla es de 1,92 que indica la ilustración 38, la pieza tiene la seguridad adecuada para soportar las cargas y brindar buen anclaje de los demás elementos

#### 4.7. ANÁLISIS DE LOS DATOS DE DISEÑO OBTENIDOS

Con los datos de los análisis realizados por medio del programa computacional CAE, se tabulará los datos en las tablas 37 y 38 para verificar el promedio de todo el conjunto del monociclo en los siguiente gráficos

**Tabla 37**

Tabulación de datos máximos de los análisis

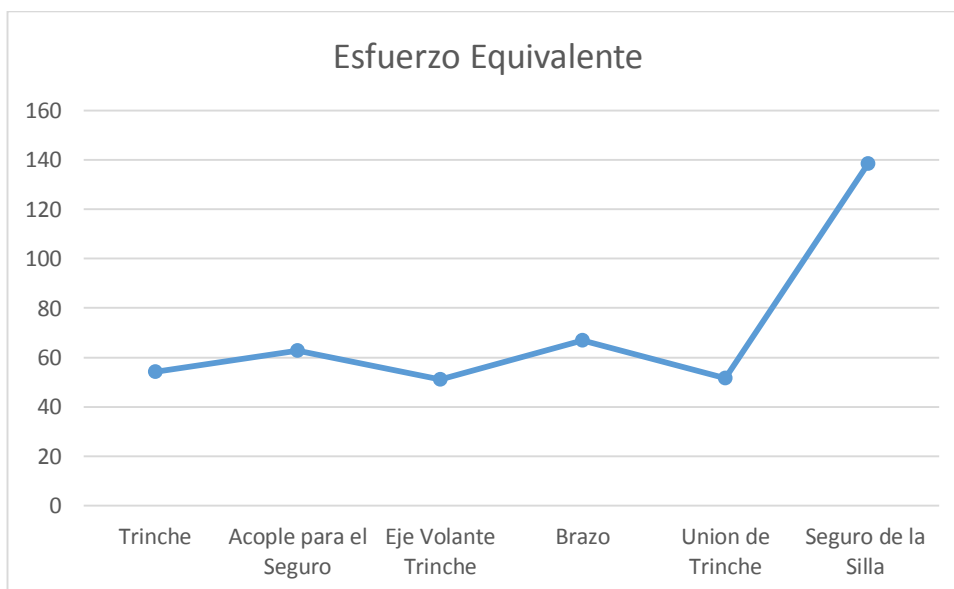
| Máximo                | Esfuerzo Equivalente (MPa) | Esfuerzo Principal Máximo (MPa) | Deformación Total (mm) | Factor de Seguridad |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------------|---------------------|
| Trinche               | 54,217                     | 55,794                          | 0,0284                 | 4,61                |
| Acople para el Seguro | 62,72                      | 74,671                          | 0,0027                 | 4,01                |
| Eje Volante Trinche   | 51,191                     | 38,436                          | 5,23E-04               | 4                   |
| Brazo                 | 66,946                     | 63,66                           | 0,00117                | 3,73                |
| Unión de Trinche      | 51,61                      | 55,73                           | 0,026                  | 4,8                 |
| Seguro de la Silla    | 138,38                     | 74,76                           | 0,0172                 | 1,92                |

**Tabla 38**

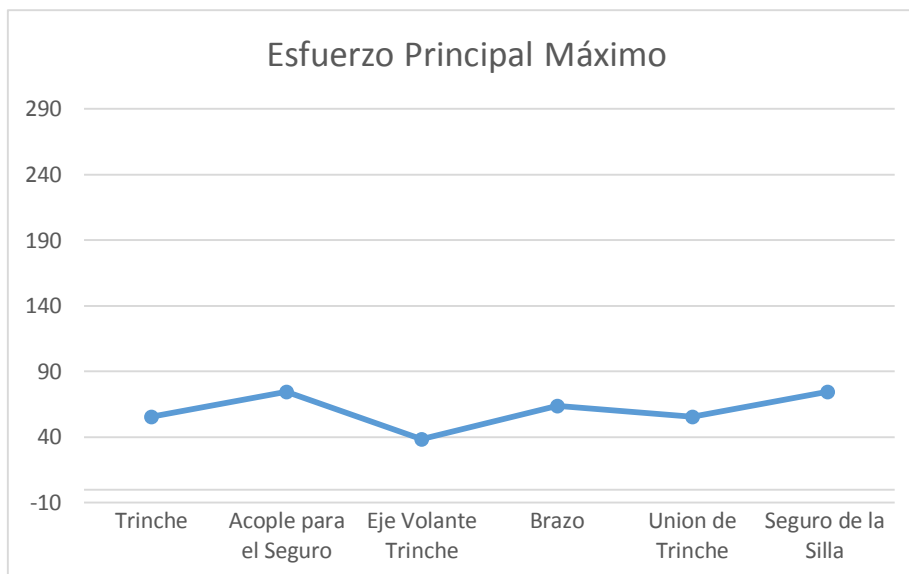
Tabulación de datos mínimos de los análisis

| Mínimo                | Esfuerzo Equivalente (MPa) | Esfuerzo Principal Máximo (MPa) |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Trinche               | 1,30E-11                   | -10,536                         |
| Acople para el Seguro | 8,74E-12                   | -7,58                           |
| Eje Volante Trinche   | 5,88                       | -1,74                           |
| Brazo                 | 7,43                       | -14,61                          |
| Union de Trinche      | 4,18E-12                   | -19,72                          |
| Seguro de la Silla    | 14,48                      | -11,148                         |

Los datos de las tablas 37 y 38 generan las siguientes figuras para visualizar de una mejor manera el comportamiento del monociclo como conjunto

**Figura 32** Datos de Esfuerzos Equivalentes del Monociclo

La figura 32 muestra que la concentración de esfuerzo del monociclo como conjunto se encuentra en el seguro de la silla debido a que tiene el mayor esfuerzo de todos los elementos



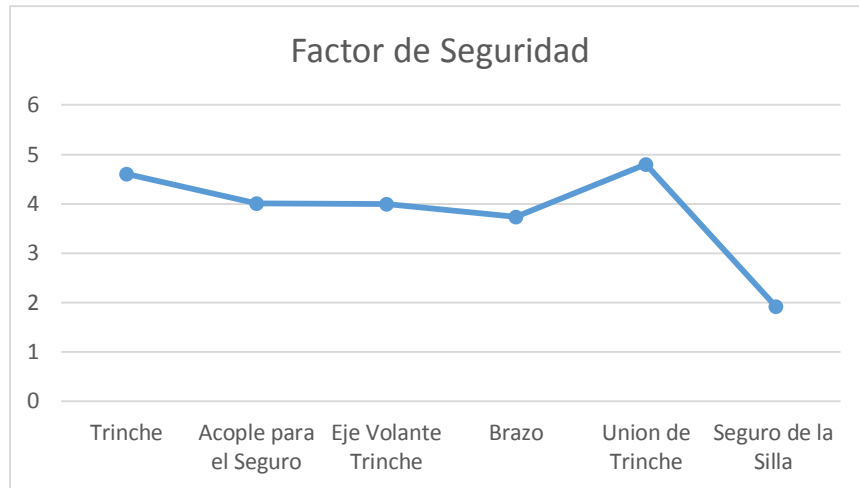
**Figura 33** Datos de Esfuerzos Principal Máximo del Monociclo

En la figura 33 se encuentra reflejado el esfuerzo principal máximo de todos los elementos de la monocicleta y que ninguno supero el límite a la fluencia



**Figura 34** Datos de Deformación total del Monociclo

En la figura 34 se observa que la mayor deformación en toda la monocicleta se verá reflejada en el Trinche y en la Unión de Trinche debido a que soportan las mayores cargas.



**Figura 35** Datos de Factor de Seguridad del Monociclo

El factor seguridad crítico se encuentra en el seguro de la silla, aunque el mismo es uno de los elementos con mayor robustez y es el elemento que sufre el mayor esfuerzo

## CAPÍTULO V

### 5. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.

#### 5.1. INTRODUCCIÓN.

El presente capítulo posee una descripción del proceso de fabricación del prototipo, así como el proceso de ensamble de cada una de las piezas de la estructura y conexión del sistema eléctrico y elementos constitutivos que permitan el movimiento del monociclo.

El criterio de diseño mecánico y la utilización de programas de diseño CAD CAE permiten al diseñador obtener elementos que abarquen todas las posibilidades mecánicas y geométricas para garantizar su funcionalidad, es por ello que, cada elemento diseñado posee la ingeniería de detalle.

#### 5.2. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA.

##### 5.2.1. CORTE, DOBLADO Y MAQUINADOS DE LOS TUBOS.

###### a) CORTE

La estructura del prototipo se realizó tomando en cuenta los planos de ingeniería CAD, como parte de la fabricación se hizo con tubo estructural el mismo con el que se efectuó los análisis CAE. Para no tener problemas con las piezas se hizo un corte sobre medida del 0.7% de su longitud como se aprecia en la figura 36.



**Figura 36** Corte de tubo ASTM A-36



Los 2 tubos para el trinche se cortaron de una longitud de 50 cm y para los brazos de 54 cm como muestra la figura 39, los brazos pequeños de 15 cm, el eje horizontal de 53cm y el eje vertical de 67 cm.

### **b) DOBLADO Y MAQUINADO**

El torneado de las piezas se realizó como muestra la figura 37, se utilizó un eje de 2 in de diámetro para el eje central el cual con una cuchilla de interiores se creó la forma diseñada. Para el doblado de los tubos se lo realizo en una dobladora manual con una guía de 7/8 de pulgada como se muestra la figura 39, la cual aplicando una fuerza se las doblo a 90° para los brazos y para el trinche 45° con un radio de curvatura de 7cm



**Figura 37** Proceso de maquinado.

### **5.2.2. ESTRUCTURA**

El proceso de soldadura de las piezas de la estructura se realizó con un proceso de soldadura TIG (del inglés tungsten inert gas) o soldadura GTAW (del inglés gas tungsten arc welding) como ilustra la figura 38, se caracteriza por la utilización de un electrodo permanente de tungsteno, aleado con torio o a veces con circonio en porcentajes no superiores a un 2% se dejó un arco no mayor a los 7 mm de espesor.



**Figura 38** Soldadura de las piezas de la estructura (Proceso TIG).

**a) TRINCHE Y BRAZOS.**

El trinche y los brazos cumplen los mismos procedimientos de fabricación ya que en los dos se utilizó tubo estructural ASTM A-500 y para las platinas se trabajó con ASTM A-36.

El trinche se dobló a  $45^\circ$  posteriormente se unió con una soldadura TIG con un arco de espesor de 6 mm, luego se soldó la chaveta de 4\*4mm la cual servirá de guía y seguro para el eje horizontal.

