



**Diseño e implementación de un sistema de carga tipo rotor generador para incrementar  
la autonomía en una motocicleta eléctrica**

Changoluisa Tipán, Luis Felipe

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

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

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán

17 de Enero del 2023

Latacunga

## Document Information

Analyzed document	TESIS DOCUMENTO - CHANGOLLUISA LUIS ERAZO GERMAN.pdf (D156084032)
Submitted	1/16/2023 10:05:00 PM
Submitted by	Cristian Laverde
Submitter email	claverde@uteq.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	claverde.uteq@analysis.orkund.com



Firmado digitalmente por WASHINGTON GERMAN ERAZO LAVERDE

## Sources included in the report

<b>W</b>	URL: <a href="https://www.scielo.org/article/rsap/2018.v20n1/126-131/">https://www.scielo.org/article/rsap/2018.v20n1/126-131/</a> Fetched: 1/16/2023 10:05:00 PM		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.ecointeligencia.com/2015/06/vehiculo-electrico-renovables/">https://www.ecointeligencia.com/2015/06/vehiculo-electrico-renovables/</a> Fetched: 1/16/2023 10:05:00 PM		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-vehicular-que-es-tipos-causas-y-consecuencias-2130.html">https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-vehicular-que-es-tipos-causas-y-consecuencias-2130.html</a> Fetched: 1/16/2023 10:05:00 PM		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/asi-funcionan-diferentes-tecnologias-v...">https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/asi-funcionan-diferentes-tecnologias-v...</a> Fetched: 1/16/2023 10:05:00 PM		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://computerhoy.com/guia-compra/moto-electrica#ventajas-1617620606051">https://computerhoy.com/guia-compra/moto-electrica#ventajas-1617620606051</a> Fetched: 1/16/2023 10:05:00 PM		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2010/05/18/130865">https://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2010/05/18/130865</a> Fetched: 1/16/2023 10:05:00 PM		2
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.ecologiahoy.com/motocicleta-electrica">https://www.ecologiahoy.com/motocicleta-electrica</a> Fetched: 1/16/2023 10:05:00 PM		4
<b>W</b>	URL: <a href="https://twenergy.com/coches-electricos/baterias-coches-electricos/">https://twenergy.com/coches-electricos/baterias-coches-electricos/</a> Fetched: 1/16/2023 10:05:00 PM		1

Firma:

.....  
ING. Erazo Laverde, Washington Germán

C. C.: 0501432637



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

### Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **"Diseño e implementación de un sistema de carga tipo rotor generador para incrementar la autonomía en una motocicleta eléctrica"** fue realizado por el señor **Changoluisa Tipán, Luis Felipe**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 17 de Enero del 2023

Firma:

ING. Erazo Laverde, Washington Germán

C. C.: 0501432637



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

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **Changoluisa Tipán, Luis Felipe**, con cédula de ciudadanía n°1724184864, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño e implementación de un sistema de carga tipo rotor generador para incrementar la autonomía en una motocicleta eléctrica**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Latacunga, 17 de Enero del 2023**

Firma

**Changoluisa Tipán, Luis Felipe**

C.C.: 1724184864



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

### Autorización de Publicación

Yo **Changoluisa Tipán, Luis Felipe**, con cédula de ciudadanía n°1724184864, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño e implementación de un sistema de carga tipo rotor generador para incrementar la autonomía en una motocicleta eléctrica** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 17 de Enero del 2023

Firma

**Changoluisa Tipán, Luis Felipe**

C.C.: 1724184864

### **Dedicatoria**

El presente trabajo de titulación está dedicado en primer lugar a Dios quien ha estado conmigo en los momentos más difíciles de mi vida, siempre ha estado ahí cuidándome y protegiéndome en todo momento.

Seguidamente le dedico este proyecto de titulación a mis padres María Tipán y José Changoluisa quienes me han apoyado incondicionalmente para poder finalizar mi carrera universitaria, siendo el pilar fundamental mi madre ya que ella siempre me ha estado apoyando constantemente pese a mis caídas, a través de sus consejos, paciencia y valores que me ha inculcado para ser una persona de bien.

A mi abuelito Manuel Silverio Tipán que en paz descansa, quien tuvo siempre la alegría y el deseo de verme salir adelante para ser un gran apoyo para mi familia.

**Luis Felipe Changoluisa Tipán**

## **Agradecimiento**

El presente agradecimiento va dirigido primeramente a Dios quien me ha dado la salud y la vida para poder finalizar mi etapa universitaria y terminar con éxito mi proyecto de tesis, le agradezco por siempre estar conmigo en los momentos más duros del trayecto de mi vida.

Agradezco a mis padres que siempre han estado ahí conmigo apoyándome con consejos y motivaciones para culminar mi carrera universitaria, muchas gracias por toda la paciencia y comprensión que han tenido conmigo y sobre todo gracias por ese inmenso amor.

Un agradecimiento especial para mi tutor el Ingeniero Germán Erazo por su colaboración, paciencia y apoyo durante el desarrollo de este proyecto de tesis.

Finalmente quiero agradecer a todos mis compañeros, amigos con los cuales pude compartir experiencias durante mi etapa universitaria, gracias por sus consejos y motivaciones.

**Luis Felipe Changoluisa Tipán**

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

<b>Carátula</b> .....	<b>1</b>
<b>Reporte de verificación de contenido</b> .....	<b>2</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>3</b>
<b>Responsabilidad de autoría</b> .....	<b>4</b>
<b>Autorización de publicación</b> .....	<b>5</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>6</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>7</b>
<b>Índice de contenido</b> .....	<b>8</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>16</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>20</b>
<b>Índice de ecuaciones</b> .....	<b>22</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>23</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>24</b>
<b>Capítulo I: Marco metodológico de la investigación</b> .....	<b>25</b>
<b>Antecedentes investigativos</b> .....	<b>25</b>
<b>Planteamiento del problema</b> .....	<b>27</b>
<b>Descripción resumida del proyecto</b> .....	<b>29</b>
<b>Justificación e importancia</b> .....	<b>30</b>
<b>Objetivos del proyecto</b> .....	<b>31</b>
<b><i>Objetivo General</i></b> .....	<b>31</b>
<b><i>Objetivos Específicos</i></b> .....	<b>31</b>
<b>Meta</b> .....	<b>32</b>

Hipótesis .....	32
Variables de la investigación .....	32
<i>Variable independiente</i> .....	32
<i>Variable dependiente</i> .....	34
Metodología de desarrollo del proyecto .....	35
<i>Método experimental</i> .....	35
<i>Método matemático</i> .....	35
<i>Método de modelación</i> .....	35
<i>Método de medición</i> .....	35
<i>Método científico</i> .....	35
<i>Método inductivo</i> .....	35
<i>Método deductivo</i> .....	36
Capítulo II: Fundamento teórico .....	40
Movilidad eléctrica.....	40
<i>Necesidad del vehículo eléctrico</i> .....	40
<i>Movilidad eléctrica a nivel global</i> .....	40
<i>Movilidad eléctrica en Latinoamérica</i> .....	40
<i>Movilidad eléctrica en el Ecuador</i> .....	42
Clasificación de los vehículos eléctricos .....	42
<i>Híbridos</i> .....	42
<i>Enchufables (eléctricos)</i> .....	42
Motos eléctricas.....	43

<i>Definición de moto eléctrica</i> .....	43
<i>Componentes de la motocicleta eléctrica</i> .....	43
<i>Ventajas y desventajas de una moto eléctrica</i> .....	46
<b>Tipos de baterías del vehículo eléctrico</b> .....	47
<i>Batería de plomo-ácido</i> .....	47
<i>Batería de níquel-hidruros</i> .....	48
<i>Batería de níquel-Cadmio</i> .....	49
<i>Batería de litio-ión</i> .....	49
<b>Cargador de baterías del vehículo eléctrico</b> .....	51
<b>Tipos de controladores</b> .....	52
<i>Controlador multi switching</i> .....	52
<i>Controlador de estado sólido</i> .....	53
<i>Controlador PWM (modulación por ancho de pulso)</i> .....	53
<b>Motores eléctricos de corriente continua</b> .....	54
<i>Motor eléctrico Brushless</i> .....	54
<i>Motor tipo serie</i> .....	55
<i>Motor tipo Shunt</i> .....	56
<i>Motor tipo Compound</i> .....	56
<i>Motor de imán permanente</i> .....	57
<b>Motores de corriente alterna</b> .....	57
<i>Motor síncrono</i> .....	58

<i>Motor asíncrono</i> .....	59
Infraestructura de recarga del vehículo eléctrico.....	59
Tipos de estaciones de carga .....	59
Energía eólica.....	60
<i>Origen</i> .....	60
<i>Potencial energético</i> .....	61
<i>Formas de aprovechamiento</i> .....	61
<i>Producción y consumo</i> .....	62
<i>Reservas</i> .....	63
<i>Ventajas y desventajas</i> .....	63
Generador eólico .....	64
Partes de un generador eólico .....	64
<i>Subsistema de captación</i> .....	65
<i>Subsistema de transmisión mecánica</i> .....	66
<i>Subsistema de generación eléctrica</i> .....	66
<i>Subsistema de orientación</i> .....	68
<i>Subsistema de regulación</i> .....	68
<i>Subsistema soporte</i> .....	70
Funcionamiento de un generador eólico.....	71
Tipos de generadores eólicos.....	71
<i>Generadores eólicos de eje horizontal</i> .....	71

	12
<i>Generadores eólicos de eje vertical</i> .....	71
<i>Molinos de viento convencionales</i> .....	71
<i>Aerogeneradores lentos</i> .....	72
<b>Aspa de un generador eólico</b> .....	<b>72</b>
<i>Características del perfil aerodinámico</i> .....	73
<i>Fuerza de sustentación</i> .....	73
<i>Fuerza de arrastre</i> .....	75
<i>Coefficientes aerodinámicos</i> .....	75
<i>Coefficiente de sustentación</i> .....	75
<i>Coefficiente de arrastre</i> .....	76
<i>Geometría de fuerza</i> .....	76
<b>Aplicación Geo Tracker</b> .....	<b>77</b>
<b>Capítulo III: Diseño y construcción del sistema rotor generador</b> .....	<b>78</b>
<b>Descripción general del proyecto</b> .....	<b>78</b>
<b>Especificaciones de requerimiento</b> .....	<b>80</b>
<b>Propuesta de funcionamiento mediante diagrama de bloque</b> .....	<b>80</b>
<b>Propuesta de construcción mediante diagrama de bloque</b> .....	<b>81</b>
<b>Desarrollo del prototipo</b> .....	<b>81</b>
<b>Consideraciones de diseño</b> .....	<b>84</b>
<b>Moto eléctrica usada para la investigación</b> .....	<b>84</b>
<i>Características</i> .....	84
<i>Modelación de circuitos de alta, media y baja tensión de la moto eléctrica</i> ...	85

Evaluación del comportamiento del viento disponible.....	92
<i>Mediciones preliminares</i> .....	92
<i>Determinación de la velocidad nominal del viento</i> .....	94
<i>Densidad del aire</i> .....	95
<i>Fuerza del viento</i> .....	96
<i>Fuerza centrífuga</i> .....	96
<i>Medición del caudal de viento</i> .....	97
Características del motor eléctrico trifásico .....	99
Diseño de las aspas .....	99
<i>Longitud de cuerda y espacio entre aspas</i> .....	100
<i>Triángulos de velocidad</i> .....	101
<i>Determinación del ángulo de ataque</i> .....	104
Perfil aerodinámico.....	105
<i>Selección del perfil</i> .....	105
<i>Selección del material</i> .....	108
Características del regulador trifásico.....	108
Características del Inversor de corriente de 750 W.....	109
Características del voltímetro amperímetro digital DC.....	111
Proceso de ensamblaje del sistema rotor generador .....	115
Análisis CAD del sistema de aspas.....	121
<i>Análisis dinámico del sistema de aspas</i> .....	121

<i>Resultados del Análisis dinámico del sistema de aspas</i> .....	122
<i>Análisis del sistema de aspas a una velocidad media</i> .....	123
<i>Resultados del Análisis del sistema de aspas a una velocidad media</i> .....	124
Capítulo IV: Análisis de resultados mediante pruebas de ruta.....	125
Análisis de resultados obtenidos en el software especializado.....	125
<i>Simulación de flujo CFD en software especializado</i> .....	125
Ruta seleccionada para pruebas .....	126
Protocolo de pruebas.....	127
Pruebas para determinar la corriente alterna generada .....	131
Pruebas Iniciales sin el prototipo .....	132
Resultados de las pruebas iniciales.....	136
<i>Distancia total recorrida</i> .....	136
<i>Tiempo final</i> .....	136
Pruebas Finales con el prototipo.....	137
Resultados de las pruebas finales .....	140
<i>Distancia total recorrida</i> .....	140
<i>Tiempo final</i> .....	141
Etapas de generación de voltaje del sistema de carga.....	141
<i>Etapas 1</i> .....	141
<i>Etapas 2</i> .....	142
<i>Etapas 3</i> .....	143
<i>Etapas 4</i> .....	143

<i><b>Etapa 5</b></i> .....	<b>143</b>
<i><b>Etapa 6</b></i> .....	<b>144</b>
<b>Análisis de los ciclos de conducción en cada fase</b> .....	<b>144</b>
<i><b>Análisis del ciclo de conducción de la fase 1</b></i> .....	<b>144</b>
<i><b>Análisis de la fase 2 o fase de descanso</b></i> .....	<b>144</b>
<i><b>Análisis del ciclo de conducción de la fase 3 o punto de corte</b></i> .....	<b>145</b>
<i><b>Análisis del ciclo de conducción de la fase 4</b></i> .....	<b>145</b>
<i><b>Análisis de la fase 5 o fase de carga</b></i> .....	<b>146</b>
<i><b>Análisis del ciclo de conducción de la fase 6</b></i> .....	<b>147</b>
<b>Autonomía alcanzada con el prototipo</b> .....	<b>147</b>
<b>Capítulo V: Marco administrativo</b> .....	<b>149</b>
<b>Recursos humanos</b> .....	<b>149</b>
<b>Recursos materiales</b> .....	<b>149</b>
<b>Recursos tecnológicos</b> .....	<b>150</b>
<b>Costo neto del proyecto</b> .....	<b>150</b>
<b>Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	<b>151</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>151</b>
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>153</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>154</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>158</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Planteamiento del problema</i> .....	27
<b>Figura 2</b> <i>Resumen de incentivos a la movilidad eléctrica de algunos países</i> .....	41
<b>Figura 3</b> <i>Punto de carga de energía eléctrica de un coche</i> .....	42
<b>Figura 4</b> <i>Modelo Silence S02</i> .....	43
<b>Figura 5</b> <i>Freno hidráulico convencional</i> .....	45
<b>Figura 6</b> <i>Moto eléctrica Davinci DC100</i> .....	46
<b>Figura 7</b> <i>Batería de Plomo-ácido</i> .....	47
<b>Figura 8</b> <i>Batería de Níquel hidruros metálicos</i> .....	48
<b>Figura 9</b> <i>Batería de Níquel-Cadmio</i> .....	49
<b>Figura 10</b> <i>Batería de Litio-ión</i> .....	50
<b>Figura 11</b> <i>Cargador de batería de Litio-ión</i> .....	52
<b>Figura 12</b> <i>Controlador de 36 V, 1000 W</i> .....	53
<b>Figura 13</b> <i>Controlador PWM</i> .....	54
<b>Figura 14</b> <i>Motor sin escobillas (Brushless)</i> .....	55
<b>Figura 15</b> <i>Circuito eléctrico equivalente del motor tipo Serie</i> .....	55
<b>Figura 16</b> <i>Típico motor Shunt</i> .....	56
<b>Figura 17</b> <i>Esquema de funcionamiento del Motor de imán permanente</i> .....	57
<b>Figura 18</b> <i>Motor de Corriente Alterna</i> .....	58
<b>Figura 19</b> <i>Circulación atmosférica general</i> .....	60
<b>Figura 20</b> <i>Distribución estimada de la velocidad del viento</i> .....	61
<b>Figura 21</b> <i>Funcionamiento de un aerogenerador</i> .....	62
<b>Figura 22</b> <i>Componentes de un aerogenerador</i> .....	65
<b>Figura 23</b> <i>Aerogenerador de eje vertical y de eje horizontal</i> .....	65
<b>Figura 24</b> <i>Generador asíncrono</i> .....	67
<b>Figura 25</b> <i>Sistema de orientación por veleta</i> .....	68

<b>Figura 26</b> <i>Control de un aerogenerador asíncrono</i> .....	69
<b>Figura 27</b> <i>Control de un aerogenerador con sistema aislado</i> .....	69
<b>Figura 28</b> <i>Torre de un aerogenerador</i> .....	70
<b>Figura 29</b> <i>Palas de un aerogenerador</i> .....	72
<b>Figura 30</b> <i>Perfil aerodinámico</i> .....	73
<b>Figura 31</b> <i>Fuerza de sustentación</i> .....	74
<b>Figura 32</b> <i>Efecto Magnus</i> .....	75
<b>Figura 33</b> <i>Flujo sobre un perfil orientado</i> .....	76
<b>Figura 34</b> <i>Velocidad del viento y fuerza de sustentación sobre un perfil aerodinámico</i> .....	77
<b>Figura 35</b> <i>Prototipo de carga tipo rotor – generador</i> .....	79
<b>Figura 36</b> <i>Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema de carga</i> .....	80
<b>Figura 37</b> <i>Diagrama de bloques de la construcción del sistema de carga</i> .....	81
<b>Figura 38</b> <i>Flujograma de diseño</i> .....	82
<b>Figura 39</b> <i>Flujograma de funcionamiento</i> .....	83
<b>Figura 40</b> <i>Esquema eléctrico del motor DC-QS-BLCD</i> .....	86
<b>Figura 41</b> <i>Esquema eléctrico del Controlador electrónico</i> .....	87
<b>Figura 42</b> <i>Esquema eléctrico de la alarma</i> .....	87
<b>Figura 43</b> <i>Esquema eléctrico de los mandos y testigos luminosos</i> .....	88
<b>Figura 44</b> <i>Esquema eléctrico de los dispositivos y accesorios</i> .....	88
<b>Figura 45</b> <i>Esquema eléctrico de las luces direccionales</i> .....	89
<b>Figura 46</b> <i>Esquema eléctrico del cargador</i> .....	89
<b>Figura 47</b> <i>Esquema eléctrico del suministro de energía al motor</i> .....	90
<b>Figura 48</b> <i>Esquema eléctrico de los conectores - socket</i> .....	90
<b>Figura 49</b> <i>Esquema eléctrico de los conectores - socket</i> .....	91
<b>Figura 50</b> <i>Esquema eléctrico de los conectores – socket</i> .....	91
<b>Figura 51</b> <i>Esquema eléctrico de los conectores – socket</i> .....	92

<b>Figura 52</b> <i>Ruta seleccionada para las pruebas iniciales y finales</i> .....	92
<b>Figura 53</b> <i>Anemómetro de mano modelo UNI-T UT363</i> .....	93
<b>Figura 54</b> <i>Datos del tiempo en Belisario Quevedo</i> .....	95
<b>Figura 55</b> <i>Diámetro del sistema de aspas</i> .....	97
<b>Figura 56</b> <i>Longitud de cuerda y espacio entre aspas</i> .....	100
<b>Figura 57</b> <i>Triángulos de velocidad</i> .....	101
<b>Figura 58</b> <i>Triángulo de velocidad a la entrada</i> .....	103
<b>Figura 59</b> <i>Triángulo de velocidad a la salida</i> .....	103
<b>Figura 60</b> <i>Triángulos de velocidad</i> .....	104
<b>Figura 61</b> <i>Perfil GOE 428</i> .....	105
<b>Figura 62</b> <i>Ensamble del sistema rotor – generador en CAD</i> .....	113
<b>Figura 63</b> <i>Prototipo del sistema rotor generador ensamblado con el soporte en CAD</i> .....	114
<b>Figura 64</b> <i>Soporte del sistema rotor – generador en CAD</i> .....	114
<b>Figura 65</b> <i>Prototipo del sistema fabricado y ensamblado en la moto eléctrica</i> .....	115
<b>Figura 66</b> <i>Ubicación de los elementos del sistema de carga tipo rotor generador</i> .....	119
<b>Figura 67</b> <i>Ventilación de los elementos del sistema de carga tipo rotor generador</i> .....	119
<b>Figura 68</b> <i>Estado de carga de la batería de ácido plomo</i> .....	120
<b>Figura 69</b> <i>Instrumentos de medición</i> .....	120
<b>Figura 70</b> <i>Análisis dinámico del sistema de aspas</i> .....	121
<b>Figura 71</b> <i>Trayectorias de flujo en el sistema de aspas</i> .....	122
<b>Figura 72</b> <i>Análisis del sistema de aspas a una velocidad media de 11,24 m/s</i> .....	123
<b>Figura 73</b> <i>Trayectorias de flujo en el sistema de aspas a 11,24 m/s</i> .....	123
<b>Figura 74</b> <i>Plano de corte del sistema de aspas a 11,24 m/s</i> .....	124
<b>Figura 75</b> <i>Simulación de flujo CFD del sistema de aspas</i> .....	125
<b>Figura 76</b> <i>Ruta que rodea a la universidad</i> .....	126
<b>Figura 77</b> <i>Fase de desarrollo de las pruebas</i> .....	131

<b>Figura 78</b> <i>Gráfico velocidad vs tiempo en primera velocidad sin el prototipo</i> .....	133
<b>Figura 79</b> <i>Gráfico velocidad vs tiempo en segunda velocidad sin el prototipo</i> .....	133
<b>Figura 80</b> <i>Gráfico velocidad vs tiempo en tercera velocidad sin el prototipo</i> .....	134
<b>Figura 81</b> <i>Gráfico velocidad vs tiempo para precisar el punto de corte sin el prototipo</i> .....	135
<b>Figura 82</b> <i>Gráfico velocidad vs tiempo en primera velocidad con el prototipo</i> .....	137
<b>Figura 83</b> <i>Gráfico velocidad vs tiempo en segunda velocidad con el prototipo</i> .....	138
<b>Figura 84</b> <i>Gráfico velocidad vs tiempo en tercera velocidad con el prototipo</i> .....	139
<b>Figura 85</b> <i>Gráfico velocidad vs tiempo para determinar el corte con el prototipo</i> .....	139
<b>Figura 86</b> <i>Esquema de un generador trifásico</i> .....	142
<b>Figura 87</b> <i>Esquema del proceso de rectificación y regulación</i> .....	142
<b>Figura 88</b> <i>Esquema eléctrico de un inversor</i> .....	143
<b>Figura 89</b> <i>Velocidad vs tiempo de la fase 1</i> .....	144
<b>Figura 90</b> <i>Velocidad vs tiempo de la fase 3</i> .....	145
<b>Figura 91</b> <i>Velocidad vs tiempo de la fase 4</i> .....	145
<b>Figura 92</b> <i>Voltaje y amperaje después de la finalización de la fase 4</i> .....	146
<b>Figura 93</b> <i>Voltaje y amperaje después de la carga de la fase 5</i> .....	146
<b>Figura 94</b> <i>Velocidad vs tiempo de la fase 6</i> .....	147
<b>Figura 95</b> <i>Gráfica de la autonomía final de la moto eléctrica</i> .....	148
<b>Figura 96</b> <i>Conexión general de cada componente</i> .....	148

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de la variable independiente.....	32
<b>Tabla 2</b> Operacionalización de la variable dependiente.....	34
<b>Tabla 3</b> Metodología de investigación .....	36
<b>Tabla 4</b> Características de la moto eléctrica.....	84
<b>Tabla 5</b> Tabulación de las velocidades del viento.....	93
<b>Tabla 6</b> Características del motor eléctrico .....	99
<b>Tabla 7</b> Coordenadas en milímetros del Perfil Gottingen N 428.....	106
<b>Tabla 8</b> Coordenadas en milímetros del Perfil N 428 para un tamaño de hélice de 5 cm .....	107
<b>Tabla 9</b> Características del Regulador Trifásico.....	109
<b>Tabla 10</b> Características del Inversor de corriente de 750 W.....	110
<b>Tabla 11</b> Características del voltímetro amperímetro digital DC.....	111
<b>Tabla 12</b> Características de impresión 3D de los elementos del sistema .....	112
<b>Tabla 13</b> Proceso de ensamblaje del sistema rotor generador.....	115
<b>Tabla 14</b> Resultados del Análisis dinámico .....	122
<b>Tabla 15</b> Resultados del Análisis a una velocidad media .....	124
<b>Tabla 16</b> Protocolo de pruebas.....	127
<b>Tabla 17</b> Prueba de ruta para obtener el ciclo de conducción.....	129
<b>Tabla 18</b> Pruebas en las tres velocidades de la moto.....	131
<b>Tabla 19</b> Resultados obtenidos en primera velocidad sin el prototipo.....	133
<b>Tabla 20</b> Resultados obtenidos en segunda velocidad sin el prototipo .....	134
<b>Tabla 21</b> Resultados obtenidos en tercera velocidad sin el prototipo.....	135
<b>Tabla 22</b> Resultados obtenidos en tercera velocidad sin el prototipo hasta el corte.....	135
<b>Tabla 23</b> Resultados obtenidos en primera velocidad con el prototipo .....	137
<b>Tabla 24</b> Resultados obtenidos en segunda velocidad con el prototipo.....	138
<b>Tabla 25</b> Resultados obtenidos en tercera velocidad con el prototipo .....	139

<b>Tabla 26</b> <i>Resultados obtenidos en tercera velocidad con el prototipo hasta el corte</i> .....	140
<b>Tabla 27</b> <i>Recursos humanos</i> .....	149
<b>Tabla 28</b> <i>Recursos materiales</i> .....	149
<b>Tabla 29</b> <i>Recursos tecnológicos</i> .....	150

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b> <i>La velocidad media del viento</i> .....	94
<b>Ecuación 2</b> <i>Densidad del aire</i> .....	95
<b>Ecuación 3</b> <i>Fuerza del viento</i> .....	96
<b>Ecuación 4</b> <i>Fuerza centrífuga</i> .....	96
<b>Ecuación 5</b> <i>Velocidad angular</i> .....	97
<b>Ecuación 6</b> <i>Área de una circunferencia</i> .....	98
<b>Ecuación 7</b> <i>Caudal de viento que pasa por el prototipo</i> .....	98
<b>Ecuación 8</b> <i>Distancia entre aspas</i> .....	100
<b>Ecuación 9</b> <i>Longitud de cuerda del perfil</i> .....	101
<b>Ecuación 10</b> <i>Velocidad tangencial</i> .....	102
<b>Ecuación 11</b> <i>Velocidad axial</i> .....	102
<b>Ecuación 12</b> <i>Velocidad relativa</i> .....	103
<b>Ecuación 13</b> <i>Ángulo <math>\beta_1</math></i> .....	103
<b>Ecuación 14</b> <i>Velocidad relativa media</i> .....	104
<b>Ecuación 15</b> <i>Ángulo <math>\beta</math></i> .....	104
<b>Ecuación 16</b> <i>Ángulo de ataque</i> .....	105
<b>Ecuación 17</b> <i>Distancia total recorrida en la prueba inicial</i> .....	136
<b>Ecuación 18</b> <i>Tiempo final empleado en la prueba inicial</i> .....	136
<b>Ecuación 19</b> <i>Distancia total recorrida en la prueba inicial</i> .....	140
<b>Ecuación 20</b> <i>Tiempo final empleado en la prueba final</i> .....	141
<b>Ecuación 21</b> <i>Autonomía final aumentada con el prototipo</i> .....	147

## Resumen

La presente investigación abarca el diseño e implementación de un sistema de carga tipo rotor generador para ayudar a cargar una batería auxiliar de ácido plomo que a través de un inversor proporciona la corriente necesaria para cargar la batería de litio con la que cuenta la moto eléctrica. Todo esto con el fin de ayudar a aumentar la autonomía de la moto eléctrica y a su vez aprovechar la energía eólica renovable. El funcionamiento principal del sistema consiste en cargar la batería auxiliar de la moto mientras está en funcionamiento aprovechando la aerodinámica propia de la moto y el diseño de aspas del prototipo el cual va a aprovechar las ráfagas de viento frontales para posteriormente transformarlos en corriente alterna a través del uso de un motor trifásico que va a estar conectado a su vez a un regulador – rectificador de corriente trifásica, el cual va a transformar la corriente alterna en corriente directa. Esta corriente directa va a ser suministrada a una batería de ácido plomo y esta a su vez va a alimentar a un inversor de 750 Watts de potencia. Este inversor se va a encargar de alimentar a la batería de litio la cual es propia de la moto eléctrica, todo esto con el fin de aprovechar la energía eólica renovable presente en el ambiente. Este sistema de carga fue evaluado con pruebas de autonomía iniciales y finales para determinar la mejora alcanzada. Finalmente se evaluó el comportamiento del vehículo con la implementación de todo este sistema de carga complementario.

*Palabras clave:* energía eólica, sistema de aspas, generador eléctrico, perfil aerodinámico, inversor.

### **Abstract**

The present investigation covers the design and implementation of a generator rotor type charging system to help charge an auxiliary lead acid battery that through an inverter provides the necessary current to charge the lithium battery that the electric motorcycle has. All this in order to help increase the autonomy of the electric motorcycle and in turn take advantage of renewable wind energy. The main operation of the system consists of charging the auxiliary battery of the motorcycle while it is in operation, taking advantage of the aerodynamics of the motorcycle and the blade design of our prototype, which will take advantage of the frontal gusts of wind to later transform them into alternating current at Through the use of a three-phase motor that will be connected to a three-phase current regulator-rectifier, which will transform alternating current into direct current. This direct current will be supplied to a lead acid battery and this in turn will feed an inverter of 750 Watts of power. This inverter will be in charge of feeding the lithium battery which is typical of the electric motorcycle, all this in order to take advantage of the renewable wind energy present in the environment. This charging system was evaluated with initial and final autonomy tests to determine the improvement achieved. Finally, the behavior of the vehicle with the implementation of all this complementary charging system was evaluated.

*Keywords:* wind energy, blade system, electric generator, airfoil, investor.

## Capítulo I

### Marco metodológico de la investigación

#### Antecedentes investigativos

El cambio climático es uno de los mayores desafíos en la actualidad, no obstante, es importante mencionar el uso indiscriminado de combustibles fósiles que se ha venido dando desde décadas atrás, con efectos negativos para el medio ambiente. Los avances continuos en el desarrollo de nuevas tecnologías en la industria automotriz han permitido que el sistema de propulsión energética se transforme y adapte a las nuevas necesidades del uso de energías limpias con lo cual se espera frenar la contaminación ambiental.