Los brazos se soldaron los tubos doblados a  $90^\circ$  con el eje de trasmisión con el canal de 4\*4 mm para la chaveta.



**Figura 39** Doblado de los tubos a 90 grados.

### b) EJE VERTICAL

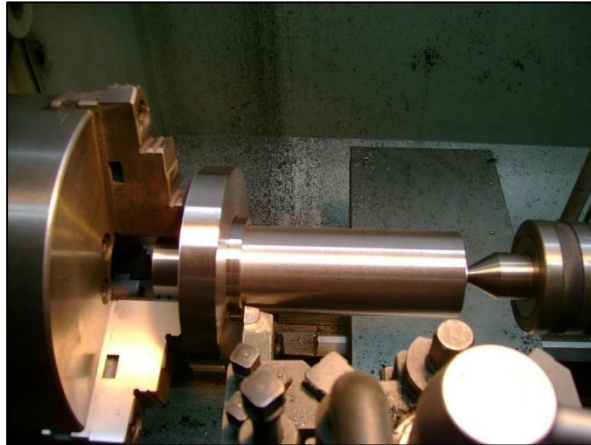
En el eje vertical se utilizó tubo estructural ASTM A-500 y para la base de la batería se trabajó con ASTM A-36. Una vez cortado el tubo estructural de 65 cm se soldó un eje de 7/8 in el cual tiene un canal para la chaveta que tiene el trinche, luego de ello se soldó la I platina ASTM A-36 para la batería de 60\*10 cm.



**Figura 40** Maquinado del eje vertical.

### c) EJE HORIZONTAL

En el eje horizontal se maquinó el eje central de 2 in de diámetro el cual soportara todo el peso el eje se trabajó con eje de transmisión luego para las guías se utilizó tubo estructural ASTM A-36 de 55cm. Primero se empezó a trabajar el eje central el cual tiene una geometría rigurosa ya que está expuesto a mayor esfuerzo luego con el tubo estructural se realizó las sueldas de las chavetas con un procedimiento TIG el cual garantiza un buen acabado y resistencia.



**Figura 41** Maquinado del eje central horizontal.

#### **d) SEGUROS**

En los seguro se utilizó tubo estructural ASTM A-500 y para las platinas se trabajó con ASTM A-36, como muestra la figura 42. Primero las platinas de 4\*2 cm se las realizo en la fresadora para obtener un mismo acabado en las 8, con orificios de 1/4 de pulgada de diámetro cada una. Posteriormente se procedió a soldar cada uno de ellas para tener los dos seguros.



**Figura 42** Fresado de las platinas para los seguros.

#### **5.2.3. PROCESO DE CROMADO.**

El cromado, realizado en la empresa INARECROM de la ciudad de Ambato, es la técnica de depositar mediante galvanoplastia una fina capa de cromo sobre un objeto de otro metal. La capa de cromo puede ser decorativa

en nuestro caso para endurecer la estructura a la vez aumentar su resistencia frente a la corrosión. El terminado se muestra en la figura 43



**Figuran 43** Piezas cromadas

### 5.3. MONTAJE DE LA ESTRUCTURA

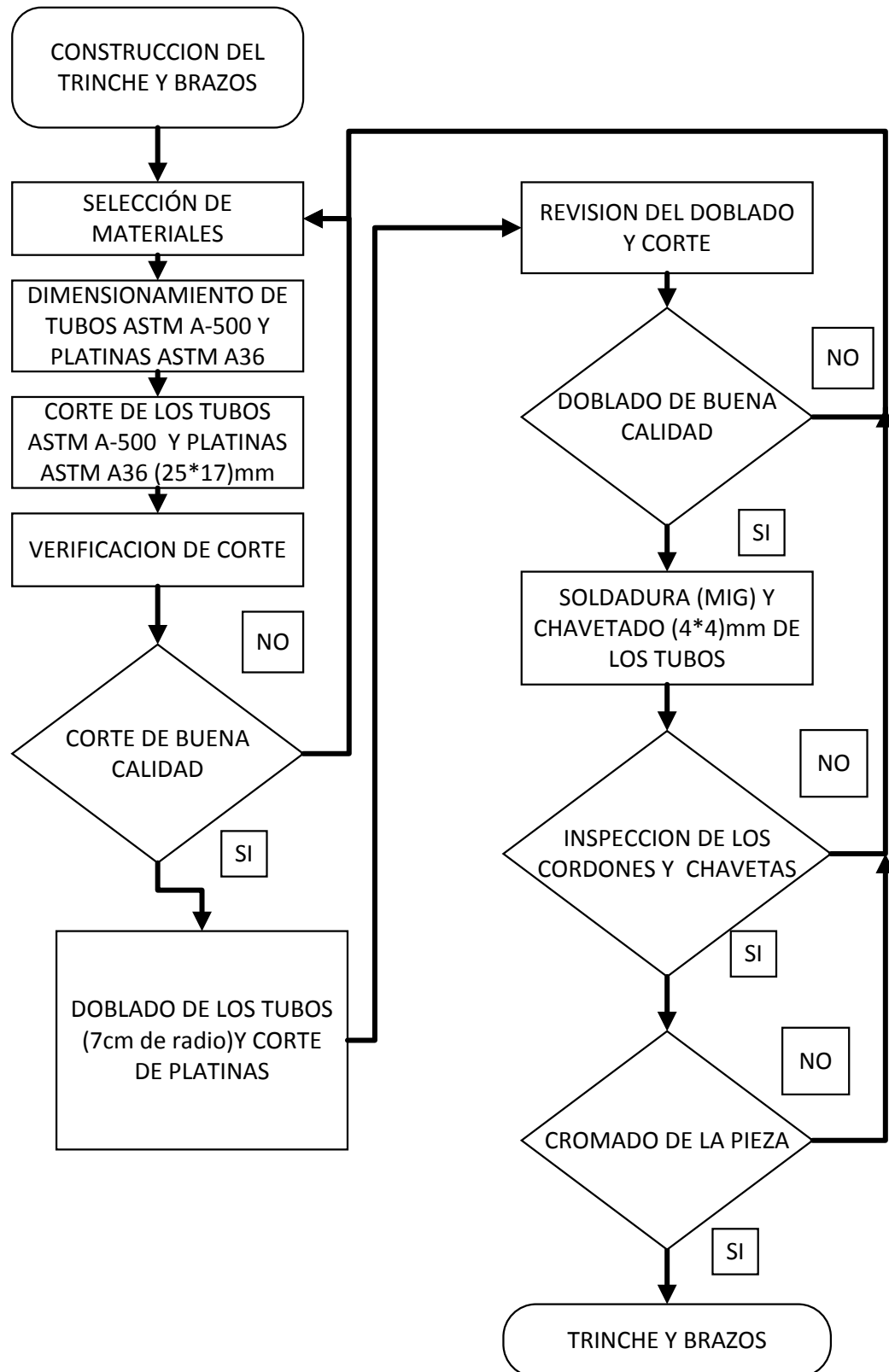
La estructura tiene en total 20 piezas desarmables de igual manera son 5 dispositivos electrónicos como se muestra en la figura 44, más adelante se detallara el proceso de ensamble, el prototipo es independiente el cual es montable a cualquier silla de ruedas.



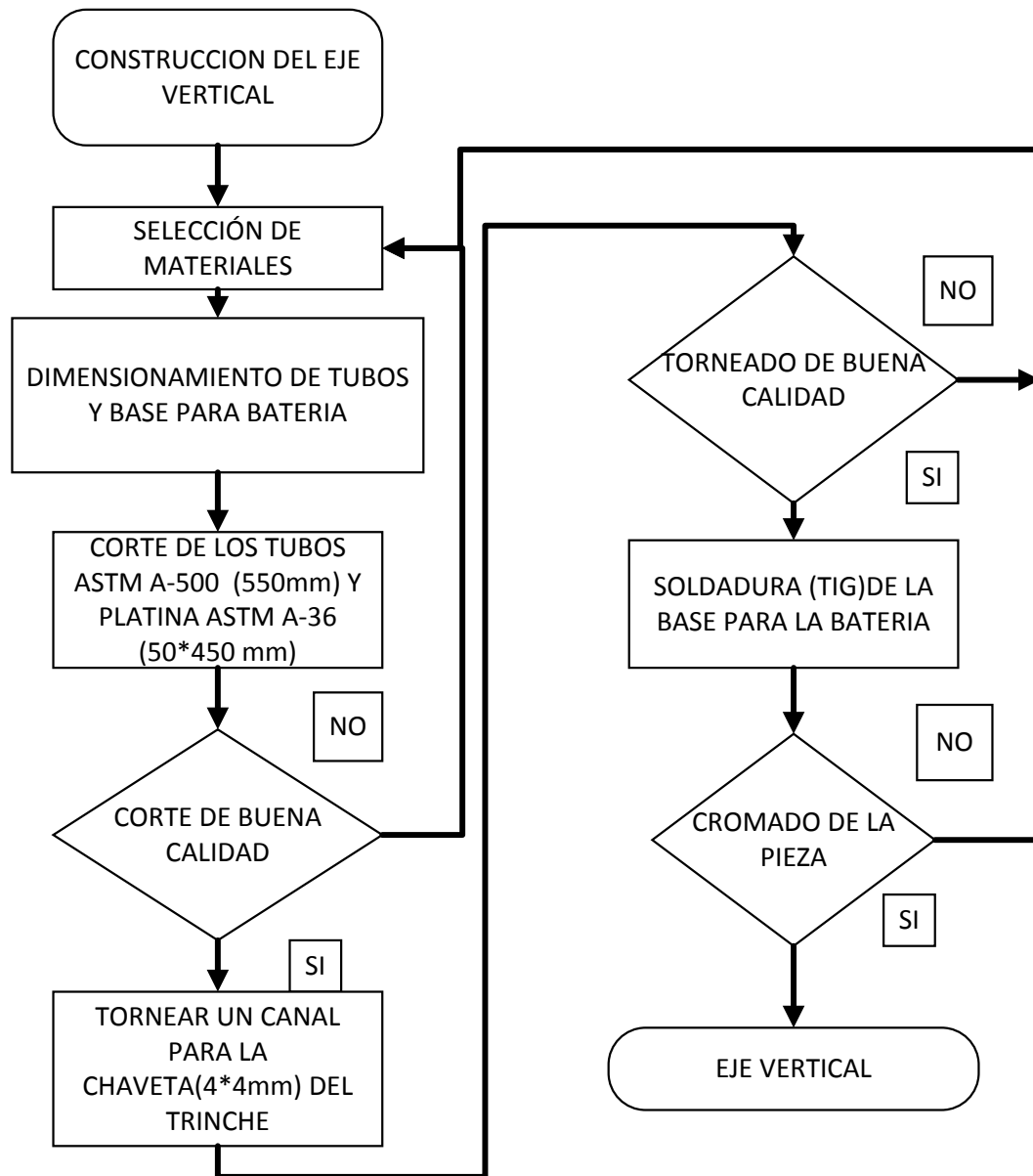
**Figura 44** Montaje de la estructura a la silla de ruedas.