Desde siempre el desarrollo de la humanidad ha estado determinado en gran medida por el recurso a la utilización de las diferentes formas de energía según las necesidades y disponibilidades de cada momento y lugar. Ya en sus inicios, los principales recursos estaban basados en la utilización de energías renovables en forma de biomasa, viento, agua y sol. Utilizados principalmente como fuente de combustible, estos elementos deben ser considerados como la base energética del desarrollo humano. (Pérez, et al., 2009, p.1)

Según (Martinez, 2018) menciona que: La masiva utilización de combustibles fósiles ha llevado a un incremento considerable de gases efecto invernadero (GEI), principalmente el CO<sub>2</sub>, en la atmósfera de nuestro planeta. La acumulación de estos gases ha hecho del cambio climático una realidad. Este fenómeno no solo implica un aumento de la temperatura del planeta y del nivel del mar, sino también un incremento importante en la intensidad y la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos. (p.127)

Los motores de combustión de los vehículos son los responsables de la emisión a la atmósfera de diferentes tipos de gases y también de partículas que contaminan el entorno o el medio ambiente. De esta forma, los diferentes vehículos utilizados diariamente en los países más desarrollados (con un grado elevado de industrialización y, en general, de actividad

económica) son los responsables de entre el 30% y el 90% de los gases que son contaminantes producidos por el tráfico vehicular en todo el mundo. (Roldán, 2019, párr. 4)

De acuerdo a (Estévez, 2015) menciona: “La dificultad de gestionar la disponibilidad de las principales energías de fuentes renovables, principalmente la eólica y la solar, ya que el vehículo eléctrico supone una oportunidad para mejorar el equilibrio y la eficiencia de nuestro sistema eléctrico”. (párr. 1)

Según (García G. , 2018) comenta que: “Los vehículos eléctricos a batería o BEV (Battery Electric Vehicle) son los que se mueven únicamente gracias a la intervención de uno o varios motores eléctricos alimentados por una batería, que puede ser recargada en la red”. (párr. 3)

El año 2020 fue disruptivo en términos de transporte. En medio de la crisis sanitaria, económica y social de la COVID-19, la movilidad sostenible ha adquirido aún más relevancia como elemento central para la mejora de la calidad de vida y la resiliencia de las ciudades ante eventos inéditos. (Máñez, et al., 2021, p.16)

(López & Galarza, 2017, p.36) mencionan que recientes inversiones en generación hidroeléctrica han hecho de la movilidad eléctrica una estrategia prioritaria para el Ecuador. El Gobierno Ecuatoriano ha creado varios incentivos tributarios y fiscales para facilitar la entrada al mercado de vehículos eléctricos. En Ecuador no existe manufactura o ensamblaje de vehículos eléctricos. Por lo tanto, las importaciones de estos vehículos están exentas de ciertos tributos.

Según (Ortega, 2021) menciona que las motos eléctricas adolecen de menor velocidad y aceleración por lo que habitualmente tienen un arranque menos potente y el enfoque es de ciudad, por lo que también alcanzan menor velocidad. Para los trayectos urbanos no supone ningún problema. (párr. 18)

Según (Oficina Española de Patentes y Marcas [OEPM], 2011) comenta que un generador eólico para vehículos, se basa en el aprovechamiento del aire que entra por la rejilla

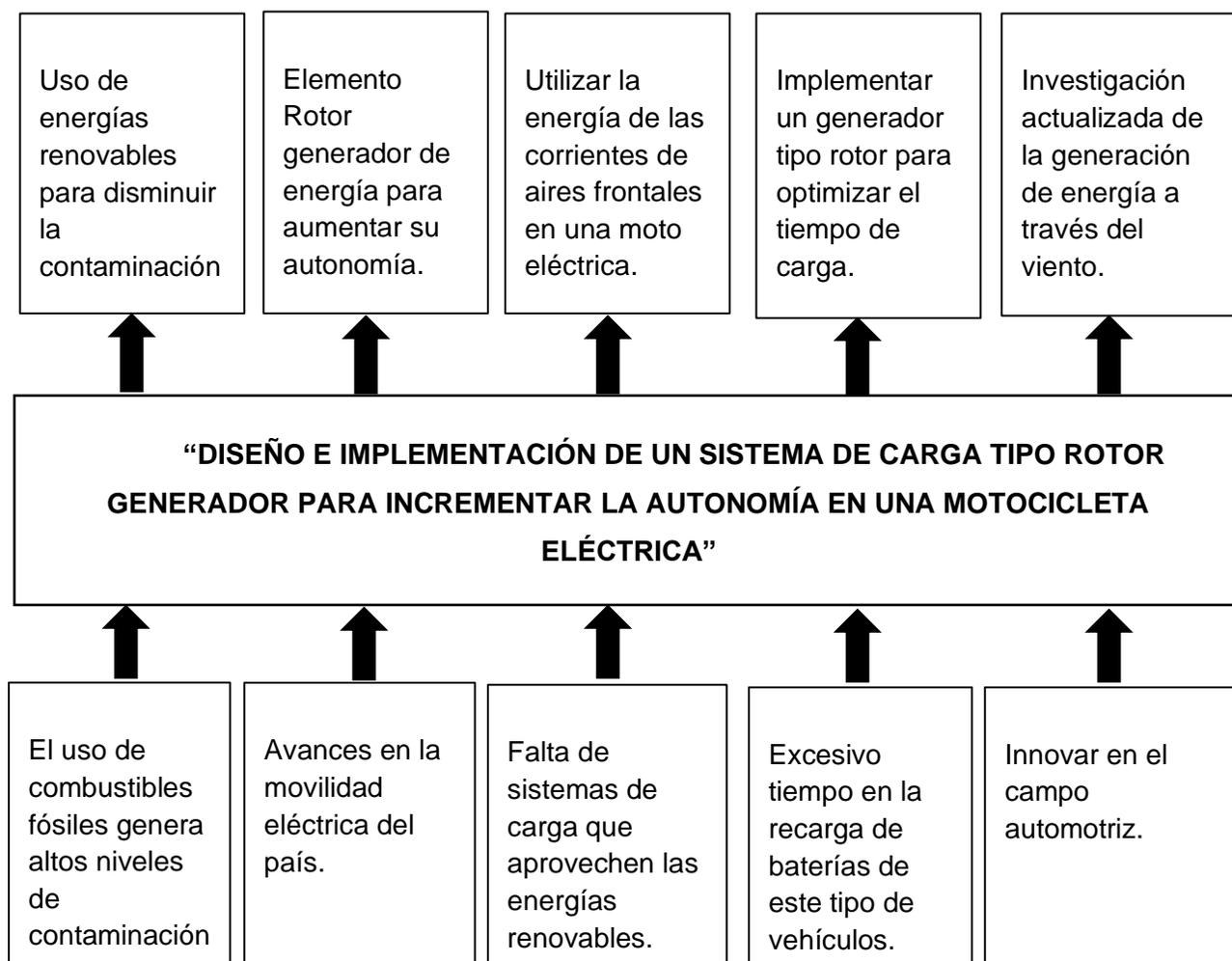
frontal de un vehículo, cuando está en movimiento, para producir energía eléctrica y dotarlo a éste de mayor autonomía.

Cuando el vehículo está en movimiento, el aire incide en las palas, generando un movimiento que se transmitirá al eje rotor que pondrá en marcha los generadores produciéndose energía eléctrica siendo ésta utilizada para recargar el grupo de baterías de los vehículos que se muevan con energía eléctrica. (España Patente nº ES1074375U, 2010)

## Planteamiento del problema

### Figura 1

#### *Planteamiento del problema*



*Nota.* Diagrama árbol de problemas en el cual se detalla los problemas en la parte inferior y en los cuadros de la parte superior se enuncia una posible solución al problema suscitado.

El uso indiscriminado de combustibles fósiles genera altos niveles de contaminación, por lo cual se han venido generando innovaciones en el campo automotriz a través de la implementación de vehículos eléctricos, por tal motivo es necesario generar sistemas que aprovechen las energías renovables, así como generar fuentes de recarga de baterías para este tipo de vehículos que permitan mejorar su autonomía.

Aprovechar los principios básicos del funcionamiento de las energías renovables y más específicamente de la energía eólica pueden contribuir al diseño de mecanismos que permitan aprovechar las diferentes formas de energía y utilizarlas posteriormente.

El uso de energías renovables en nuestro país va creciendo de modo ascendente lo que permite disminuir la contaminación, emisiones y consumo de combustibles fósiles. Existen sistemas alternativos de energía que conseguirán generar equipos que mejoren los procesos de carga de baterías con lo cual se conseguirá un aumento en la autonomía de las motocicletas eléctricas, todo esto a través de la implementación de un sistema generador tipo Rotor que utiliza la energía eólica para optimizar tiempos de carga, así como autonomía de estos nuevos sistemas de movilidad que son el presente y futuro.

El uso de la energía eléctrica como combustible viene limitada por la autonomía que el vehículo puede alcanzar, más allá del tipo de batería que utilice y de sus sistemas de control electrónico. Este inconveniente es un punto de inflexión a la hora de decidirse por la movilidad eléctrica ya que son considerados únicamente de uso urbano.

En tal consecuencia la presente investigación propone realizar el diseño e implementación de un sistema de carga tipo Rotor - Generador, el cual permita aprovechar las corrientes de aire frontales de la moto eléctrica, generando así electricidad la cual será acumulada en una batería auxiliar para su posterior uso.

## Descripción resumida del proyecto

El presente proyecto consiste en el análisis, diseño y construcción de un mecanismo Rotor Generador para una moto eléctrica, con el fin de aprovechar la aerodinámica propia de la moto para lo cual se ha establecido el siguiente procedimiento:

- Se buscó información en fuentes confiables como en libros, patentes, tesis, artículos y páginas web.
- Se levantó los requerimientos necesarios para el diseño e implementación del sistema de carga tipo rotor generador.
- Se realizó el diseño, dimensionamiento y modelación del mecanismo generador a través de un software especializado.
- Se simuló la funcionalidad del mecanismo generador tipo rotor en los aspectos mecánicos, eléctricos y electrónicos mediante el uso de un software especializado.
- Se seleccionó los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos para la construcción del mecanismo del sistema de carga tipo rotor.
- Se efectuó pruebas de autonomía iniciales y finales de una motocicleta eléctrica en rutas específicas de acuerdo a normas establecidas considerando valores iniciales de: distancia recorrida alcanzada en kilómetros recorridos reales, peso del piloto, valores y curvas con el uso de un osciloscopio.
- Se Implementó el mecanismo generador tipo rotor y el sistema de carga en la motocicleta eléctrica.
- Se realizó la evaluación y análisis que determinen la factibilidad del uso del sistema de carga tipo rotor.
- Se desarrolló un plan de mantenimiento preventivo del sistema generador de carga tipo Rotor con las recomendaciones de usos y funcionamiento.

## **Justificación e importancia**

Las energías renovables permiten disminuir el porcentaje de contaminación hacia el medio ambiente, con lo cual el presente proyecto pretende diseñar e implementar un mecanismo generador de electricidad que bajo condiciones de movimiento de la moto eléctrica aproveche el movimiento propio de la misma y puedan recolectar energía en una batería auxiliar para su posterior uso.

A través de este mecanismo se pretende aprovechar las energías amigables con el medio ambiente. En la actualidad del mercado, las motos eléctricas han generado una alta demanda por su accesibilidad económica, ahorro de combustible y efectos propios de la pandemia ya que las mismas brindan un transporte seguro, económico y confiable dentro de una zona urbana evitando transportes colectivos masivos. Debido a la pandemia nació la necesidad de buscar transportes alternativos con lo cual las motos eléctricas han tomado relevancia por ser un transporte unipersonal que permite precautelar el distanciamiento y la salud de las personas.

El diseño mediante el uso de software computacional, aseguran el funcionamiento eficiente del mecanismo en diferentes condiciones de operación en la motocicleta para que no interfiera en su funcionamiento normal. Los sistemas serán evaluados mediante simulaciones que permitan determinar el estado mecánico, eléctrico y electrónico, basados en métodos de elementos finitos en su parte correspondiente lo que permitirá tener la información adecuada del comportamiento de este mecanismo.

El diseño del sistema cargador tipo Rotor busca elevar la autonomía de la moto eléctrica la misma que se comprobaría mediante la realización de pruebas de ruta en donde se determinó la funcionalidad del proyecto y su alcance en la aplicación de vehículos eléctricos de dos ruedas.

El trabajo de investigación permite alternar el uso de energía eólica y eléctrica que reduzca los costos de consumo de corriente eléctrica, sustituyéndolos en cierto porcentaje por

el uso conceptualizado de energías alternativas que permitan la carga de una batería auxiliar, misma que alimenta a la batería principal cuando está la requiera, consiguiendo de esta forma reducir el tiempo de carga normal de estas motos.

## **Objetivos del proyecto**

### ***Objetivo General***

- Diseñar e implementar el sistema de carga tipo Rotor Generador para incrementar la autonomía en una motocicleta eléctrica.

### ***Objetivos Específicos***

- Buscar información en fuentes confiables como en libros, patentes, tesis, artículos y páginas web.
- Levantar los requerimientos necesarios para el diseño e implementación del sistema de carga tipo rotor generador.
- Realizar el diseño, dimensionamiento y modelación del mecanismo generador a través de un software especializado.
- Simular la funcionalidad del mecanismo generador tipo rotor en los aspectos mecánicos, eléctricos y electrónicos mediante el uso de un software especializado.
- Seleccionar los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos para la construcción del mecanismo del sistema de carga tipo rotor.
- Efectuar pruebas de autonomía iniciales y finales de la motocicleta eléctrica en rutas específicas de acuerdo a normas establecidas considerando valores iniciales de: distancia recorrida alcanzada en kilómetros recorridos reales, peso del piloto, valores y curvas con el uso de un osciloscopio.
- Implementar el mecanismo generador tipo rotor y el sistema de carga en la motocicleta eléctrica.

- Realizar la evaluación y análisis que determinen la factibilidad del uso del sistema de carga tipo rotor.
- Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo del sistema generador de carga tipo Rotor con las recomendaciones de usos y funcionamiento.

### Meta

- Implementar un sistema de carga tipo Rotor - Generador el cual permita aumentar la autonomía de una motocicleta eléctrica entre un 5 y 10 %, permitiendo aprovechar la energía del viento y reduciendo costos de operación.

### Hipótesis

“El sistema de carga tipo Rotor generador permitirá elevar la autonomía final de la motocicleta eléctrica aprovechando las corrientes de aire frontales.”

### Variables de la investigación

#### *Variable independiente*

Sistema de carga tipo Rotor Generador

**Tabla 1**

*Operacionalización de la variable independiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es un mecanismo que aprovecha las corrientes de aires frontales para generar	Generador Eléctrico	Voltaje	V	Medición	Protocolo de pruebas
		Intensidad	A	Medición	Protocolo de pruebas
	Velocidad de giro	RPM	Medición	Protocolo de pruebas	
		Experimentación	pruebas		
	Energía	kWh	Medición	Protocolo de pruebas	
		Experimentación	pruebas		

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos	
electricidad a través del movimiento de giro del rotor.	Rotor tipo	Resistencia	N	Medición	Protocolo de pruebas	
	Aspa	del material		Experimentación		
		Velocidad del viento sobre las aspas	m/s	Medición	Experimentación	Protocolo de pruebas
					Simulación	
	Aspa	Caudal del aire	m <sup>3</sup> /s	Medición	Experimentación	Protocolo de pruebas
					Simulación	
	Circuitos Eléctricos de rectificación y regulación de corriente-voltaje	Circuitos Eléctricos	Driver	V/A	Medición	Protocolo de pruebas
		de rectificación y regulación de corriente-voltaje	Procesamiento	V/A	Medición	Protocolo de pruebas
					Experimentación	
Periferia			V/A	Medición	Experimentación	Protocolo de pruebas
Batería auxiliar de medio voltaje	Batería auxiliar de medio voltaje	Voltaje	V	Medición	Protocolo de pruebas	
				Experimentación		
	medio voltaje	Corriente	A	Medición	Protocolo de pruebas	
				Experimentación		
	Capacidad	Ah	Medición	Protocolo de pruebas		
				Experimentación		

*Nota.* Se describe la variable independiente, misma que permite conocer la categoría, indicadores, ítem, técnicas e instrumentos.

**Variable dependiente**

Autonomía en una motocicleta eléctrica

**Tabla 2***Operacionalización de la variable dependiente*

<b>Concepto</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítem</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>	
Distancia recorrida de una moto eléctrica, una vez implementado el sistema Rotor - Generador	Desplazamiento	Velocidad	m/s	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas	
		Voltaje generado	V	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas	
		Intensidad	A	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas	
	Distancia recorrida			km	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas
				s	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas
			Tiempo de descarga y carga	Tiempo	s	Medición Experimentación
			SOC	%	Cálculo y Medición	Protocolo de pruebas

*Nota.* Se describe la variable independiente, misma que permite conocer la categoría, indicadores, ítem, técnicas e instrumentos.

## **Metodología de desarrollo del proyecto**

### ***Método experimental***

Con la ayuda de este método se realizó pruebas para obtener los parámetros iniciales de funcionamiento de nuestra moto eléctrica, para posteriormente compararlas con los nuevos valores que se obtendrán después de la implementación del sistema Rotor – Generador.

### ***Método matemático***

El modelo matemático se utilizó para analizar la relación de los datos obtenidos antes y después de la implementación del sistema Rotor – Generador, los cuales ayudan a estimar el porcentaje de aumento en la autonomía de la moto eléctrica.

### ***Método de modelación***

El método de Modelación se usó para analizar el comportamiento de nuestro sistema Rotor – Generador con su respectiva simulación en un software especializado, con el cual se obtuvo resultados de funcionamiento para sus respectivas correcciones.

### ***Método de medición***

El método de medición consistió en la obtención de valores numéricos de autonomía (km y Ah), consumo de energía, distancia, velocidad, aceleración y estado de carga de la batería, en una determinada ruta.

### ***Método científico***

En la investigación el método científico permitió tabular los resultados obtenidos antes y después de la implementación del sistema Rotor – Generador para determinar el porcentaje de aumento en la autonomía de la moto eléctrica.

### ***Método inductivo***

Este método permitió estimar el estado de carga de la batería en una determinada ruta, para poder establecer la mejora a través de la implementación de un sistema Rotor – Generador.

### **Método deductivo**

El análisis deductivo permitió analizar según los resultados obtenidos en el diseño de la simulación mediante el uso de software especializado dando como resultado las fuerzas que actúan sobre el sistema Rotor – Generador, las cuales servirán para interpretar su funcionamiento y seleccionar correctamente sus materiales de conformación.

**Tabla 3**

*Metodología de investigación*

<b>Metodología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Equipo</b>	<b>Laboratorio</b>
<b>Experimental</b>	A través de este método se realizó pruebas para obtener los parámetros iniciales de funcionamiento de nuestra moto eléctrica, para posteriormente compararlas con los nuevos valores que se obtendrá después de la implementación del sistema Rotor – Generador, esto con ayuda de un software especializado	Computador, Microsoft Excel, Software Especializado	Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”- Laboratorio de Autotrónica (sede Latacunga)
<b>Matemático</b>	El modelo matemático se utilizó para analizar la relación de los datos obtenidos antes y después de la implementación del sistema	Computador, Bases digitales Textos	Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”-

<b>Metodología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Equipo</b>	<b>Laboratorio</b>
	Rotor – Generador, los cuales estiman el porcentaje de aumento en la autonomía de la moto eléctrica.		Laboratorio de Autotrónica (sede Latacunga)
<b>Modelación</b>	El método de Modelación se usó para analizar el comportamiento de nuestro sistema Rotor – Generador con su respectiva simulación en un software especializado, con el cual se obtuvo resultados de funcionamiento para sus respectivas correcciones.	Computador, Software Especializado	Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”- Laboratorio de Autotrónica (sede Latacunga)
<b>Medición</b>	El método de medición consistió en la obtención de valores numéricos de autonomía (km/h y Ah), consumo de energía, distancia, velocidad, aceleración y estado de carga de la batería, en una determinada distancia.	Computador, Multímetro, Osciloscopio Anemómetro	Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”- Laboratorio de Autotrónica (sede Latacunga)

<b>Metodología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Equipo</b>	<b>Laboratorio</b>
<b>Científico</b>	El método científico permitió tabular los resultados obtenidos antes y después de la implementación del sistema Rotor – Generador para determinar el porcentaje de aumento en la autonomía de la moto eléctrica.	Computador, Microsoft Excel	Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”- Laboratorio de Autotrónica (sede Latacunga)
<b>Inductivo</b>	Este método permitió obtener condiciones de evaluación para el análisis de los valores originales de la moto eléctrica para su posterior comparación con los nuevos resultados después de la implementación del sistema Rotor – Generador para determinar la mejoría alcanzada de la moto eléctrica.	Computador, Software Especializado	Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”- Laboratorio de Autotrónica (sede Latacunga)
<b>Deductivo</b>	El análisis deductivo permitió analizar según los resultados obtenidos en el diseño de la simulación mediante el uso de software especializado dando como resultado las fuerzas que actúan sobre el sistema Rotor –	Computador, Software Especializado	Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE “- Laboratorio de Autotrónica (sede Latacunga)

<b>Metodología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Equipo</b>	<b>Laboratorio</b>
	Generador, las cuales servirán para interpretar su funcionamiento y seleccionar correctamente sus respectivos materiales de conformación.		

*Nota.* Se describe cada una de las metodologías que se van a emplear en la investigación.

## Capítulo II

### Fundamento teórico

#### **Movilidad eléctrica**

##### ***Necesidad del vehículo eléctrico***

(Molero & Pozo, 2013, p.30) manifiestan que el automóvil eléctrico se presenta en la actualidad como la alternativa del futuro en cuanto a transporte urbano se refiere y trae, como consecuencia fundamental, la disminución de contaminación medioambiental en las grandes ciudades.

Un vehículo eléctrico tiene cero emisiones de gases contaminantes ya que depende de las baterías para alimentar su motor y no quema ningún combustible en su interior. También requiere menos cantidad de líquidos contaminantes tales como el aceite y el refrigerante.

##### ***Movilidad eléctrica a nivel global***

El año 2020 fue disruptivo en términos de transporte. En medio de la crisis sanitaria, económica y social de la COVID-19, la movilidad sostenible ha adquirido aún más relevancia como elemento central para la mejora de la calidad de vida y la resiliencia de las ciudades ante eventos inéditos.

En este sentido, en consideración de las normas de distanciamiento social y de seguridad sanitaria impuestas por la pandemia, tendencias como la micromovilidad eléctrica se han potenciado. (Máñez, et al., 2021, p.16)

##### ***Movilidad eléctrica en Latinoamérica***

En América Latina y el Caribe se adaptan diferentes elementos de política pública a las necesidades de un nuevo producto y servicio como la movilidad eléctrica. Durante 2020, varios países de la región establecieron objetivos climáticos más ambiciosos encaminados a evitar un incremento en la temperatura media global por encima de los 1.5 grados Celsius.

México y Brasil son grandes polos de fabricación y exportación de vehículos. En los últimos años, han fabricado aproximadamente el 10% de los vehículos a nivel mundial y alrededor de medio millón de vehículos al mes en conjunto. Esta industria emplea, en México, cerca de 900,000 personas y más de 500,000 de manera directa en Brasil. (Máñez, et al., 2021, pp. 24,64)

## Figura 2

Resumen de incentivos a la movilidad eléctrica de algunos países

**CUADRO 1** Resumen de incentivos a movilidad eléctrica

INCENTIVO /PAÍS	ARGENTINA	BRASIL*	COLOMBIA	COSTA RICA**	CHILE	ECUADOR	MÉXICO	URUGUAY
Exención de IVA		●	●			●		
Exención de permiso de circulación		●		●			●	
Exención de programas de restricción vehicular			●	●	●		●	
Exención de impuestos aduaneros			●	●		●		●
Exención de impuesto a consumos especiales				●		●		
Tarifa eléctrica diferenciada					●	●	●	
Exención de impuesto ambiental					●	●		

\*\* En el caso de Brasil, los incentivos son a nivel estatal, no federal.  
 \*\* Basado en actual propuesta de ley sobre movilidad eléctrica en Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia

*Nota.* Se muestra el resumen de incentivos a la movilidad eléctrica de algunos países. Tomado de (López & Galarza, 2017)

### ***Movilidad eléctrica en el Ecuador***

(López & Galarza, 2017, p.36) mencionan que recientes inversiones en generación hidroeléctrica han hecho de la movilidad eléctrica una estrategia prioritaria para el país. El Gobierno Ecuatoriano ha creado varios incentivos tributarios y fiscales para facilitar la entrada al mercado de vehículos eléctricos.

En Ecuador no existe manufactura o ensamblaje de vehículos eléctricos. Por lo tanto, las importaciones de estos vehículos están exentas de ciertos tributos. Los vehículos eléctricos con un costo menor a 40.000 USD ya son exentos del arancel de importación que puede variar entre 15% y 35% del valor del vehículo dependiendo de su procedencia.

### **Clasificación de los vehículos eléctricos**

#### ***Híbridos***

Este tipo de vehículos utilizan el motor eléctrico como apoyo.

#### ***Enchufables (eléctricos)***

En este tipo de vehículos el motor eléctrico es el elemento motriz principal que ocupa energía eléctrica proveniente de una batería sea de cualquier tipo. Este tipo de vehículo se lo recarga mediante un cargador el cual se enchufa en la red eléctrica. (Roldán, 2014, p.276)

### **Figura 3**

*Punto de carga de energía eléctrica de un coche*



*Nota.* Punto de carga de energía eléctrica de un coche conectado a la red eléctrica. Tomado de (Roldán, 2014)

## Motos eléctricas

### *Definición de moto eléctrica*

Según (Molero & Pozo, 2013, p.24) definen a una moto eléctrica como “un vehículo cuya energía de propulsión procede, total o parcialmente, de la electricidad de sus baterías, cargadas a través de la red eléctrica “.

Una motocicleta eléctrica o scooter eléctrico es un medio de transporte que funciona con energía eléctrica la cual es proporcionada por una batería que a su vez suministra energía al motor eléctrico. Es un vehículo eficiente, rápido, seguro y fácil de conducir.

### **Figura 4**

*Modelo Silence S02*



*Nota.* Uno de los modelos de motos eléctricas más vendidas en el Mundo. Tomado de (Soria, 2021)

### **Componentes de la motocicleta eléctrica**

Las motocicletas eléctricas se componen principalmente de:

- Baterías.

- Controlador.
- Motor eléctrico.
- Sistema de frenos

La secuencia de operación de las motocicletas eléctricas comienza desde las baterías al controlador, y desde este se envía la energía adecuada al motor, el cual se encarga de dar el impulso a la moto.

**Baterías.** Según (Díaz, 2010) la generación eléctrica de origen renovable es intrínsecamente intermitente, por lo tanto, a medida que aumenta su contribución a la producción eléctrica total, se hace más necesario disponer de sistemas de almacenamiento masivo de la energía que permitan un mejor ajuste entre la producción y la demanda.

Entre las numerosas tecnologías de almacenamiento de energía que existen, las baterías son de las más utilizadas para diversas aplicaciones.

(Rodríguez & Chacón, 2015) mencionan que el vehículo eléctrico almacena la energía y la emplea cuando surge la necesidad de movilidad, por lo tanto, no consume energía de la red en el momento que la utiliza. (p.122)

**Controlador.** El controlador es uno de los elementos más importantes junto con el motor y la batería para el correcto funcionamiento de una motocicleta eléctrica. Gracias al desarrollo de la tecnología en el ámbito de la electrónica el controlador ha evolucionado significativamente obteniendo controladores más eficientes y de menor tamaño.

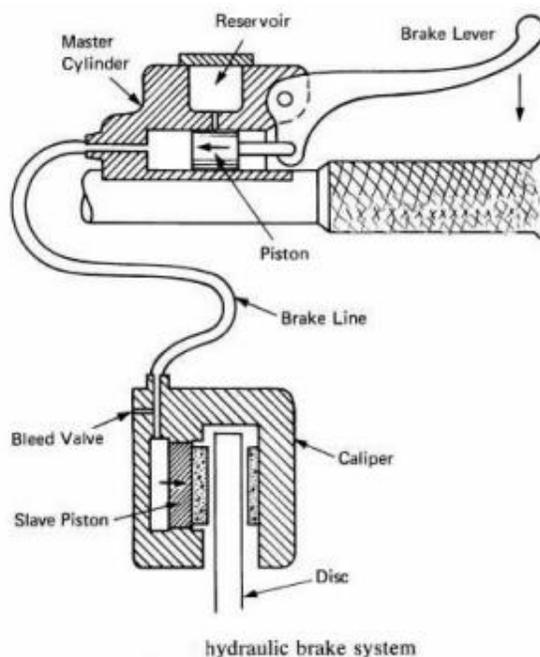
Este elemento cumple diversas funciones tales como el de regular la velocidad y el par del motor eléctrico. El objetivo que cumple el controlador es la limitar el arranque del motor ya que este puede exigir valores altos de intensidad, tanto como las baterías o la fuente de suministro se los permitan.

**Motor eléctrico.** Es el encargado de transformar la energía eléctrica y conmutada que procede del inversor en energía mecánica para mover el motor y consecuentemente la motocicleta.

**Sistema de frenos.** Freno tradicional: (Guizien, 2018) menciona que, al frenar, la energía cinética se convierte en calor. Este proceso tiene una perfecta armonía con el principio de conservación de la energía. Así, la moto disipa parte de su energía cinética al frenar en forma de calor gracias a la fricción provocada entre el disco de freno y las pastillas de freno. (p. 25)

## Figura 5

### *Freno hidráulico convencional*



*Nota.* Freno hidráulico convencional de una motocicleta. Tomado de (Guizien, 2018)

Hay que resaltar también que en una motocicleta eléctrica existen dos frenos: el freno delantero y el freno trasero. El freno delantero se maneja mediante una manija, localizada en el manubrio derecho. El freno trasero se activa igualmente mediante una manija, localizada en el manubrio izquierdo. Esta información es importante para la incorporación del freno regenerativo si fuese el caso.

Freno eléctrico: En las motocicletas eléctricas modernas se ha implementado estos frenos eléctricos o también conocidos como frenos regenerativos. Existen diversas formas de incorporar dicha función, por ejemplo, al momento de soltar el manubrio del acelerador, la motocicleta entra en modo de freno regenerativo recuperando la energía y almacenándolas nuevamente en las baterías. La otra opción es la frenada regenerativa que se produce cuando se usa el manubrio del freno, parte de esta energía es recuperada.

### Figura 6

*Moto eléctrica Davinci DC100*



*Nota.* Moto eléctrica Davinci DC100 con sistema de frenado regenerativo. Tomado de (Juaréz, 2021)

### ***Ventajas y desventajas de una moto eléctrica***

(Gonzalez, 2020) menciona que como en todo vehículo, estos también tienen sus pros y sus contras. Entre las ventajas resaltan las siguientes:

- El costo de carga de la moto eléctrica representa tan solo el 10% del costo de combustible que usa una moto convencional a gasolina
- Son prácticamente silenciosas.
- No emiten contaminantes directos al ambiente.