## 5.4. DIAGRAMA DE PROCESOS.

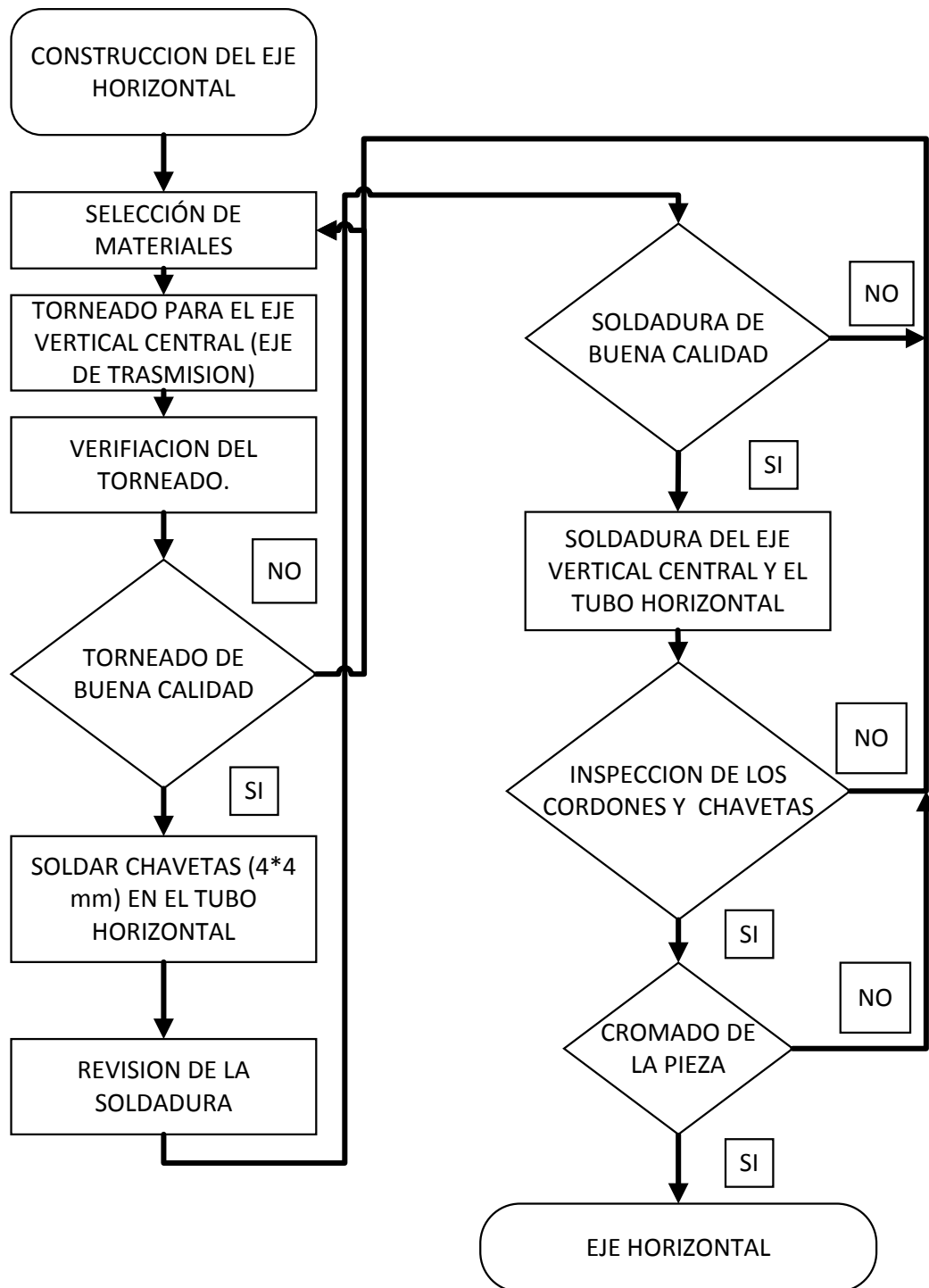
### 5.4.1. DIAGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DEL TRINCHE Y BRAZOS.