- No es necesario acudir a una electrolinera, ya que la carga se la puede realizar con la energía del hogar.
- Es económica, ya que, por ejemplo, no se necesitan cambios de aceite.

A continuación, se detalla las desventajas:

- Los gastos iniciales serán mayores que en la moto a gasolina.
- La autonomía es un limitante, sino se le carga continuamente.
- El tiempo de carga es mayor.
- La velocidad máxima es mucho menor a comparación de una moto a gasolina.
- Hay escasez de enchufes eléctricos en las calles.

Sin duda alguna, una motocicleta eléctrica siempre es una buena elección para poder ayudar al cuidado del medio ambiente, reduciendo la contaminación y apoyando la creciente lucha en la ecología, tan necesaria para cuidar el planeta. (párr. 3)

## **Tipos de baterías del vehículo eléctrico**

### ***Batería de plomo-ácido***

(Rodríguez & Chacón, 2015) mencionan que Gastón Planté fabricó las primeras baterías de Plomo-ácido. Sigue siendo la batería más utilizada, aunque con numerosas modificaciones y mejoras en su diseño, relacionadas con la aplicabilidad de las mismas. (p.123)

### **Figura 7**

#### *Batería de Plomo-ácido*



*Nota.* Ejemplo de batería de Plomo-ácido de tipo AGM, habitualmente utilizada en la tracción de vehículos eléctricos. Tomado de (Rodríguez & Chacón, 2015)

La vida útil de las baterías de Plomo-ácido es mucho más corta ya que solo tiene aproximadamente 500 ciclos de carga completa y tienen una menor resistencia de autodescarga comparada con las baterías de litio.

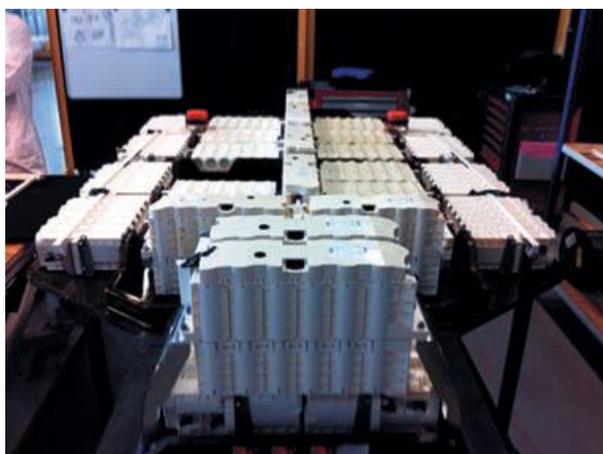
### ***Batería de níquel-hidruros***

(Rodríguez & Chacón, 2015) mencionan que el desarrollo de la batería sellada de Níquel-Cadmio llevó a que se extendiera su uso en aplicaciones portátiles. El dominio de esta tecnología en el mercado de los dispositivos portátiles recargables fue suplantado por el sistema de Níquel-hidruros en la década de los noventa, por su mayor energía específica y densidad de energía frente al Níquel-Cadmio tradicional. (p.124)

Este tipo de baterías se usan muy poco ya que son de un peso elevado, lo que aumenta el peso total del vehículo eléctrico, perjudicando al rendimiento y a la autonomía de la misma. Además, son menos compactas que las baterías de litio, por lo que no es una apuesta eficiente.

### **Figura 8**

*Batería de Níquel hidruros metálicos*



*Nota.* Ejemplo de batería de Níquel hidruros metálicos para la tracción de vehículos eléctricos grandes. Tomado de (Rodríguez & Chacón, 2015)

### ***Batería de níquel-Cadmio***

La energía específica y densidad de energía de las baterías recargables de Níquel-Cadmio no tuvieron mejoras significativas durante la última década, y actualmente se encuentran en 35-50 Wh/kg y 100-120 Wh/l respectivamente. Mediante el uso de nuevas aleaciones para almacenamiento de hidrógeno, se ha obtenido un mejor rendimiento de las baterías de Níquel-hidruros metálicos, que suministran 75 Wh/kg y 240 Wh/l, y que se constituyeron desde entonces en la batería preferida por los constructores de vehículos híbridos, siendo en la actualidad el 90% de este mercado. (Rodríguez & Chacón, 2015, p.126)

### **Figura 9**

*Batería de Níquel-Cadmio*



*Nota.* Ejemplo de batería de Níquel hidruros metálicos para la tracción de vehículos eléctricos grandes. Tomado de (Sosa, 2021)

### ***Batería de litio-ión***

En la actualidad, la batería de Litio-ión representa la tecnología más implantada en equipos eléctricos y electrónicos pequeños y se proyecta como la firme candidata a ocupar un lugar de relevancia en el mercado del vehículo eléctrico a medio plazo. Estas baterías suministran actualmente una energía específica de 150 Wh/kg y una densidad de energía de 400 Wh/l, en los modelos cilíndricos pequeños utilizados para las aplicaciones electrónicas de consumo y para diversos modelos de vehículos eléctricos. (Rodríguez & Chacón, 2015, p. 126)

Su bajo peso y gran densidad energética la convierten en las mejores baterías para los vehículos eléctricos. Ofrecen hasta 1200 cargas y no requieren ningún tipo de mantenimiento.

En la actualidad son las baterías más usadas ya que disponen de tecnología más avanzada teniendo una vida útil superior y un mejor rendimiento a comparación de las baterías de ácido - plomo, llegando a tener entre 1000 y 2000 ciclos completos de carga.

### Figura 10

#### *Batería de Litio-ión*



*Nota.* Ejemplo de batería de Litio-ión para la tracción de vehículos eléctricos. Tomado de (Rodríguez & Chacón, 2015)

Las baterías de Litio-ión están formadas por pilas que utilizan compuestos de intercalación de Litio como materiales positivos y negativos. En el ciclo de una batería, los iones de Litio ( $\text{Li}^+$ ) alternan entre los electrodos positivos y negativos. Este mecanismo de funcionamiento también se conoce como rocking chair (mecedora). En el proceso de carga/descarga, los iones de Litio se insertan o extraen del espacio intersticial, entre capas atómicas dentro de los materiales activos. (Rodríguez & Chacón, 2015, p. 127)

## **Cargador de baterías del vehículo eléctrico**

(Grijalva, 2014, p.27) menciona que un cargador de batería es un dispositivo que se usa para proporcionar corriente o voltaje la cual se almacena al mismo tiempo. La corriente de carga depende de la tecnología y la capacidad de la batería con la que cuenta la moto eléctrica. Los tipos de cargadores de batería son los siguientes:

- **Sencillo:** Un cargador sencillo funciona enviando corriente y voltaje constantemente. Este tipo de cargador no modifica la corriente de salida guiándose en el tiempo de carga de la batería.
- **Con temporizador:** La corriente de salida de este tipo de cargador corta el flujo después de un tiempo predeterminado. Este tipo de cargador que se basa en Los temporizadores también tiene la desventaja de generar sobrecargas en las baterías, que, aunque sean las adecuadas, no están totalmente descargadas cuando empieza el ciclo de carga.
- **Inteligente:** La corriente de salida depende del porcentaje de carga que tenga la batería. Este tipo de cargador monitorea el voltaje de la batería, la temperatura y el tiempo de carga, proporciona una corriente de carga adecuada acorde al estado de la batería. El final del proceso de carga se establece cuando existe una adecuada relación entre voltaje, temperatura y tiempo.
- **Rápido:** Este tipo de cargador usa el circuito de control de la batería de la moto, para conseguir una carga rápida sin dañar algún elemento del circuito. La mayoría de estos cargadores disponen de un ventilador para controlar la temperatura durante el proceso de carga.
- **Inductivo:** Los cargadores inductivos funcionan a través de la inducción electromagnética proporcionando carga a la batería. La estación de carga de este tipo envía energía electromagnética por de medio de un canal inductivo hacia un dispositivo

eléctrico el cual almacena dicha energía en una batería receptora. Este tipo de carga se realiza sin que exista un contacto físico entre el cargador y la batería, no existe peligro porque no hay contacto eléctrico.

## Figura 11

### *Cargador de batería de Litio-ión*



*Nota.* Cargador de batería de Litio-ión 72 V 5A. Tomado de (Rodríguez & Chacón, 2015)

## Tipos de controladores

### ***Controlador multi switching***

Este controlador es el más simple en la limitación de velocidad, usa filas de baterías separadas por paquetes que suministran diversas tensiones. Como ejemplo se tiene el siguiente caso, si se dispone de un paquete de baterías que, unidas general 120 V, este puede ser separado en cuatro secciones, cada sección genera una tensión independiente de 40 V, en un principio, una sección de baterías está activada, dando 40 V, lo que limita la

tensión y la corriente en el inicio de rodaje. En tanto que el vehículo empieza a moverse, otra sección de baterías se conecta añadiendo 40 V, este paquete de tres secciones demuestra que el controlador dispone de 3 velocidades. (Bastidas & Cabrera, 2014, p.29)

### **Controlador de estado sólido**

Estos controladores se usan para el procesamiento de las señales y la gestión de la energía, en tanto que el procesador se activa, permite arrancar o detener el motor y habilitar los componentes electrónicos, que reciben órdenes directas del usuario. También está equipado con diversas funciones de protección, como la usada contra caídas de tensión o sobre corrientes. (Bastidas & Cabrera, 2014, p.30)

### **Figura 12**

*Controlador de 36 V, 1000 W*



*Nota.* Controlador de velocidad cepillado de motor de 36 V, 1000 W. Tomado de (Amazon, 2022)

### **Controlador PWM (modulación por ancho de pulso)**

Este tipo de controlador se usa en la mayoría de los vehículos eléctricos modernos. Se enciende y se apaga a velocidades muy altas para controlar la rapidez con que desea ir. Se refiere a un dispositivo sólido que utiliza un modulador de ancho de pulso que envía ráfagas cortas de corriente al motor en pulsos a una tasa de 15 kHz.

**Figura 13***Controlador PWM*

*Nota.* Controlador PWM de Velocidad de Motor DC 10-60V 20A 1200W. Tomado de (Electronilab, 2022)

**Motores eléctricos de corriente continua**

Los motores eléctricos de corriente continua como su nombre lo indica, son los que funcionan con corriente continua o también conocida como corriente directa. Estos motores crean un campo magnético que actúa sobre el rotor o inducido del motor convirtiendo de esta forma la energía eléctrica en energía mecánica. .

Existen diferentes tipos de motores de corriente continúa dependiendo de cómo estén conectados los bobinados. (Bastidas & Cabrera, 2014, p.26)

***Motor eléctrico Brushless***

Esta clase de motores también se los conoce como motores eléctricos pm, estos son conmutados electrónicamente (ECM), es un tipo de motor sin escobillas que tiene control del par y velocidad. Estos motores usan un sensor de fuerza electromagnética para establecer la posición del rotor y realizar la función de conmutación.

Este tipo de motor no presenta el desgaste de escobillas y ruido asociado a los motores de corriente directa. (Bastidas & Cabrera, 2014, p.27)

### Figura 14

*Motor sin escobillas (Brushless)*



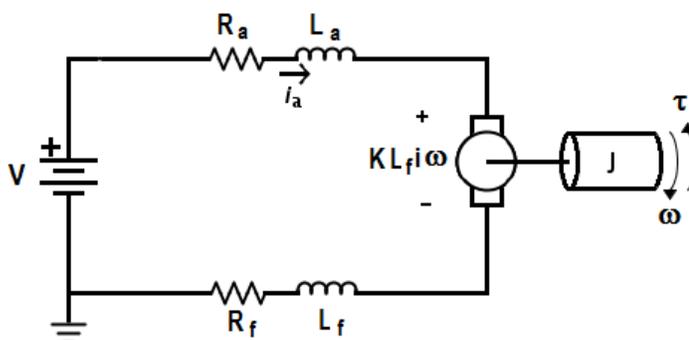
*Nota.* Motor sin escobillas (Brushless). Tomado de (Martínez, 2021)

### **Motor tipo serie**

El motor tipo Serie es el más utilizado para motocicletas eléctricas, debido a que desarrolla un gran torque en bajas revoluciones. Este tipo de motor adquiere dicho nombre porque su devanado de campo está conectado en serie con el inducido. (Abatta & Moya, 2013)

### Figura 15

*Circuito eléctrico equivalente del motor tipo Serie*



*Nota.* Circuito eléctrico equivalente del motor tipo Serie. Tomado de (Barahona, 2018)

### ***Motor tipo Shunt***

El motor Shunt tiene una similitud en su construcción a comparación del motor tipo Serie, con excepción que este tiene devanados de campo y de armadura en conexión paralelo. El motor está conectado en paralelo con el inducido, en lugar de en serie, debido a que el campo devanado se coloca en paralelo con el inducido, se llama un devanado en derivación. (Abatta & Moya, 2013)

### **Figura 16**

*Típico motor Shunt*



*Nota.* Típico motor Shunt. Tomado de (Abatta & Moya, 2013)

### ***Motor tipo Compound***

El motor tipo Compound o también conocido como compuesto es una combinación entre un motor de tipo Shunt y el motor tipo Serie, mezclando características de ambos, obteniendo una característica híbrida.