#### 5.4.2. DIAGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DEL EJE VERTICAL

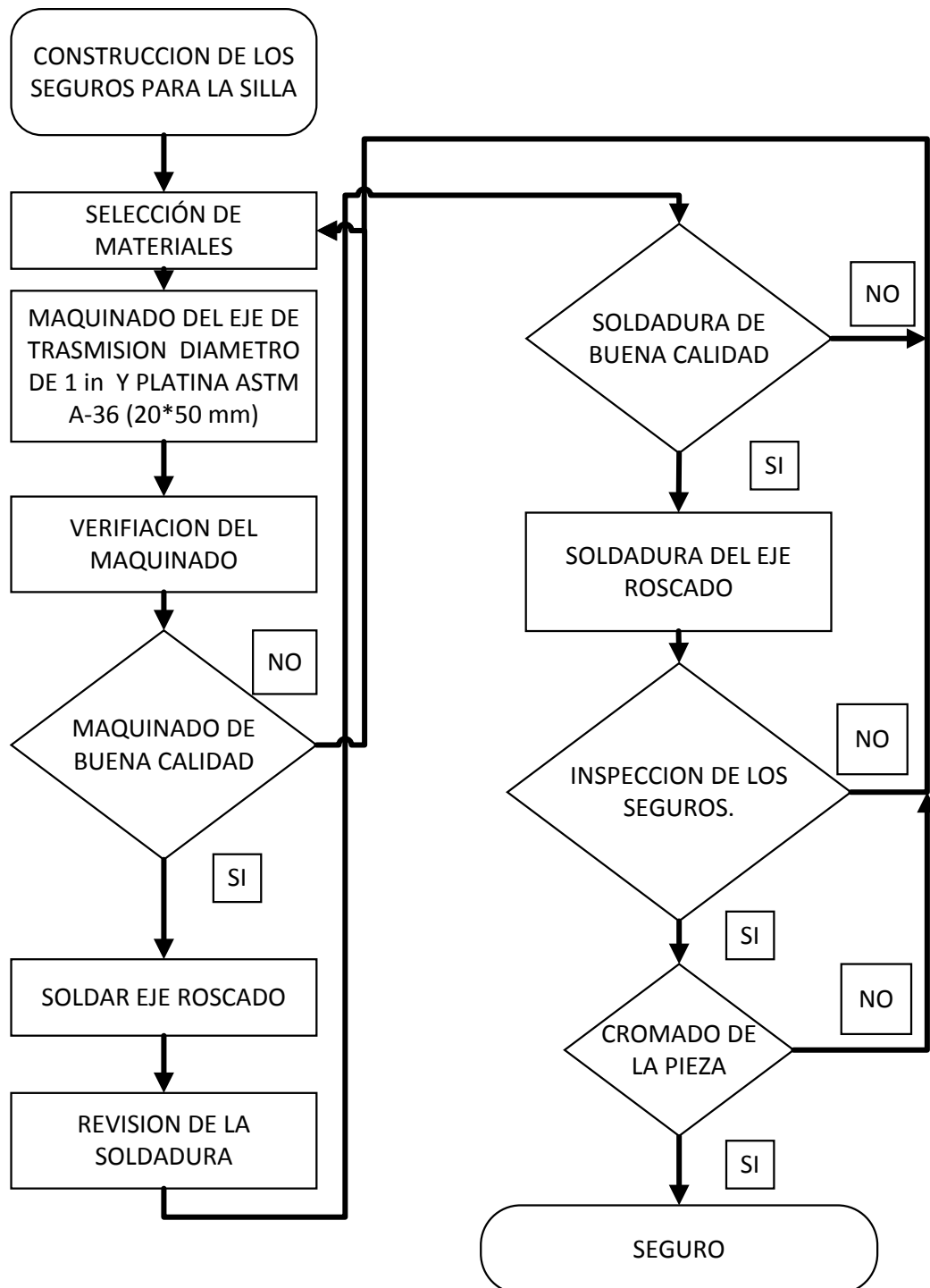


### 5.4.3. DIAGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DEL EJE HORIZONTAL

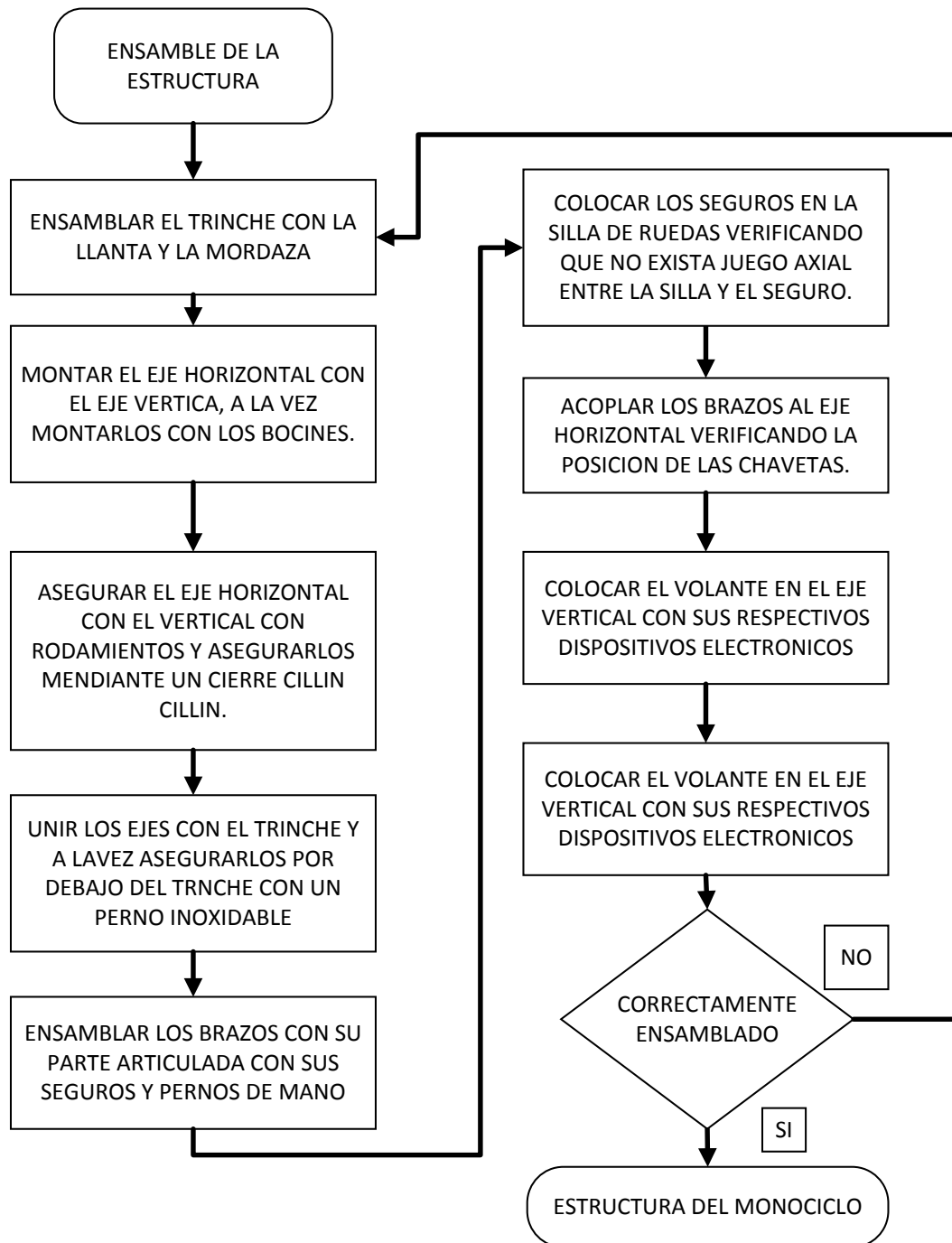




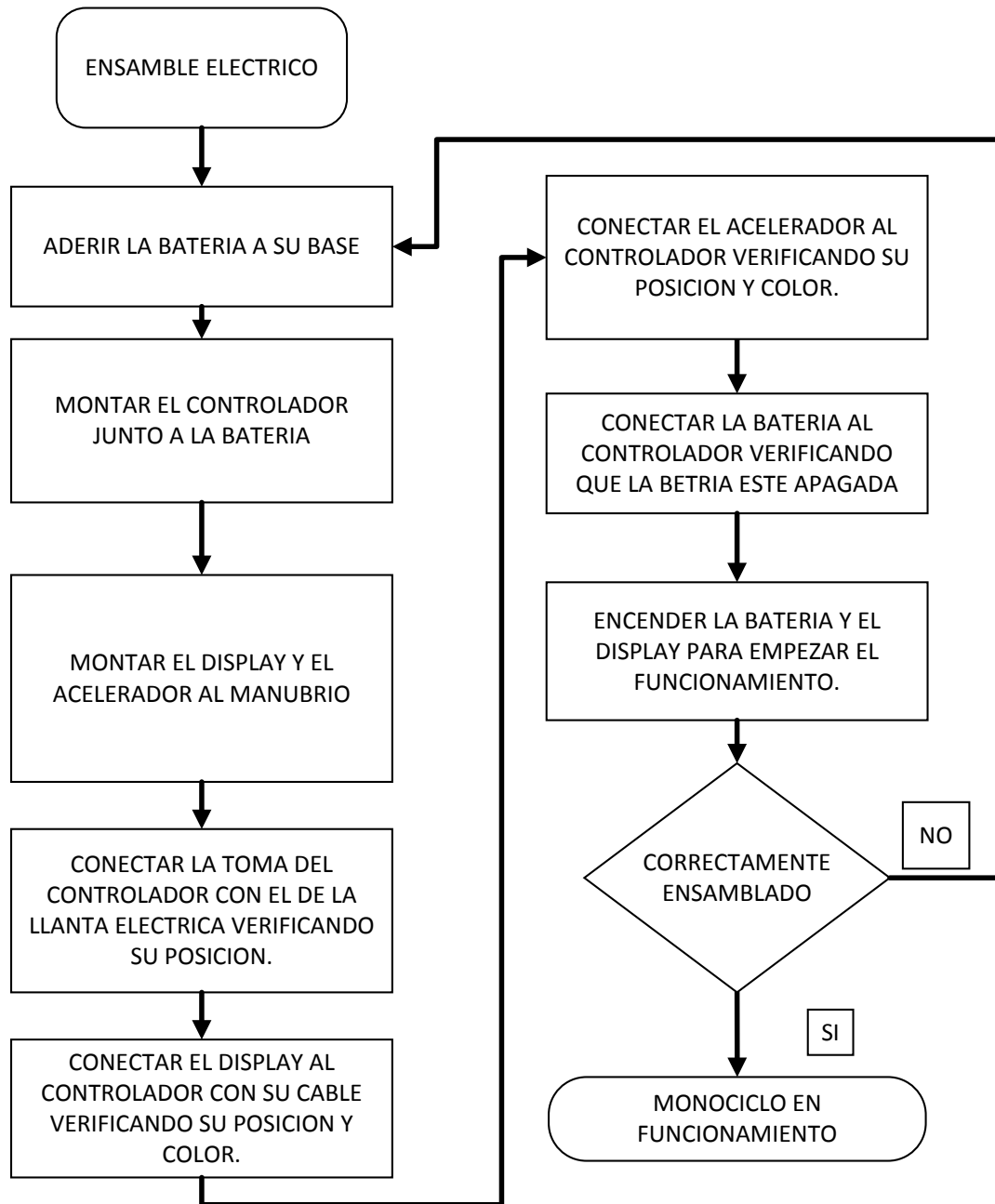
#### 5.4.4. DIAGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DEL SEGURO



### 5.4.5. ENSAMBLE ESTRUCTURAL DEL PROTOTIPO



#### 5.4.6. ENSAMBLE ELÉCTRICO DE LA MONOCICLETA



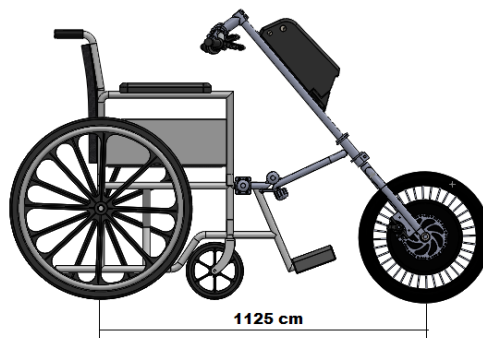
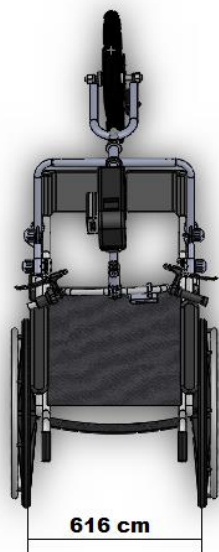
## 5.5. FICHA TÉCNICA DE LA MONOCICLETA ELÉCTRICA

La ficha técnica resume el funcionamiento y otras características del monocylo de una de manera detallada, como sus especificaciones técnicas, el cual es importante para garantizar la satisfacción del consumidor con el suficiente detalle para ser utilizado

### FICHA TÉCNICA



|                        |                |
|------------------------|----------------|
| Tipo                   | Eléctrico      |
| Potencia               | 1500 W         |
| Velocidad máxima       | 44,3 Km/h      |
| Voltaje de trabajo     | 48 V           |
| Amperaje de trabajo    | 12Ah           |
| Cargador de batería    | 48 V Ion litio |
| <b>ESTRUCTURA</b>      |                |
| Tubo                   | ASTM A-500     |
| Platina                | ASTM A-36      |
| Freno delantero        | Disco          |
| Neumático              | 14 in          |
| <b>DATOS GENERALES</b> |                |
| Distancia al piso      | 400 cm         |
| Ancho de vía           | 616 cm         |
| Distancia entre ejes   | 1125 cm        |
| Masa- peso             | 15 Kg          |



## 5.6. DIAGRAMAS DE PROCESOS DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS

| Diagrama de Flujo de Proceso de Ensamble Estructural   |  |             |               |                    |
|--|--|-------------|---------------|--------------------|
| Actividad: Ensamble de la Estructura   | ACTIVIDAD                                    | ACTUAL      | P             | AHOR               |
|  | D  | UAL         | RO            | OR                 |
|  | Operación                                    | 0           | 65            |                    |
| Fecha: Enero 2017  | Transporte                                   | 0           | 0             |                    |
| OPERADOR: Cunalata, Manosalvas   | ANALISTA: Cunalata Paulo, Manosalvas Marcelo | Inspección  | 0             | 30                 |
| Método: Actual   | Presupuesto: SI                              | Retraso     | 0             | 0                  |
| Tipo: Técnico  | Material: ASTM A-36                          | Almacenaje  | 0             | 20                 |
| Comentario: Una vez seleccionado los distintos elementos de acuerdo a los cálculos realizados, se procede a ensamblar las piezas guardando un orden para procurar realizar un trabajo eficiente. | TIEMPO                                       | 0           | 70            |                    |
|  | DISTANCIAS                                   | 0           | 8             |                    |
|  | COSTOS                                       | 0           | 70            |                    |
| DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD  | SÍMBOLO                                      |             |               |                    |
|  |  | TIEM. (min) | DISTAN. (met) | MÉTODO RECOMENDADO |
| Ensamble del trinche con la llanta y mordaza   | ● → ■ □ ▽                                    | 15          | 1             |                    |
| Montar el eje horizontal con el eje vertical a la vez montarlos con los bocines  |  | 10          | 1             |                    |
| Asegurar el eje horizontal con el vertical con rodamientos y asegurarlos con el cierre sillín  | ● → ■ □ ▽                                    | 5           | 1             |                    |
| Unir los ejes con el trinche con un perno inoxidable   | ● → ■ □ ▽                                    | 5           | 1             |                    |
| Ensamblar los brazos con su parte articulada con sus seguros y pernos de mano  | ● → ■ □ ▽                                    | 10          | 1             |                    |
| Colocar los seguros en la silla verificando su ajuste  |  | 15          | 1             |                    |
| Acoplar los brazos al eje horizontal verificando la posición de las chavetas   |  | 5           | 1             |                    |
| Colocar el volante en el eje vertical con sus respectivos dispositivos electrónicos.   |  | 5           | 1             |                    |

## 5.7. DIAGRAMAS DE PROCESOS DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS

Diagrama de Flujo de Proceso de Ensamble Eléctrico

| Actividad: Ensamble del Kit Eléctrico   |  | ACTIVIDAD  | ACTUAL | POR | AHOR |
|---|--|------------|--------|-----|------|
|   |  | Operación  | 0      | 65  |      |
| Fecha: Enero 2017   |  | Transporte | 0      | 0   |      |
| OPERADOR: Cunalata, Manosalvas  | ANALISTA: Cunalata Paulo, Manosalvas Marcelo | Inspección | 0      | 30  |      |
| Método: Actual  | Presupuesto: SI                              | Retraso    | 0      | 0   |      |
| Tipo: Técnico   | Material:                                    | Almacenaje | 0      | 20  |      |
| Comentario: Con los cálculos eléctricos realizados se procede a ensamblar el kit a la estructura. |  | TIEMPO     | 0      | 70  |      |
|   |  | DISTANCIAS | 0      | 8   |      |
|   |  | COSTOS     | 0      | 40  |      |

| DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD  | SÍMBOLO | TIEM. (min) | DISTAN. (met) | MÉTODO RECOMENDADO |
|--|---------|-------------|---------------|--------------------|
|  |         |             |               | O                  |
| Adherir la batería a su base en el eje horizontal                                      |         | 10          | 1             |                    |
| Montar el controlado junto a la batería  |         | 8           | 1             |                    |
| Montar y ajustar el Display y el acelerador al manubrio                                |         | 10          | 1             |                    |
| Conectar la toma del controlador con el de la llanta eléctrica verificando su posición |         | 5           | 1             |                    |
| Conectar el Display al controlador con su cable verificando su posición y color.       |         | 5           | 1             |                    |
| Conectar el acelerador al controlador verificando su posición y color.                 |         | 5           | 1             |                    |
| Conectar la batería al controlador verificando que la batería este apagada             |         | 5           | 1             |                    |
| Encender la batería y el display para empezar el funcionamiento                        |         | 5           | 1             |                    |

## CAPÍTULO VI

### 6. PRUEBAS

En este capítulo se presenta un análisis general del monociclo de mando eléctrico donde se muestra los resultados conseguidos de las pruebas de funcionamiento. Para desarrollar las pruebas correspondientes se realizó con los datos presentados en la tabla 39 en el sector de la cocha.

**Tabla 39**

Datos para las pruebas de manejo

| Datos                 | Cantidad           |
|-----------------------|--------------------|
| <b>Conductor</b>      | 70 kg              |
| <b>Batería</b>        | 12 A (Plena Carga) |
| <b>Consumo Máximo</b> | 12 Ah              |

En las pruebas se consideraron tres puntos los cuales son la aceleración en baja, media y plena carga. Esto quiere decir el porcentaje de aceleración que se aplicó en el acelerador

**Tabla 40**

Porcentajes de aceleración

| Carga        | Porcentaje de Aceleración |
|--------------|---------------------------|
|              | %                         |
| <b>Baja</b>  | 10                        |
|              | 20                        |
|              | 30                        |
| <b>Media</b> | 40                        |
|              | 50                        |
|              | 60                        |
| <b>Plena</b> | 70                        |
|              | 80                        |
|              | 90                        |
|              | 100                       |



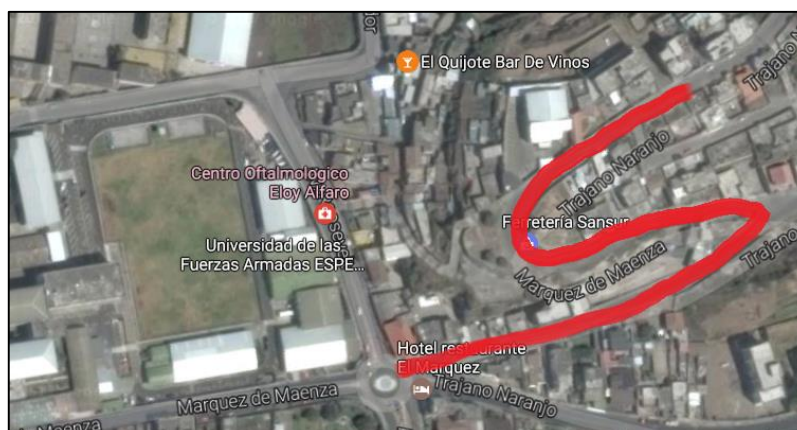
## 6.1. CIRCUITO DE PRUEBAS

En la ilustración 39 se puede apreciar cual es el circuito de pruebas para las pruebas en superficies planas, este circuito tiene varias superficies como es asfalto y empedrado, de esta manera su comprobó la seguridad de la monocicleta en todos los seguros y uniones de la misma.



**Ilustración 39** Ruta de Prueba

En la ilustración 40 se observa el circuito seleccionado para realizar las pruebas en pendiente



**Ilustración 40** Ruta para Pruebas en Pendientes

## 6.2. PRUEBAS DE VELOCIDAD

Para la realización de las pruebas de velocidad se toma en cuenta los datos ponderados por los diseñadores, de esta forma se cronometra la velocidad con la que el monociclo eléctrico recorría una distancia de 100m se accionó el acelerador a media carga dando así los siguientes resultados

$$V = \frac{d}{t} \quad \text{Ec. 4. 1}$$

V= Velocidad alcanzada

d= Distancia recorrida 100m

t= Tiempo empleado para recorrer 100 m

$$V = \frac{100 \text{ m}}{28,3 \text{ s}}$$

$$V = 6,46 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V = 25,67 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

La velocidad que se obtuvo es similar a la velocidad teórica calculada de 25.67 Km/h, marcando una diferencia de 0,67 Km/h

## 6.3. PRUEBAS DE ACELERACIÓN

Se determinó la aceleración obtenida en las pruebas de recorrido con la siguiente formula

$$a = \frac{V_f - V_o}{t_f - t_o} \quad \text{Ec. 4. 2}$$

a = Aceleración Obtenida

V<sub>f</sub> = Velocidad Final

V<sub>o</sub>= Velocidad Inicial

t<sub>f</sub>= Tiempo Final

t<sub>o</sub>= Tiempo Inicial

$$a = \frac{5,46 \frac{m}{s} - 0 \frac{m}{s}}{18,3 s - 0 s}$$

$$a = 0,298 \frac{m}{s^2}$$

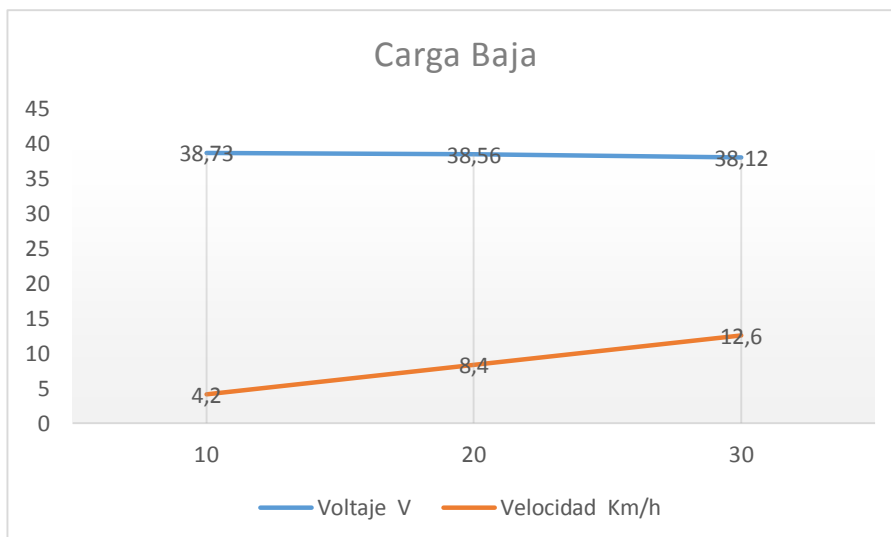
Las pruebas realizadas determinaron que la aceleración máxima del monociclo es de 0,298 m/s<sup>2</sup>

#### 6.4. PRUEBAS EN SUPERFICIES PLANAS

En las tabla 41 se presentan a continuación indica los datos obtenidos de las pruebas en recta de baja, media y plena carga respectivamente, en cada una de ellas se observa el voltaje de las baterías y el amperaje consumido por el motor de acuerdo a la posición del acelerador.

**Tabla 41**  
Aceleración en carga baja

| <b>Porcentaje de Aceleración %</b> | <b>Voltaje V</b> | <b>Velocidad Km/h</b> |
|------------------------------------|------------------|-----------------------|
| <b>10</b>                          | 38,73            | 4,2                   |
| <b>20</b>                          | 38,56            | 8,4                   |
| <b>30</b>                          | 38,12            | 12,6                  |

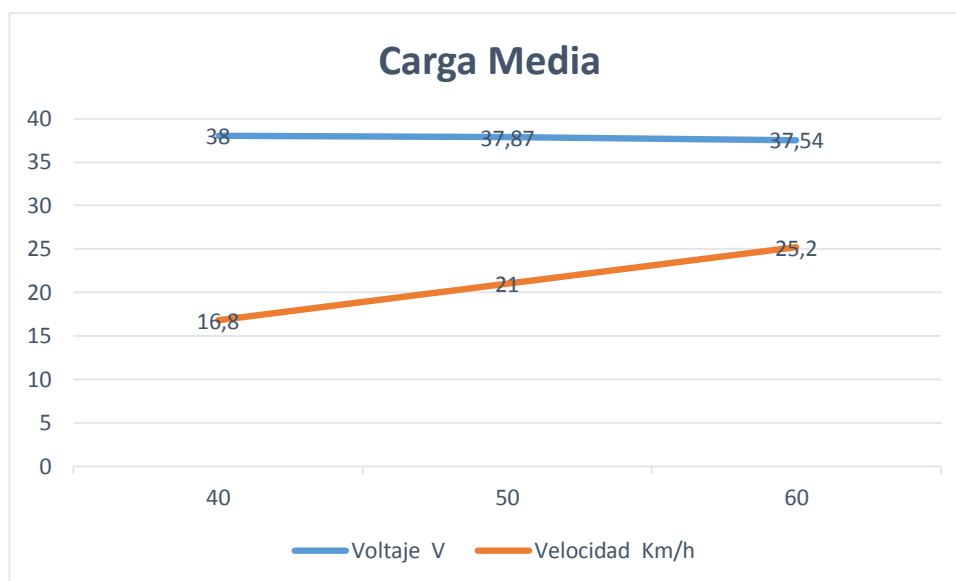


**Ilustración 41** Gráfica de Aceleración en Carga Baja

La grafica de la ilustración 41 muestra que mientras los valores de velocidad van aumentando, el voltaje en carga baja se mantiene casi constante

**Tabla 42**  
Aceleración en carga media

| Porcentaje de Aceleración % | Voltaje V | Velocidad Km/h |
|-----------------------------|-----------|----------------|
| 40                          | 38        | 16,8           |
| 50                          | 37,87     | 21             |
| 60                          | 37,54     | 25,2           |