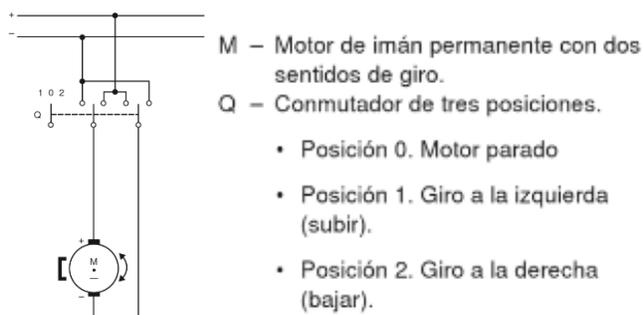
El motor de corriente continua tipo Compound posee mayor torque que un motor Shunt, debido a la conexión en serie en el campo. Además, posee una velocidad constante debido al devanado de campo en derivación. (Abatta & Moya, 2013)

### ***Motor de imán permanente***

Es un tipo de motor de corriente continua con escobillas, cuyos polos son unos imanes permanentes. Estos imanes permanentes, son los que producen el campo del estator. El motor de imán permanente representa la sencillez de un motor eléctrico donde el imán permanente produce un flujo magnético con una pequeña masa, los imanes son fabricados a base de samarian y neodymiun. (Minguela, 2016)

### **Figura 17**

*Esquema de funcionamiento del Motor de imán permanente*



*Nota.* Esquema de funcionamiento del Motor de imán permanente para accionar los cristales de una puerta. Tomado de (Roldán, 2014)

En los últimos años ha evolucionado mucho la tecnología que se refiere a la construcción de imanes permanentes contruidos a partir de tierras raras, consiguiendo imanes de gran potencia y duración, lo que permite fabricar motores con potencia y par elevados, si se lo compara a su pequeño volumen. (Roldán, 2014)

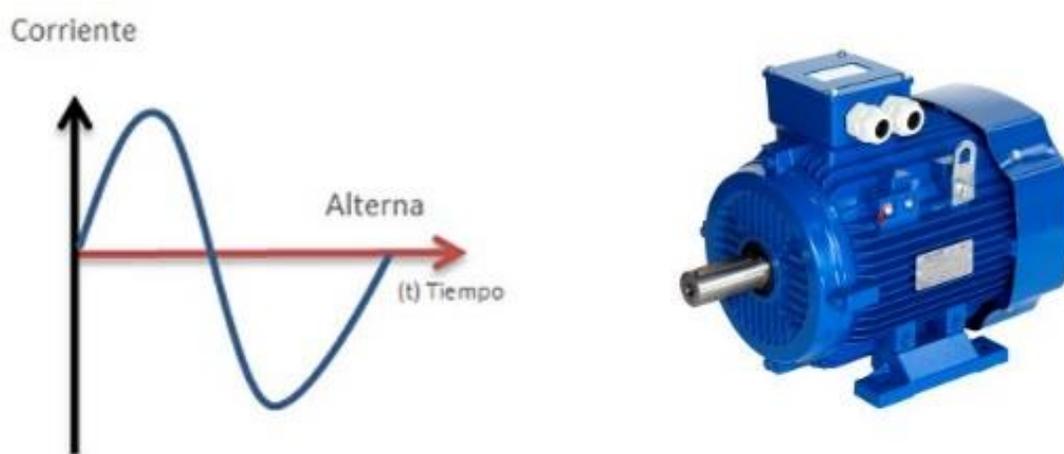
### **Motores de corriente alterna**

Son aquellos motores eléctricos que funcionan que trabajan con corriente alterna. Estos motores basan su funcionamiento en la obtención de un campo magnético giratorio. En relación a la corriente de alimentación, se tiene motores monofásicos y motores trifásicos. Los motores

de corriente alterna se utilizan principalmente en máquinas como bombas, ventiladores industriales, cintas transportadoras, centrifugadoras, trituradoras, extrusoras, enfriamiento y refrigeración, mezcladoras, compresores, cortadoras, grúas, entre muchas otras aplicaciones. (Grijalva, 2014, p.35)

### Figura 18

*Motor de Corriente Alterna*



*Nota.* Motor de Corriente Alterna. Tomado de (García, 2022)

### **Motor síncrono**

En este tipo de motor su velocidad de giro es constante y depende de la frecuencia de la tensión de la red eléctrica a la que esté conectado y por el número de pares de polos del motor, dentro de este campo giratorio puede haber un electroimán, que gira a la misma velocidad que el campo. siendo conocida esa velocidad como "velocidad de sincronismo". Este tipo de motor contiene electromagnetos en el estator del motor que crean un campo magnético que rota en el tiempo a esta velocidad de sincronismo. (Grijalva, 2014, p.35)

### ***Motor asíncrono***

En este tipo de motor existe dentro del campo un bobinado sometido a inducción, aparece una corriente eléctrica y por tanto la fuerza de Lorentz. El giro será más lento que el del campo giratorio. También son conocidos como motores de inducción. (Grijalva, 2014, p.35)

### **Infraestructura de recarga del vehículo eléctrico**

Según (Guillén, 2009) menciona que la existencia de la infraestructura de recarga de energía es un factor fundamental para apoyar la implantación a gran escala de los VE. Si no existe una red con la que se puedan recargar los vehículos en cualquier lugar, no habrá cabida para el VE.

Entre las tecnologías que se están desarrollando, además de los puntos de recarga situados en las casas de los usuarios de VE, se encuentra el equivalente a una estación de servicio o “electrolinera”.

El concepto de las “electrolineras” nace de PBP. La idea se basa en tener una estación de servicio para los VE donde puedan recargarse las baterías en cuestión de minutos, así como cambiar la batería por una con carga completa. (p.49)

(Rodríguez & Chacón, 2015) mencionan que los terminales de recarga son aquellos que, independientemente de la rapidez con la que presten el servicio, pueden ser telegestionados por el gestor de carga que los opera, a fin de controlar en todo momento las posibles incidencias que se puedan dar, registrar todos los eventos y relaciones con clientes que pueda tener, y maniobrar su intensidad en función de la conveniencia para el sistema en cada momento. (p.123)

### **Tipos de estaciones de carga**

En su informe de Movilidad Eléctrica, (López & Galarza, 2017, p.16) comentan que existen distintos niveles de estaciones de carga con variaciones en la potencia y rango logrado

por minuto de carga. También existen distintos proveedores que ofrecen sistemas de carga particulares y que muchas veces no son compatibles, lo que depende del mercado.

## Energía eólica

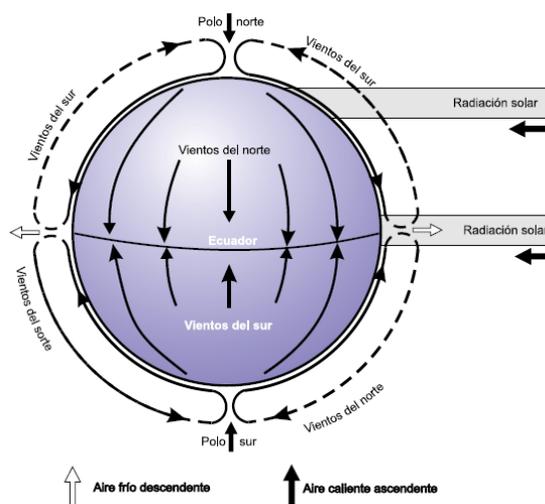
### Origen

Según (Pérez, 2009, p.47) menciona que la energía eólica no es más que la energía cinética de una masa de aire en movimiento. Su origen se encuentra en la existencia sobre la Tierra de masas de aire a diferentes temperaturas, originadas por diferentes intensidades de radiación solar, a nivel global o local, las cuales producen corrientes ascendentes y descendentes, formando anillos de circulación del aire. La energía eólica es, por consiguiente, un pequeño porcentaje de la energía solar incidente sobre el planeta.

Si se tiene en cuenta el movimiento rotacional de la Tierra, el modelo de circulación global del aire sobre la misma se complica. El movimiento de rotación de la Tierra da como resultado a la aparición de las fuerzas de Coriolis, las cuales actúan sobre la masa de aire en movimiento desviándola hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur.

### Figura 19

#### *Circulación atmosférica general*



*Nota.* Circulación atmosférica general. Tomado de (Pérez, 2009)

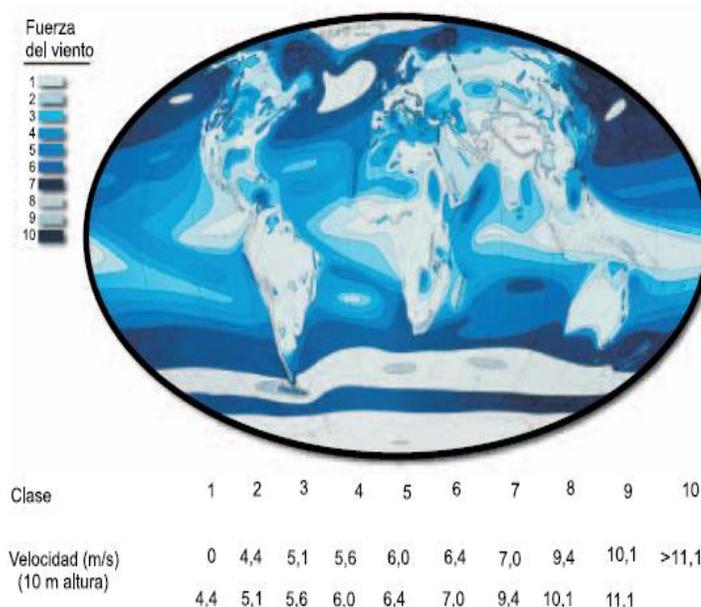
### **Potencial energético**

Es variable, en función de la hora del día, del día del año, de la situación geográfica general y de la topografía local. Por razones técnicas, es imposible extraer toda la energía cinética existente en una corriente de aire.

A título de ejemplo, en un viento de 8 m/s de media anual, pueden extraerse alrededor de 2.800 kWh por m<sup>2</sup> y año. Un viento de 13 m/s, a través de una superficie de 150 m<sup>2</sup>, tiene una potencia de 198 kW. (Pérez, 2009, p.47)

### **Figura 20**

*Distribución estimada de la velocidad del viento*



*Nota.* Distribución estimada de la velocidad del viento. Tomado de (Peréz, 2009)

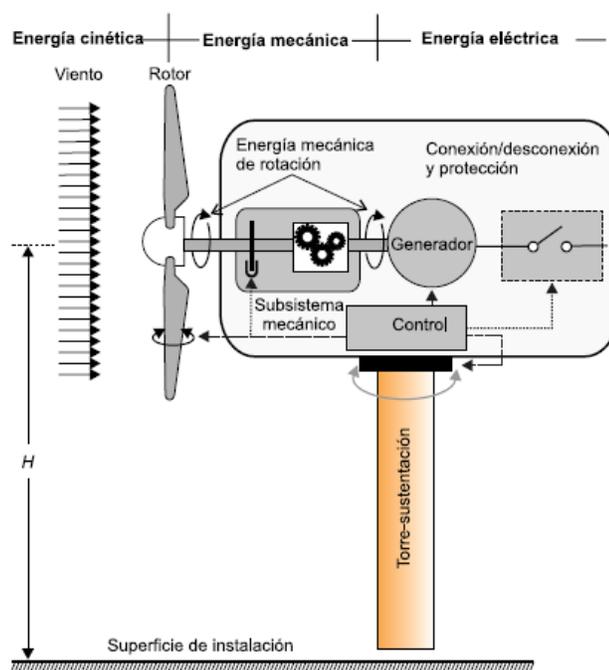
### **Formas de aprovechamiento**

De acuerdo a (Pérez, 2009, p.47) menciona que el aprovechamiento de esta fuente energética es su conversión directa en energía mecánica a través del giro del eje de la turbina eólica con una cierta potencia.

Esta energía mecánica puede transformarse posteriormente en energía potencial (bombeo) o energía eléctrica (por accionamiento de un generador eléctrico acoplado al eje de la turbina). La energía eólica no se distribuye uniformemente sobre el planeta, ni tampoco se mantiene constante a lo largo de todo el año.

## Figura 21

### Funcionamiento de un aerogenerador



*Nota.* Transformaciones de energía en un aerogenerador. Tomado de (Pérez, 2009)

### Producción y consumo

Por las características de esta energía, la producción y el consumo son prácticamente idénticos. Toda la energía eléctrica producida en los aerogeneradores se inyecta en la red.

En todo el mundo hay instalados más de 59 GW, con un elevado crecimiento anual. Destacan Alemania 18,43 GW, seguida de España con 10,02 GW y Estados Unidos con 9,2 GW. (Pérez, 2009, p.48)

## **Reservas**

La energía eólica almacenada en los vientos en todo el mundo se estima entre 2.500 y 5.000 TWh año, de los cuales entre un 1% y un 2% serían recuperables. La energía eólica no se distribuye uniformemente sobre el planeta, ni tampoco se mantiene constante a lo largo de todo el año. (Pérez, 2009, p.48)

## **Ventajas y desventajas**

La energía eólica ofrece múltiples beneficios a las empresas y a la sociedad en general que apuestan por ella al contribuir en la disminución en el impacto del cambio climático. A continuación, están las siguientes ventajas:

- **Inagotable:** una de las primeras ventajas de la energía eólica es que es una de las energías renovables porque el viento es un recurso inagotable. Esto significa que siempre se puede contar con la fuente original que produce la energía
- **Limpia:** se trata de una energía completamente limpia. De hecho, esta es quizás su principal ventaja cuando se la compara con otros tipos de energía. La energía eólica no produce ningún tipo de residuo, lo que significa que su uso no contribuye a la destrucción de los ecosistemas
- **Es energía autóctona:** esto permite favorecer la independencia energética, ya que, aunque hay países que cuentan con mayor índice de vientos, se puede encontrar en todo el mundo.
- **Facilidad de montar y desmontar los parques eólicos:** la tecnología necesaria a la hora de implementar un parque eólico permite que se lleven a cabo de forma sencilla y bastante efectiva.
- **Poco impacto en el suelo:** los parques eólicos tienen un impacto muy pequeño en el suelo y en su erosión. Esto se debe tanto a la ausencia de residuos contaminantes como al hecho de que ocupan poco espacio

Dentro de las desventajas de la energía eólica están las siguientes:

- Uno de los primeros inconvenientes de la energía eólica es que no siempre hay viento, por lo que necesita el respaldo de otro tipo de energías para esos momentos (ya sean contaminantes o limpias).
- Dificultad en la planificación debido a lo imprevisible del viento. Gracias a los modelos meteorológicos se ha mejorado bastante en este aspecto.
- Los aerogeneradores solo funcionan correctamente con ráfagas de viento entre los 10 y los 40 km/h. A velocidades menores la energía no resulta rentable y a mayores supone un riesgo físico para la estructura.
- La densidad energética del viento es baja, lo que exige que la cantidad de aerogeneradores sea elevada para que sea útil.
- Cuando están en funcionamiento, las palas o las aspas de los aerogeneradores suponen un peligro para la fauna de aves de la zona, que si durante el vuelo chocan con ellas suelen morir debido al impacto. (Arriols, 2020, párr. 6-25)

### **Generador eólico**

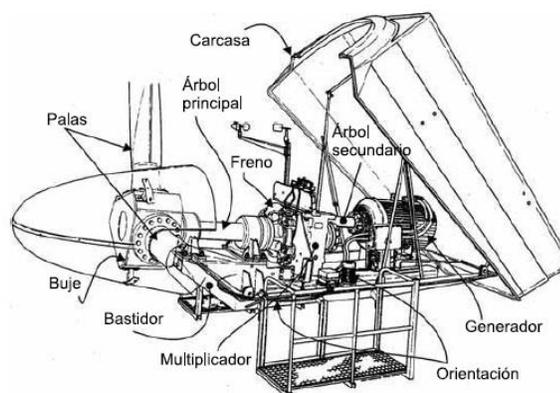
Un generador eólico es una máquina que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica por medio de la turbina y a través del generador eléctrico se transforma en electricidad.

### **Partes de un generador eólico**

Un generador eólico, también llamado aerogenerador, es un dispositivo que aprovecha la energía mecánica del viento para convertirla en electricidad. Está formado por un conjunto de subsistemas cuya finalidad es la de captar energía cinética del viento y convertirla en energía eléctrica de la forma más óptima posible.