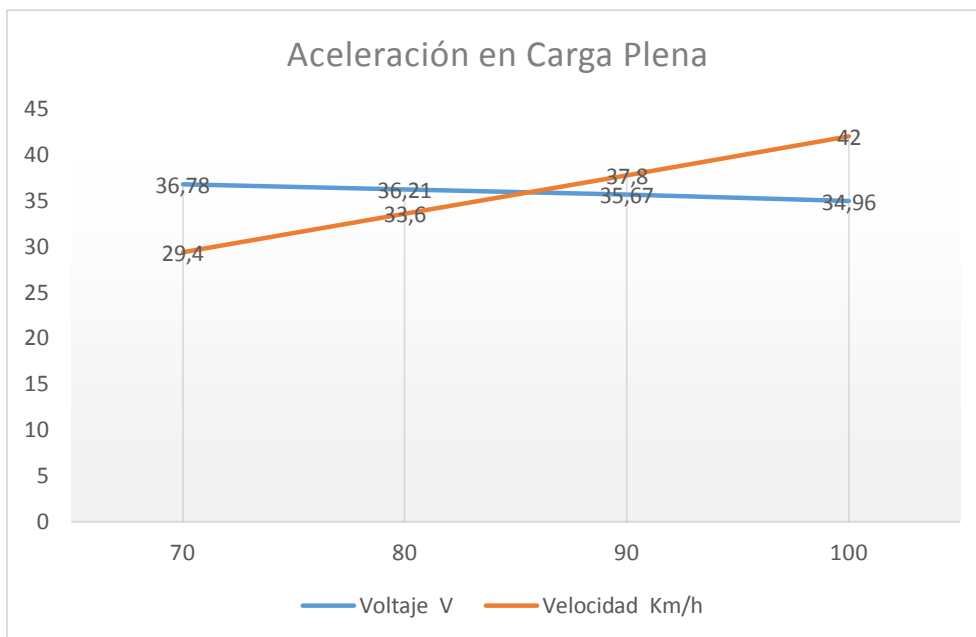


**Ilustración 42** Gráfica de Aceleración en Carga Media

La grafica de la ilustración 42 muestra que mientras los valores de velocidad van aumentando el voltaje en carga media va disminuyendo de una forma no tan abrupta

**Tabla 43**  
Aceleración en carga plena

| Porcentaje de Aceleración % | Voltaje V | Velocidad Km/h |
|-----------------------------|-----------|----------------|
| 70                          | 36,78     | 29,4           |
| 80                          | 36,21     | 33,6           |
| 90                          | 35,67     | 37,8           |
| 100                         | 34,96     | 42             |



**Ilustración 43** Gráfica de Aceleración en Carga Plena

La grafica de la ilustración 43 muestra que mientras los valores de velocidad van aumentando el voltaje en carga plena van disminuyendo de una forma considerable, esto quiere decir que entre más requerimiento de velocidad necesite nuestro monociclo la batería se va a ir descargando más rápido

## 6.5. PRUEBAS EN SUPERFICIES INCLINADAS

Las pruebas se las realizo en una superficie de 50m con un porcentaje de inclinación de 6%, las cuales se hace referencia a la Norma NTE INEN 2245, de esta manera se cubrirán todas las circunstancias posibles. Las pruebas realizadas se realizaron solo una vez en cada tipo de carga como indica la tabla 44.

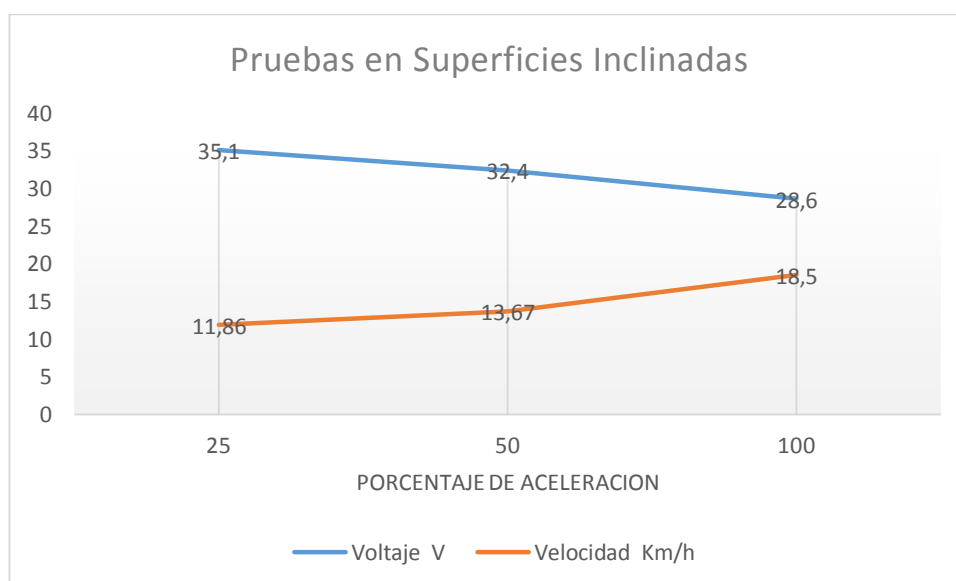
**Tabla 44**  
Cargas en superficies inclinadas

| CARGAS | PORCENTAJE DE ACCELERACIÓN % |
|--------|------------------------------|
| Baja   | 25                           |
| Media  | 50                           |
| Plena  | 100                          |

Una vez realizadas las pruebas de las diferentes cargas como se muestra en la tabla 45 se obtuvieron los siguientes datos

**Tabla 45**  
Pruebas en superficies inclinadas

| Porcentaje de Aceleración % | Voltaje V | Velocidad Km/h |
|-----------------------------|-----------|----------------|
| 25                          | 35,1      | 11,86          |
| 50                          | 32,4      | 13,67          |
| 100                         | 28,6      | 18,5           |



**Ilustración 44** Gráfico de Pruebas en Superficies Inclinadas

La gráfica de la ilustración 44 muestra el comportamiento del voltaje en las diferentes condiciones planteadas de carga, dando a conocer que el voltaje va disminuyendo de una forma gradual, en cambio la velocidad tiene una aceleración abrupta desde que se acelera desde media carga hasta lo que se puede acelerar en su totalidad

## 6.6. PRUEBA DE AUTONOMÍA

Para la prueba de autonomía del monociclo la batería estuvo cargada al 100% llegando de esta manera a recorrer 3 vueltas a una velocidad de 20 Km/h es decir que el monociclo recorrió aproximadamente 14 Kilómetros, cumpliendo así con el cálculo teórico establecido.

La autonomía dependerá de las condiciones de manejo del conductor, como de su peso, las condiciones de la pista, de su grado de pendiente será un factor importante a tomar en cuenta, ya que el monociclo es enfocado directamente para zonas urbanas, centros históricos, donde que exista una pista asfaltada.

## 6.7. PRUEBAS DE SEGURIDAD

La persona sentada en la silla de ruedas, sin ayuda de otra persona, acopló el monociclo a la silla ajustando todos los seguros como se muestra en la ilustración 45



**Ilustración 45** Prueba de Seguridad de Elementos



Durante el recorrido todos los elementos se mantuvieron asegurados manteniendo a la persona cómodamente en la silla. Se tomó en cuenta una distancia de 30 metros, en el recorrido no hubo inconveniente alguno como se muestra en la ilustración 46



**Ilustración 46** Prueba de Seguridad en recorrido

#### 6.7.1. TIEMPO DE ACOPLA.

Se consideró los tiempos en que dos personas en condiciones normales, sin discapacidad, acoplaron y desacoplaron el moniciclo comparando los tiempos con una persona con discapacidad en sus extremidades inferiores, los datos obtenidos se reflejan en las tablas 46 en baja carga y 47 en carga media

**Tabla 46**

Tiempos de acople y desacople persona discapacitada

| Tiempo Condiciones   | Tiempo de acople | Tiempo de desacople | Total |
|----------------------|------------------|---------------------|-------|
| Prueba 1 Baja Carga  | 53               | 53                  | 106   |
| Prueba 2 Media Carga | 49               | 35                  | 84    |
| <b>Total</b>         | 102              | 88                  | 190   |

**Tabla 47**

Tiempos de acople y desacople personas sin discapacidad

| <b>Tiempo<br/>Condiciones</b> | <b>Tiempo de<br/>acople</b> | <b>Tiempo de<br/>desacople</b> | <b>Total</b> |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------|
| <b>Persona 1</b>              | 43                          | 57                             | 100          |
| <b>Persona 2</b>              | 49                          | 17                             | 66           |
| <b>Total</b>                  | 92                          | 74                             | 166          |

## 6.8. MÉTODO DEL CHI CUADRADO

### Hipótesis.

Implementación de una monocicleta de mando eléctrico para la movilización autónoma de personas parapléjicas

### Hipótesis nula.

No se puede implementar una monocicleta de mando eléctrico para la movilización autónoma de personas parapléjicas

### Variable dependiente

Movilización autónoma de personas parapléjicas

Monocicleta de mando eléctrico

### CONDICIONES

El moniciclo debe cumplir una velocidad de 15 km/h y una carga de 36 V, además de no sobre pasar los 100 segundos en desacople y acople, los datos se reflejan en la tabla 48.

**Tabla 48**Datos de las pruebas para el chi<sup>2</sup>

| <b>Prueba</b> | <b>Cumple</b> | <b>Velocidad</b> | <b>Voltaje</b> | <b>Tiempo de<br/>acople</b> | <b>Total</b> |
|---------------|---------------|------------------|----------------|-----------------------------|--------------|
| <b>Baja</b>   | 0             | 3                | 3              | 0                           | 3            |
| <b>Media</b>  | 3             | 3                | 3              | 1                           | 7            |
| <b>Total</b>  | 3             | 3                | 6              | 1                           | 10           |

**GRADO DE LIBERTAD**

Para el grado de libertad se tomaron los valores de la tabla 48 que tiene 2 filas y 3 columnas.

$$GL = (C-1)(F-1)$$

$$GL = (3-1)(2-1) = 2$$

El grado de libertad asumiendo es del 10% debido a que las pruebas fueron tomadas con divisiones en el acelerador y un cronometro manual.

**GRADO DE CONFIANZA = 10%****Tabla 49**

Tabla de contingencia

| <b>Alternativas</b>                          | <b>Fo</b> | <b>Fe</b> | <b>Fo-Fe</b> | <b>(Fo-Fe)<sup>2</sup></b> | <b>(Fo-Fe)<sup>2</sup>/Fe</b> |
|--|-----------|-----------|--------------|----------------------------|-------------------------------|
| <b>Prueba a baja carga cumple velocidad</b>  | 0         | 0.9       | -0.9         | 0.81                       | 1.2                           |
| <b>Prueba a baja carga cumple voltaje</b>    | 3         | 1.8       | 1.2          | 1.44                       | 0.9                           |
| <b>Prueba a baja carga cumple tiempo</b>     | 0         | 0.3       | -0.3         | 0.1                        | 0.7                           |
| <b>Prueba a media carga cumple velocidad</b> | 3         | 2.1       | 0.8          | 0.64                       | 0.8                           |
| <b>Prueba a media carga cumple voltaje</b>   | 3         | 4.2       | 0.8          | 0.64                       | 0.6                           |
| <b>Prueba a media carga cumple tiempo</b>    | 1         | 0.7       | -0.3         | 0.1                        | 0.7                           |
| <b>Total</b>                                 |           |           |              |                            | <b>4.9</b>                    |

## **CHI CUADRADO TABLA**

En la tabla de distribución CHI CUADRADO considerando el valor del grado de libertad (2) y el grado de confianza (0.1), se toma se toma en valor:

$$X^2_t=4,6052$$

## **COMPARACIÓN DE TABLA CHI CUADRADO**

$$X^2_c=4,9 > X^2_t=4.6052$$

De acuerdo al resultado obtenido del chi cuadrado de la tabla 49 se acepta la hipótesis de la implementación de una monocicleta de mando eléctrico para la movilización autónoma de personas parapléjicas debido a que el chi cuadrado calculado de las pruebas realizadas es mayor al chi cuadrado de tabla y se descarta la hipótesis nula.

## CAPITULO VII

### 7. COSTOS

En el este capítulo se realiza un análisis de los costos que se incurrió para la construcción del prototipo.

Los costos están divididos en las siguientes condiciones.

- Materiales.
- Elementos eléctricos.
- Elementos mecánicos.
- Elementos mecánicos para maniobrabilidad
- Costos de diseño.
- Costos de mano de obra.
- Costo del proyecto.

#### 7.1. MATERIALES

**Tabla 50**  
Materiales

| Material   | Proveedor | Costo unitario (USD.) | Cantidad     | Total     |
|--|-----------|-----------------------|--------------|-----------|
| <b>Tubo redondo (25,4*2)mm ASTM A-500 grado B (6 metros)</b> | Novacero  | 10                    | 1            | 10        |
| <b>Chaveta de 1/4 in (200 mm)</b>                            |           | 1                     | 5            | 5         |
| <b>Tubo redondo (21,4*2)mm ASTM A-500 grado B (6 metros)</b> | Novacero  | 10                    | 2            | 10        |
| <b>Nailon (50,8*250)mm</b>                                   | Pro-metal | 15                    | 1            | 15        |
| <b>Lamina de tungsteno</b>                                   | Pro-metal | 6                     | 2            | 12        |
| <b>Eje de Acero ASTM A-36 (32*150)mm</b>                     |           | 18                    | 1            | 18        |
| <b>Platina de acero ASTM A-36 (25,4*500)mm</b>               | Pro-metal | 12                    | 1            | 12        |
| <b>Platina de acero ASTM A-36 (60*150)mm</b>                 | Pro-metal | 10                    | 1            | 10        |
|  |           |                       | <b>Total</b> | <b>92</b> |

## 7.2. ELEMENTOS ELÉCTRICOS.

**Tabla 51**

Elementos eléctricos

| Elemento<br>Eléctrico          | Proveedor                         | Costo<br>unitario<br>(USD.) | Cantidad | Total |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------|-------|
| <b>kit MOTOR<br/>BRUSHLESS</b> | Ciclotekstore                     | 550                         | 1        | 550   |
| <b>Batería</b>                 | SAMSUNG Ion – Litio<br>48 V 12 Ah | 550                         | 1        | 550   |
| <b>Total</b>                   |                                   |                             |          | 1100  |

## 7.3. ELEMENTOS MECÁNICOS.

**Tabla 52**

Elementos mecánicos

| Material  | Proveedor | Costo<br>unitario<br>(USD.) | Cantidad | Total |
|---|-----------|-----------------------------|----------|-------|
| <b>Broca HSS DIN 9</b>                          | Mecatec   | 1                           | 5        | 5     |
| <b>Broca HSS DIN 10</b>                         | Mecatec   | 1                           | 6        | 6     |
| <b>Broca HSS DIN 15</b>                         | Mecatec   | 1                           | 8        | 8     |
| <b>Perno de acero DIN<br/>13*2,5 in SAE 8.0</b> | Mecatec   | 2                           | 1        | 2     |
| <b>Perno de acero DIN<br/>10*2,5 in SAE 8.0</b> | Mecatec   | 14                          | 0,5      | 7     |
| <b>Tuerca de acero DIN<br/>10 SAE 8.0</b>       | Mecatec   | 12                          | 0,3      | 3,6   |
| <b>Tuerca de acero DIN<br/>13 SAE 8.0</b>       | Mecatec   | 2                           | 0,5      | 1     |
| <b>rodela de presión<br/>Acero SAE M10</b>      | Mecatec   | 12                          | 0,3      | 3,6   |
| <b>Rodela plana hierro<br/>SAE M10</b>          | Mecatec   | 1                           | 0,5      | 0,5   |
| <b>Total</b>                                    |           |                             |          | 36,7  |

#### 7.4. ELEMENTOS MECÁNICOS PARA MANIOBRABILIDAD

**Tabla 53**

Elementos mecánicos para maniobrabilidad

| Elementos mecánicos                | Proveedor | Costo unitario (USD.) | Cantidad     | Total      |
|------------------------------------|-----------|-----------------------|--------------|------------|
| <b>Disco de freno</b>              | SHIMANO   | 35                    | 1            | 35         |
| <b>Mordaza para disco de freno</b> | SHIMANO   | 30                    | 1            | 30         |
| <b>Cable para freno</b>            | SHIMANO   | 10                    | 1            | 10         |
| <b>Potencia</b>                    | SHIMANO   | 35                    | 1            | 35         |
| <b>Manubrios</b>                   | SHIMANO   | 25                    | 2            | 50         |
|                                    |           |                       | <b>Total</b> | <b>160</b> |

#### 7.5. COSTOS DE DISEÑO

**Tabla 54**

Costos de diseño

| Material                        | Costos      |
|---------------------------------|-------------|
| <b>Implementos para oficina</b> | 100         |
| <b>Impresiones</b>              | 90          |
| <b>Honorarios</b>               | 1100        |
| <b>Total</b>                    | <b>1290</b> |

## 7.6. COSTOS DE MANO DE OBRA.

**Tabla 55**

Costos de mano de obra

| Piezas                           | Trabajos  | Tiempo<br>(min) | Costo<br>(usd.) | Cantidad     | Total      |
|----------------------------------|---|-----------------|-----------------|--------------|------------|
| <b>Brazo en L</b>                | Cortar los tubos de (24,5 y 21,5)mm a 90 y 45 grados  | 10              | 8               | 2            | 16         |
| <b>Brazo en L</b>                | Doblado de los tubos a 90 grados y chaveteado         | 180             | 40              | 2            | 80         |
| <b>Eje horizontal y vertical</b> | Cortar tubos de (24,5 )mm                             | 15              | 12              | 2            | 24         |
| <b>Eje horizontal</b>            | Soldar chavetas                                       | 80              | 60              | 2            | 120        |
| <b>Eje central</b>               | Torneado del eje de transmisión ASTM A-36             | 100             | 50              | 1            | 50         |
| <b>Bocines para eje central</b>  | Torneado del eje de nailon                            | 120             | 5               | 6            | 30         |
| <b>Acoples para silla</b>        | Soldar platinas y tuercas                             | 100             | 70              | 2            | 140        |
| <b>Trinche</b>                   | Soldar tubos y platina                                | 120             | 50              | 1            | 50         |
| <b>Trinche</b>                   | Chaveteado y soldado                                  | 120             | 40              | 1            | 40         |
| <b>Seguros</b>                   | Tornear nailon y acople con perno de acero inoxidable | 120             | 20              | 2            | 40         |
|                                  |   |                 |                 | <b>Total</b> | <b>590</b> |



## 7.7. COSTO TOTAL DEL PROYECTO

**Tabla 56**

Costo total del proyecto

| Rubros  | Costos (USD)  |
|---|---------------|
| <b>Materiales</b>                                   | 92            |
| <b>Elementos mecánicos</b>                          | 36,7          |
| <b>Elementos eléctricos</b>                         | 1100          |
| <b>Elementos mecánicos<br/>para maniobrabilidad</b> | 160           |
| <b>Costos de diseño</b>                             | 1290          |
| <b>Costos de mano de obra</b>                       | 590           |
| <b>Total</b>  | <b>3268,7</b> |

## CAPÍTULO VIII

### 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1. CONCLUSIONES

- Se debería optar la utilización de estos equipos porque brindan exigencias como el confort, seguridad, fácil manejo e instalación sencilla; a la vez el prototipo es libre de emisiones de CO<sub>2</sub> las cuales contribuyen con el medio ambiente.
- El sistema eléctrico está constituido de un motor brushless con una potencia de 1000 W y una batería de ION LITIO de 48 V y 12 Ah de acuerdo a un peso máximo de 125 Kg (vehículo y persona).
- La pendiente máxima que puede subir el monociclo es de 8% de inclinación en calzadas de asfalto, adoquín y cemento.
- Con las pruebas realizadas se determinó que a plena carga de la batería es capaz de recorrer 28 Km en 90 minutos en diferentes calzadas a una velocidad promedio de 25 km/h con una persona discapacitada de 96kg.
- La seguridad del Monociclo eléctrico tiene un factor de seguridad de 2.89, logrando así superar el factor establecido en el diseño el cual es de 2. De esta manera se garantiza la seguridad del pasajero, en este caso una persona discapacitada
- Con la ayuda del software CAE, se realizó los análisis estáticos y dinámicos a cada una de las piezas, demostrando que el eje horizontal es quien sufre más deformación con el 0,026mm el cual brinda una garantía al momento de la construcción.
- El monociclo cumple con los parámetros de diseño dinámicos y estáticos para una persona parapléjica, dándonos como resultado implementar un sistema eléctrico de propulsión con un motor eléctrico de 1000 W de potencia efectiva el cual alcanzara una velocidad máxima de 40 km/h con un voltaje de 39 voltios y 12 Ah para su funcionamiento.

- El prototipo alcanza su velocidad máxima de 40 km/h en 18.3 segundos en los cuales recorre 500 metros, la cual es igual a la velocidad teórica de 40 km/h, manteniendo la seguridad de la persona con capacidades reducidas.