## Figura 22

### Componentes de un aerogenerador



*Nota.* Diversos componentes de un aerogenerador. Tomado de (Pérez, 2009)

Está conformado por los siguientes subsistemas:

#### **Subsistema de captación**

El subsistema de captación es el encargado de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica de rotación. Está integrado por el rotor, el cual se compone de las palas y del buje. En función de la posición del eje de giro del rotor las máquinas eólicas se clasifican en máquinas de eje horizontal y de eje vertical. Estas últimas, debido a su bajo rendimiento, prácticamente han desaparecido del mercado actual. (Pérez, 2009, p.360)

## Figura 23

### Aerogenerador de eje vertical y de eje horizontal



*Nota.* Aerogenerador eje vertical (Darrieus) y aerogeneradores eje horizontal. Tomado de (Pérez, 2009)

(Pérez, 2009) menciona que los componentes más importantes del rotor son las palas. Ellas son los dispositivos que convierten la fuerza del viento en el par necesario para generar potencia útil. La forma básica y dimensiones de las palas vienen dadas inicialmente por el diseño global de la turbina y por consideraciones aerodinámicas. Dependiendo del número de palas de los rotores éstos se clasifican en rotores multipala (o rotores lentos), con un número de palas comprendido entre 6 y 24 y en rotores tipo hélice (o rotores rápidos). (p.360)

### ***Subsistema de transmisión mecánica***

Un tren de potencia completo de un aerogenerador está compuesto por todas las partes en rotación de la turbina. Éstas incluyen un árbol de baja velocidad (en el lado del rotor), acoplamientos, freno, caja multiplicadora de engranajes, y un árbol de alta velocidad (en el lado del generador). Toda turbina tiene un árbol principal, algunas veces denominado árbol de baja velocidad o árbol del rotor. El árbol principal transfiere el par torsor desde el rotor al resto del tren de potencia. (Pérez, 2009, p.372)

### ***Subsistema de generación eléctrica***

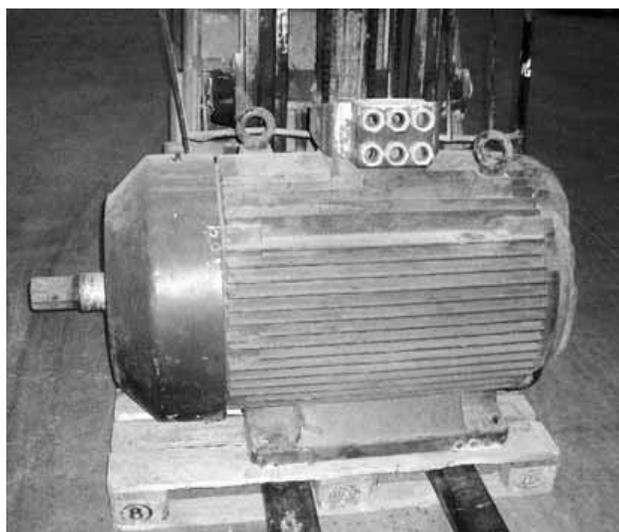
El sistema eléctrico de un aerogenerador incluye todos los dispositivos que intervienen en el proceso de conversión de la energía mecánica en energía eléctrica, si bien el generador constituye el foco de dicho sistema. Los generadores que actualmente se utilizan en las aeroturbinas suelen ser alternadores, que a su vez puede ser de inducción (asíncronos) o de excitación (síncronos).

Cada uno de estos tipos de generadores tiene diferentes características, tanto en los requerimientos de entrada como en las particularidades de la corriente de salida. Un generador asíncrono más empleado es el de tipo de jaula de ardilla, aunque también puede construirse de rotor devanado.

El generador asíncrono produce energía eléctrica, en el estator, cuando la velocidad de giro de su rotor, impulsado por el eje de alta, es superior a la velocidad de giro del campo magnético de excitación creado por el estator. (Pérez, 2009, p.374)

#### **Figura 24**

*Generador asíncrono*



*Nota.* Generador asíncrono usado en un aerogenerador canario. Tomado de (Pérez, 2009)

El generador síncrono precisa de un campo magnético giratorio para convertir la energía mecánica de rotación en energía eléctrica. Dicho campo magnético se puede crear mediante imanes permanentes situados en el rotor o por electroimanes alimentados por corriente continua. Las máquinas síncronas giran siempre a la velocidad de sincronismo.

Por tanto, para una frecuencia  $f$  dada, si se incrementa el número de pares de polos se disminuye la velocidad de sincronismo. Aprovechando esta característica algunos fabricantes han equipado a sus turbinas eólicas con generadores síncronos con pares de polos suficientes para eliminar la caja multiplicadora y reducir el tamaño de la máquina. (Pérez, 2009, p.375)

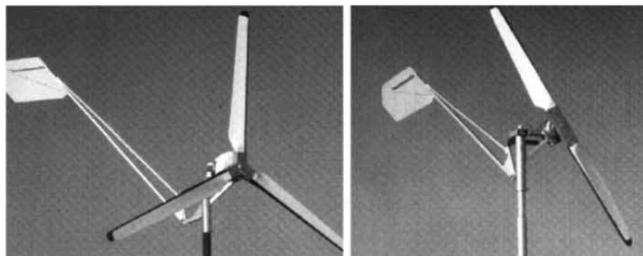
### ***Subsistema de orientación***

El cambio de dirección del viento incidente hace necesaria la orientación del rotor situándolo perpendicularmente a dicha dirección. Existen dos clases de sistemas de orientación: orientación activa y orientación pasiva. Las turbinas con orientación activa normalmente disponen de rotor a barlovento. Para realizar la orientación se utiliza la información obtenida a partir de los datos de dirección de viento y posición de la máquina.

La información conseguida es transmitida a un sistema de actuación, que generalmente es de tipo hidráulico o eléctrico. Los sistemas de orientación denominados pasivos cuentan con elementos mecánicos que aprovechan las propias fuerzas aerodinámicas para realizar las maniobras de orientación. (Pérez, 2009, p.378)

### **Figura 25**

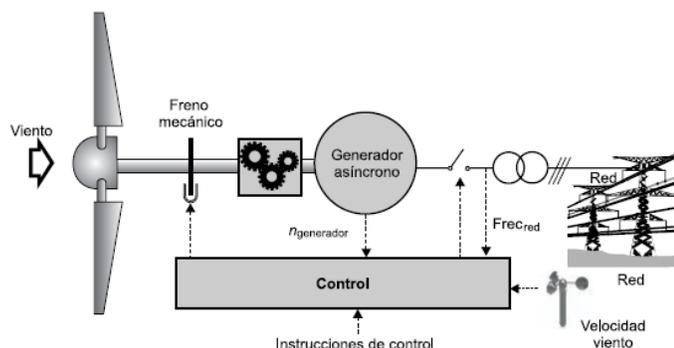
*Sistema de orientación por veleta*



*Nota.* Sistema de orientación por veleta de un aerogenerador. Tomado de (Pérez, 2009)

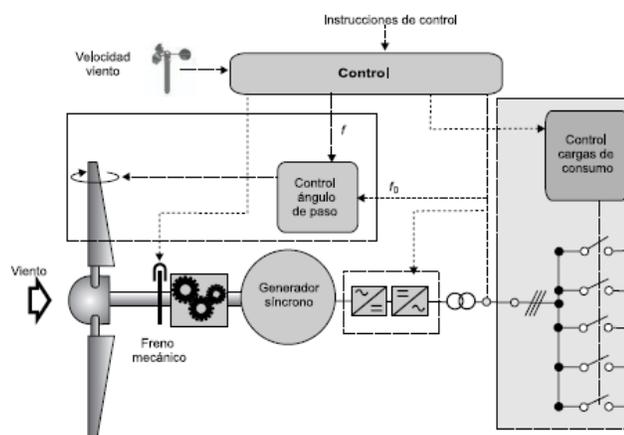
### ***Subsistema de regulación***

Para generar potencia de forma óptima los subsistemas de las turbinas necesitan de un subsistema de control que enlace la operación de todos ellos. El subsistema de control y regulación tiene la misión de incrementar la captación de energía cinética del viento, mejorar la potencia eléctrica generada y garantizar un funcionamiento seguro de la máquina. Este subsistema supervisa el funcionamiento de la máquina eólica y gestiona las secuencias de arranque, parada, entre otras, además de controlar al subsistema de orientación, regular la potencia captada del viento y la producida por el aerogenerador. (Pérez, 2009, p.380)

**Figura 26***Control de un aerogenerador asíncrono*

*Nota.* Control de un aerogenerador asíncrono de paso fijo conectado a la red. Tomado de (Pérez, 2009)

El control de la orientación del rotor de la turbina se caracteriza por un conflicto de intereses. Por un lado, la desviación de la orientación del rotor respecto a la dirección del viento se supone que debe ser tan pequeña como sea posible para evitar pérdidas de potencia. Por otro lado, el sistema de orientación no debe ser demasiado sensible, para evitar continuos y pequeños movimientos de orientación que reducen la vida de los componentes mecánicos. (Pérez, 2009, p.383)

**Figura 27***Control de un aerogenerador con sistema aislado*

*Nota.* Control y gestión de cargas en un sistema aislado. Tomado de (Pérez, 2009)

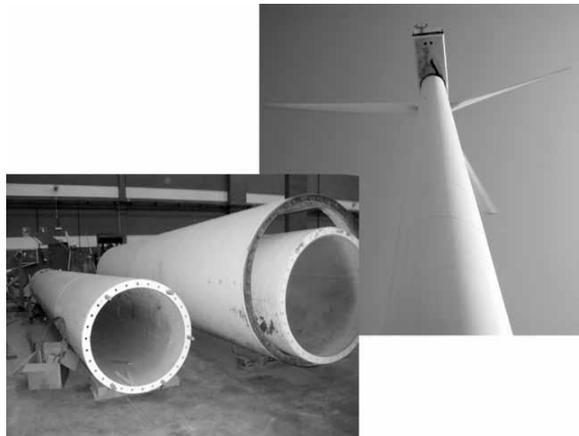
### ***Subsistema soporte***

El subsistema está constituido por la góndola y la torre. La góndola está formada por el bastidor o estructura portante de acero en el que se montan la mayoría de los distintos subsistemas de la máquina eólica y la carcasa que, diseñada de forma aerodinámica, los protege de los agentes atmosféricos. El bastidor, mediante un rodamiento, se acopla a la parte superior de la torre.

La carcasa o estructura de cierre y protección se fabrica generalmente de fibra de vidrio y poliéster, contando con refuerzos de acero. Se diseña para facilitar el acceso y las labores de mantenimiento, así como para permitir el correcto funcionamiento de los subsistemas que alberga. La torre es el elemento encargado de elevar el rotor de la máquina respecto del nivel del suelo. La altura mínima de la torre está condicionada por el diámetro del rotor del subsistema de captación y la altura máxima por el coste y la dificultad de instalación. (Pérez, 2009, p.384)

### **Figura 28**

*Torre de un aerogenerador*



*Nota.* Torre de un aerogenerador. Tomado de (Pérez, 2009)

## **Funcionamiento de un generador eólico**

El generador eólico o aerogenerador, es un molino que se vale de la fuerza del viento para mover sus aspas, creando así energía cinética, para luego transferirla a un generador eléctrico y convertirla en electricidad.

Un generador eólico está compuesto por hélices o aspas que giran al pasar el viento entre ellas; con este movimiento se va generando una diferencia de presiones que produce un movimiento giratorio en el eje principal del generador. Este eje está junto a una serie de engranajes que van aumentando la fuerza del movimiento y con eso se va generando la energía eléctrica. Es decir, el generador recibe energía de rotación y envía energía eléctrica. (Roldán, 2019, parr.8)

## **Tipos de generadores eólicos**

### ***Generadores eólicos de eje horizontal***

Son los que más comúnmente existen en el aprovechamiento de la energía eólica y los que tienen mayor resistencia. Se caracterizan por que su eje este paralelo al suelo. Con este generador se aprovecha mejor la fuerza del viento pues posee un mayor empuje que le permite alcanzar grandes velocidades de rotación y reduce la necesidad de utilizar muy seguido a la multiplicadora.

### ***Generadores eólicos de eje vertical***

Son poco comunes, aunque su uso en la actualidad ha aumentado. En este caso, el eje de rotación está perpendicular al suelo. Destaca porque son omnidireccionales, es decir, no requieren de la orientación automática. En contraposición a esto, resulta que para su funcionamiento se requiere algún sistema exterior que empuje a las paletas.

### ***Molinos de viento convencionales***

Al hablar de estos se resalta los antiguos molinos de viento que se hicieron tan famosos en Europa y que se han convertido en símbolo de muchas ciudades. En determinados

lugares aún se les utiliza con el fin de generar electricidad, pero en otros casos quedaron solo con fines arquitectónicos y turísticos.

### ***Aerogeneradores lentos***

Estos generadores tienen diversas palas y poseen un sistema de orientación mediante un timón o veleta, logrando así que el plano de la hélice esté a la dirección correcta del viento.

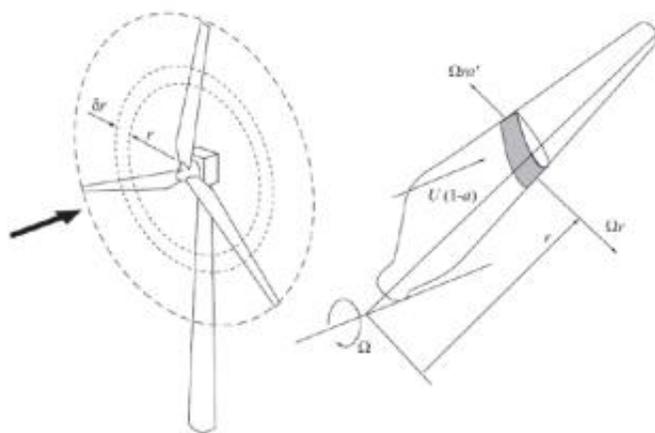
(Roldán, 2019, parr.8)

### **Aspa de un generador eólico**

El elemento de la pala es la superficie de espesor diferencial, obtenida al realizar un corte transversal a las palas, como se puede ver en la Figura 29. En este apartado se profundiza en los efectos que produce el viento sobre cada superficie o perfil aerodinámico y se estudian las fuerzas que actúan sobre el total de la pala. (Ramírez, 2019, p.28)

### **Figura 29**

*Palas de un aerogenerador*



*Nota.* Elemento de Pala de un aerogenerador. Tomado de (Ramírez, 2019)

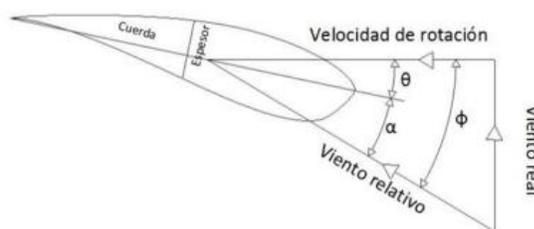
### **Características del perfil aerodinámico**

A continuación, se definen conceptos útiles para el estudio de un perfil aerodinámico como se puede observar en la Figura 30.