## 8.2. RECOMENDACIONES

- Para el funcionamiento óptimo del monociclo de mando eléctrico, la batería de Ion litio deberá estar totalmente cargada, se deberá verificar el rango de carga de 12 A de carga para poder alargar la vida útil de la batería.
- Se deberá hacer un buen ajuste de los elementos móviles que están en los acoples y el sistema de elevación para evitar posibles accidentes.
- Revisar el sistema de frenos, la tensión en el cable, el manubrio se debe accionar de una manera suave, la pastilla de freno y el disco tiene que tener toda su superficie libre de impurezas o grasas que limiten su capacidad de frenado
- Revisar el sistema de dirección, una vez seleccionada la altura del manubrio debe asegurarse el perno de seguro, el manubrio tiene que tener la protección de goma para las manos y esta no debe chocar con los brazos de la silla de ruedas
- Revisar las conexiones eléctricas de tal forma que cuando el monociclo se encuentre en movimiento estas no se desconecten y en caso de lluvia no ingrese agua en las conexiones y de esta forma evitar posibles accidentes
- Se recomienda una tolerancia IT 15 para los ejes de los brazos de esta manera una vez cromado se dejara un ajuste de 24.5k15 que es un ajuste medio

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abatta Jacome, & Moya Llano. (2013). Diseño, Adaptación Y Conversión De Una Motocicleta De 100 C.C. A Gasolina en Eléctrica. En L. R. Abatta Jácome, *Diseño, Adaptación Y Conversión De Una Motocicleta De 100 C.C. A Gasolina en Eléctrica*. Sangolqui. Recuperado el 05 de 07 de 2016, de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6886>
- Alibaba.com. (09 de 2013). Recuperado el 23 de 08 de 2016, Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/jb-9q-china-hot-selling-bicycle-conversion-kit-60310361679.html>
- Bastidas Arroyo , C., & Cabrera Diaz , D. (2014). *Conversión de una moto de combustión interna a eléctrica con alimentación de energía solar y con carga de energía eléctrica*. Latacunga. Recuperado el 23 de 08 de 2016, Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8803/1/T-ESPEL-MAI-0468.pdf>.
- Becerril Sandoval, J. A. (2014). *Diseño de etapa de potencia y control para un motor brushless de CD con frenado regenerativo aplicado a una moto deportiva eléctrica*. México, D.F. Recuperado el 25 de 11 de 2016, Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3489/Tesis.pdf?sequence=1>
- Ceña, A., & Santamarta, J. (2009). El coche eléctrico: el futuro del transporte, la energía y el medio ambiente. En A. & Ceña, *El coche eléctrico: el futuro del transporte, la energía y el medio ambiente*. (págs. 42-43).
- Ciclotekstore. (8 de 5 de 2014). *ciclotekstore.com*. Recuperado el 26 de 08 de 2016, Obtenido de [ciclotekstore.com](http://www.ciclotekstore.com/b2c/productos/1/1/1206048/motores-especiales-hub-brushless/):
- <http://www.ciclotekstore.com/b2c/productos/1/1/1206048/motores-especiales-hub-brushless/>
- Como los Sapos Ciegos*. (9 de 7 de 2015). Recuperado el 23 de 1 de 2016, Obtenido de [www.comolosaposciegos.blogspot.com](http://www.comolosaposciegos.blogspot.com)
- Copyright Endesa S.A.* (08 de 2013). Recuperado el 16 de 06 de 2016, Obtenido de Copyright Endesa S.A.:

- <http://www.endesavehiculoelectrico.com/vehiculo-electrico/el-vehiculo/tipos>
- eBike, P. (14 de 8 de 2013). *Kit de Motor Bicicleta Eléctrica- Potencia E- Bici*. Recuperado el 26 de 2 de 2016, Obtenido de <http://www.power-e-bike.fr/blog/es/bater%C3%ADa-de-la-bici-Eletric/>
- ecuadorencifras.gob.ec.* (2015). Recuperado el 25 de 03 de 2016, Obtenido de *ecuadorencifras.gob.ec*: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Enriquez, G. (2013). *muchotrasto.com*. Recuperado el 26 de 06 de 2016, Obtenido de *muchotrasto.com*: <http://www.muchotrasto.com/TiposDePlataformas.php>
- Evans, J. (2008). *Administración y Control de la Calidad*. México D.F.: Cengage Learning.
- Fernández, P., & Efrén, E. (05 de 2012). *Tesis de Pregrado sobre el chasis de una motocicleta Yamaha TTR125*. Recuperado el 23 de 08 de 2016, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2915>
- Flores, M. G. (s.f.). *Modelado y Simulación de un Triciclo Articulado en SolidWorks*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- García, C. (09 de 12 de 2012). *zonagravedad.com*. Recuperado el 23 de 08 de 2016, Obtenido de *zonagravedad.com*: <http://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=print&sid=750>
- Guías Prácticas.COM.* (06 de 2013). Recuperado el 23 de 08 de 2016, Obtenido de *Guías Prácticas.COM*: <http://www.guiaspracticas.com/coches-electricos/scooters-electricos-para-discapitados>
- Keeping, S. (27 de 03 de 2013). *digikey.com*. Recuperado el 05 de 07 de 2016, Obtenido de *digikey.com*: <http://www.digikey.com/es/articles/techzone/2013/mar/an-introduction-to-brushless-dc-motor-control>
- Kindler, H. (1986). *Coeficiente dinamico entre caucho y asfalto*. Bogota: REBERTÉ S.A. Recuperado el 19 de 04 de 2016
- laciudadana.gob.ec.* (2015). Recuperado el 05 de 04 de 2016, Obtenido de *laciudadana.gob.ec*:

<http://www.laciudadana.gob.ec/index.php/component/k2/itemlist/tag/Entrevista.html?start=440>

Larminie, J. (2003). *Electric Vehicle Technology*. USA: The Atrium, Southern Gate. Recuperado el 23 de 04 de 2016

Larminie, J. (2003). *Electric Vehicle TEchnology Explained*. Oxford: Jhon Wiley y Sons, Ltd.

Martín Pérez, A. (2010). *Baterías para vehículos eléctricos*. Madrid España: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.

Medical, S. (12 de 01 de 2016). *sunrisemedical.es*. Recuperado el 25 de 08 de 2016, Obtenido de sunrisemedical.es:  
<http://www.sunrisemedical.es/sillas-de-ruedas/quickie/handbikes-para-sillas-de-ruedas/attitude-hibrida>

Meganeboy, D. (09 de 2014). *Aficionados a la mecanica*. Recuperado el 25 de 08 de 2016, de Aficionados a la mecanica:  
<http://www.aficionadosalamecanica.net/instrumentoscuadro.htm>

Milleken, W. (2003). *Race Car Vehicle Dynamics*. En W. F. Milleken, *Milleken, William F* (pág. 830). Recuperado el 22 de 06 de 201

*Ministerio de Obras Publicas*. (1 de 12 de 2013). Obtenido de [obraspublicas.gob.ec](http://obraspublicas.gob.ec).

*monroe.com.ve*. (2015). Recuperado el 14 de 07 de 2016, de [monroe.com.ve](http://monroe.com.ve):  
[http://www.monroe.com.ve/service\\_details.php?id=11](http://www.monroe.com.ve/service_details.php?id=11).

Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México, D. F.: Prentince-Hall. Recuperado el 23 de 09 de 2016

*Mundo Abuelo*. (2008). Recuperado el 17 de 09 de 2016, Obtenido de <http://www.mundoabuelo.com/catalogue.php?idfamilia=128&breadcrumb=15,417,128>

Navarrete Chang, J. P., & Vega Trujillo, M. (06 de 2012). *Escuela Politécnica Nacional*. Recuperado el 23 de 08 de 2016, Obtenido de Escuela Politécnica Nacional: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/458>

Negocios, C. (15 de 10 de 2015). *crecenegocios.com*. Recuperado el 20 de 01 de 2017, Obtenido de [crecenegocios.com](http://www.crecenegocios.com):  
<http://www.crecenegocios.com/que-es-una-encuesta/>

- Norton, R. (12 de Julio de 2014). *Diseño de Maquinas. México, D.F.:* PRETINCE HALL. Recuperado el 25 de 09 de 2016.
- Ogata , K. (2003). *Ingeniería de Control Moderna.* México, D.F: PRENTICE-HALL. .
- Organizacion Mundial de la Salud.* (02 de 2016). Recuperado el 14 de 06 de 2016, Obtenido de Organizacion Mundial de la Salud: Asamblea Mundial de la Salud
- Photaki, S. (9 de 6 de 2014). *Static Photaki.* Recuperado el 12 de 10 de 2016, Obtenido de [www.static.photaki.com](http://www.static.photaki.com)
- Registradas, E. y. (26 de 04 de 2016).  
<http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/>. Recuperado el 23 de 10 de 2016, Obtenido de  
[https://public.tableau.com/vizql/w/Discapacidad/v/Inicio/viewData/sessions/D23FFA2D7DDC43E8B334C4CF1A3793C0-0:1/views/8678725885302495566\\_17893535752595067749?maxrows=200](https://public.tableau.com/vizql/w/Discapacidad/v/Inicio/viewData/sessions/D23FFA2D7DDC43E8B334C4CF1A3793C0-0:1/views/8678725885302495566_17893535752595067749?maxrows=200)
- RENOVAENERGÍA, S. A. (28 de 06 de 2015). *RENOVAENERGÍA, S. A.* Recuperado el 23 de 08 de 2016, Obtenido de RENOVAENERGÍA, S. A: [http://www.renovaenergia.com/productos\\_baterias/index.html](http://www.renovaenergia.com/productos_baterias/index.html).
- Sandoval, B. (12 de Julio de 2014). *Diseño de etapa de potencia y control para un motor brushless de CD con frenado regenerativo aplicado a una moto deportiva eléctrica.* Obtenido de Tesis de pregrado, México, D. F.: Obtenido de  
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3489/Tesis.pdf?sequence=1>
- Sandoval, V. (04 de 06 de 2013). *Conductores eléctrico.* Recuperado el 26 de 07 de 2016, de Conductores eléctrico:  
<http://victorefren1.blogspot.com/>
- Senescyt SNNA 2015 2016. (2008). Senescyt SNNA 2015 2016. Quito: Gobierno del Ecuador.
- Suarez, M. (2011). *Interaprendizaje de Estadística Básica,.* Ibarra, Ecuador. Recuperado el 11 de 07 de 2016
- SUNTAXI LLUMIQUINGA, C. (02 de 2014). [repositorio.espe.edu.ec/](http://repositorio.espe.edu.ec/). Recuperado el 12 de 06 de 2016, de [repositorio.espe.edu.ec/](http://repositorio.espe.edu.ec/):

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7738/1/AC-ESPEL-MAI-0452.pdf>

Tutillo Taipe, J. (08 de 2014). Recuperado el 23 de 08 de 2016, Obtenido de

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8862/1/T-ESPEL-MAI0473.pdf>

VARGAS SHIGUANGO, W. (2015). *repositorio.espe.edu.ec/*. Recuperado el

12 de 07 de 2016, Obtenido de [repositorio.espe.edu.ec/](http://repositorio.espe.edu.ec/):

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10602/1/T-ESPEL-MAI-0533.pdf>





**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: PAULO MISAEL CUNALATA CUNALATA Y MARCELO ALFONSO MANOSALVAS SALAZAR.

En la ciudad de Latacunga, a los 10 días del mes de Mayo del 2017.



---

Ing. Guido Torres  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

**Aprobado por:**



---

Ing. Danilo Zambrano  
**DIRECTOR DE CARRERA**



---

Dr. Freddy Jaramillo  
**SECRETARIO ACADÉMICO**