- **Cuerda:** Es la línea que une los puntos del perfil que se encuentran más alejados entre sí.
- **Espesor:** Es la distancia entre el borde superior e inferior del perfil, medida en dirección perpendicular a la cuerda.
- **Ángulo de ataque ( $\alpha$ ):** Es el ángulo que forma la cuerda y la velocidad relativa con la que incide el viento sobre el perfil.
- **Ángulo de calado o ángulo de paso ( $\theta$ ):** Es el ángulo que forma la cuerda del perfil con el plano de rotación de la pala.
- **Ángulo de incidencia o ángulo de flujo ( $\Phi$ ):** Es el ángulo que forma la velocidad real, la velocidad del plano de rotación de la pala. (Ramírez, 2019, p.29)

### **Figura 30**

#### *Perfil aerodinámico*



*Nota.* Características del perfil aerodinámico. Tomado de (Ramírez, 2019)

### **Fuerza de sustentación**

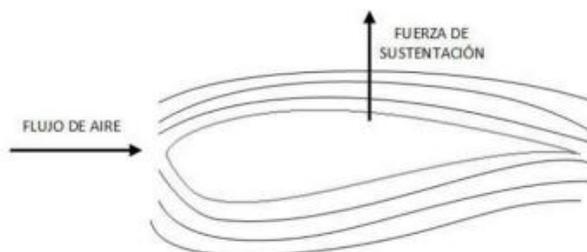
Todo cuerpo que se desplaza a través de un fluido, es propenso de experimentar el fenómeno de la sustentación. Las causas de este fenómeno son la forma, posición o régimen de giro del objeto en movimiento. Según el teorema de Bernoulli, al aumentar la velocidad de

un fluido, disminuye su presión. En seguida se describen tres casos diferentes en los que aparece este fenómeno:

1. Perfil asimétrico y ángulo de ataque igual a cero como se puede ver en la Figura 31. Las partículas de aire al entrar en contacto con el perfil se separan, y debido a la forma irregular del perfil respecto al plano de desplazamiento, la velocidad de las partículas que circulan por la parte superior será mayor que la velocidad de las partículas que se desplazan por la parte inferior; pues el camino que deben recorrer es mayor en el borde superior. Finalmente, la diferencia de velocidades genera una diferencia de presiones, y aparece una fuerza vertical ascendente.
2. Perfil simétrico y ángulo de ataque distinto de cero: aun siendo el perfil simétrico respecto a su cuerda, no lo es respecto al plano de desplazamiento y por tanto el resultado es el mismo que en el caso anterior.
3. Efecto Magnus como se puede ver en la Figura 32. Se trata de un caso particular de sustentación. La superficie gira sobre sí misma. En función del sentido de giro, el fluido se verá frenado en una de sus caras y acelerado en la otra. Este fenómeno aparece habitualmente en deportes como el tenis o el fútbol, los jugadores al golpear el balón imprimen sobre él un giro que unido al desplazamiento genera una trayectoria en forma de parábola. (Ramírez, 2019, p.30)

### Figura 31

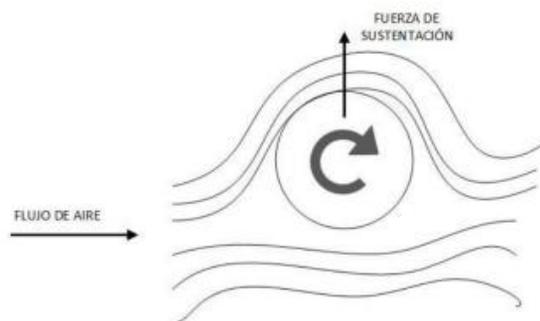
*Fuerza de sustentación*



*Nota.* Fuerza de sustentación sobre un perfil asimétrico. Tomado de (Ramírez, 2019)

## Figura 32

### *Efecto Magnus*



*Nota.* Efecto Magnus. Tomado de (Ramírez, 2019)

### **Fuerza de arrastre**

Esta fuerza actúa en sentido opuesto al movimiento del cuerpo. La presencia de viscosidad en los fluidos hace que aparezca una componente de fricción que frena el movimiento del objeto que lo atraviese. La fuerza de arrastre tiene un carácter sobre la producción de potencia en aerogeneradores, por eso es importante dotar a las palas de una forma aerodinámica adecuada con tal de reducir este efecto durante su funcionamiento. (Ramírez, 2019, p.31)

### **Coeficientes aerodinámicos**

De la teoría del elemento de pala, se desprenden tres coeficientes aerodinámicos que, como se ha dicho, permitirán determinar la magnitud de las fuerzas que actúan sobre los perfiles aerodinámicos y, en definitiva, sobre el total de la pala. (Ramírez, 2019, p.32)

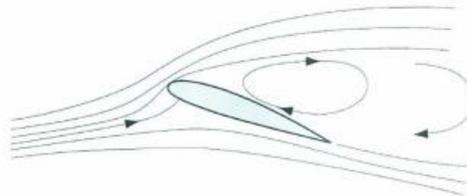
### **Coeficiente de sustentación**

El coeficiente de sustentación, depende en gran medida del ángulo de ataque del perfil. El valor de  $C_L$  aumenta linealmente con  $\alpha$  hasta alcanzar el ángulo crítico a partir del cual se dice que el perfil ha entrado en pérdida como se puede ver en la Figura 33. Al entrar en pérdida

la fuerza de sustentación que actúa sobre el perfil decrece a medida que  $\alpha$  aumenta. (Ramírez, 2019, p.32)

### Figura 33

*Flujo sobre un perfil orientado*



*Nota.* Flujo sobre un perfil orientado con un ángulo de ataques superior al crítico. Tomado de (Ramírez, 2019)

### **Coeficiente de arrastre**

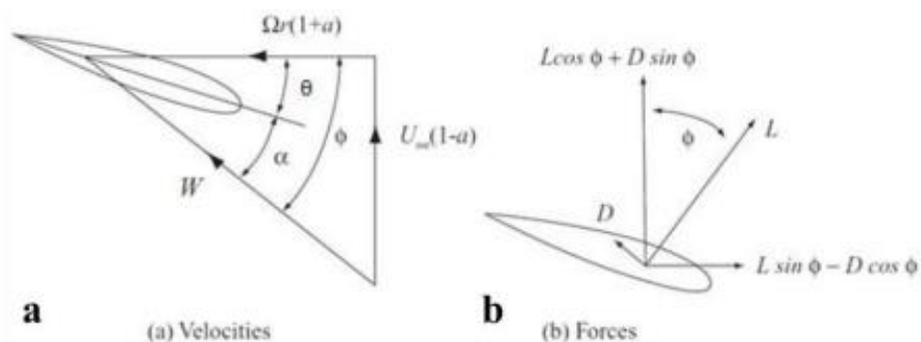
Como se ha dicho se debe minimizar el efecto del arrastre sobre el rotor eólico para hacer más efectiva la captación de energía, por lo que en el diseño de perfiles aerodinámicos se tiende a buscar coeficientes de arrastre relativamente bajo.  $C_D$  será pequeño mientras el ángulo de ataque también lo sea. Al entrar en pérdida, la fuerza de arrastre sobre el perfil aumenta rápidamente y el perfil deja de ser efectivo. (Ramírez, 2019, p.32)

### **Geometría de fuerza**

Si se recurre a la trigonometría es posible establecer relaciones entre las componentes de las fuerzas de sustentación y arrastre que afectan a un elemento concreto de la pala; de manera que, si se conoce el ángulo de incidencia del viento, su intensidad, y las características geométricas del perfil, es posible determinar el par y la potencia que provoca el viento sobre el rotor como puede verse en la Figura 34.

### Figura 34

Velocidad del viento y fuerza de sustentación sobre un perfil aerodinámico



*Nota.* a) Velocidad del viento y sus componentes sobre un perfil aerodinámico, b) Fuerza de sustentación y arrastre y sus componentes sobre un perfil aerodinámico. Tomado de (Ramírez, 2019)

### Aplicación Geo Tracker

(López, 2022, parr.1) menciona que Geo Tracker es una aplicación que permite grabar todas las rutas realizadas con un vehículo, con el objetivo de llevar un completo y exhaustivo registro de toda la actividad al aire libre. Todo esto lo realiza por medio del acceso a la ubicación real del dispositivo y su respectiva señal GPS las cuales trabajan junto con una conectividad a internet.

Entre la información que permite registrar Geo Tracker están los kilómetros recorridos, la velocidad máxima a la que se ha recorrido, la velocidad media del trayecto, la altura máxima a la que ha estado, la velocidad vertical y el tiempo empleado durante la trayectoria. Toda esta información se presenta de forma muy visual, acompañada de gráficos que permiten entender de mejor manera todos los datos sobre la ruta seleccionada.

Mediante esta aplicación se puede visualizar el ciclo de conducción realizado durante cada una de las etapas del recorrido.

## Capítulo III

### Diseño y construcción del sistema rotor generador

#### Descripción general del proyecto

El sistema de carga tipo rotor – generador es un prototipo de aspas conectadas a un motor eléctrico trifásico que permite aprovechar las corrientes de viento frontales que golpean en la parte frontal de la motocicleta eléctrica cuando está en movimiento. Esta energía eólica es aprovechada por el sistema de aspas para generar corriente alterna a través de un motor trifásico. Esta corriente alterna es regulada y rectificadora mediante un regulador de voltaje trifásico, la corriente directa rectificada es almacenada en una batería de ácido – plomo de 12 V y 47 Ah de capacidad.

La batería de ácido plomo se encarga de alimentar a un inversor de 750 watts de potencia el cual a su vez carga a la batería de litio propia de la moto eléctrica consiguiendo un aumento en la autonomía final de la misma.

El prototipo está constituido por varios elementos correctamente ensamblados que a continuación se explica la función que cumple cada elemento. El sistema de carga tipo rotor generador dispone de un motor eléctrico trifásico de 150 W de potencia de la marca Ninebot, este motor está ensamblado a su vez al sistema de aspas que fue impresa en 3D con un material denominado PETG.

El sistema de aspas junto con el motor eléctrico trifásico se monta sobre una estructura que fue impresa en 3D con un material denominado PLA. El sistema de carga tipo rotor – generador también consta de un colector de aire ubicado en la parte frontal de la estructura y cuya función es la de captar la mayor cantidad de aire. En el eje frontal del motor se encuentra ensamblado un elemento denominado rompe vientos cuya función principal es la de redireccionar las ráfagas de viento hacia el sistema de aspas para que exista un mejor aprovechamiento del viento.

El sistema de carga tipo rotor – generador está conectado a un voltímetro amperímetro Digital DC que se encarga de indicar el voltaje y corriente que ingresa a la batería auxiliar de ácido plomo facilitando la toma de valores.

Las funciones que cumple el sistema de carga tipo rotor – generador son:

- Aprovechar las corrientes de viento frontales que golpean en la parte frontal de la motocicleta eléctrica cuando está en movimiento.
- Generar corriente alterna a través del ensamblaje del sistema de aspas junto con el motor trifásico.
- Obtener corriente directa a través del rectificador trifásico la cual es almacenada en una batería de ácido plomo.
- Contribuir en el aumento de la autonomía final de la moto eléctrica a través del aprovechamiento de la energía eólica.

### **Figura 35**

*Prototipo de carga tipo rotor – generador*



*Nota.* Diseño final del prototipo de carga tipo rotor generador

### Especificaciones de requerimiento

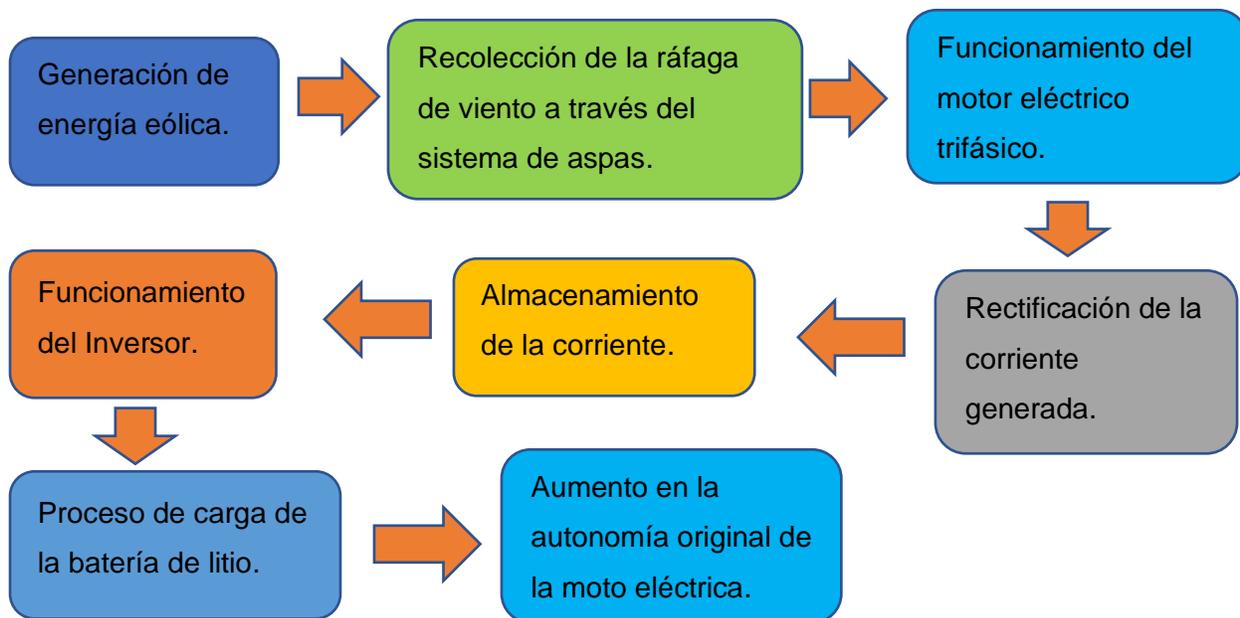
- Requiere de una velocidad de viento mínima de 5 m/s para romper la resistencia del motor eléctrico y que este empiece a generar corriente.
- Requiere líneas de conexión entre el motor eléctrico y el rectificador de corriente.
- Demanda de un voltímetro amperímetro Digital DC.
- Demanda de un soporte conectado al eje delantero para soportar al prototipo.

### Propuesta de funcionamiento mediante diagrama de bloque

Se detalla mediante un diagrama de bloques la propuesta donde se visualiza las líneas del proceso de funcionamiento del sistema de carga tipo rotor – generador, definiendo cuatro grupos esenciales para su funcionamiento como: captación de la energía eólica, funcionamiento del motor, rectificación de la corriente y almacenamiento de la corriente

**Figura 36**

*Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema de carga*



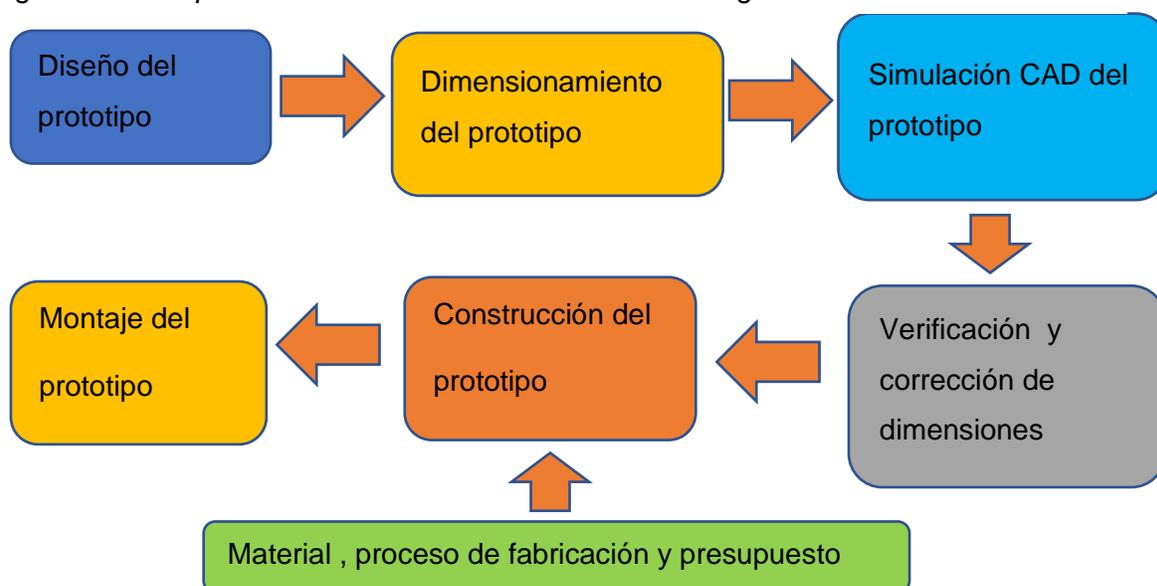
*Nota.* Funcionamiento del sistema de carga tipo rotor – generador

### Propuesta de construcción mediante diagrama de bloque

Se detalla mediante un diagrama de bloques la propuesta donde se visualiza las líneas del proceso de construcción del sistema de carga tipo rotor – generador, definiendo cuatro grupos esenciales para su construcción como: Diseño, dimensionamiento, correcciones y construcción.

**Figura 37**

*Diagrama de bloques de la construcción del sistema de carga*



*Nota.* Proceso de construcción del sistema de carga tipo rotor – generador

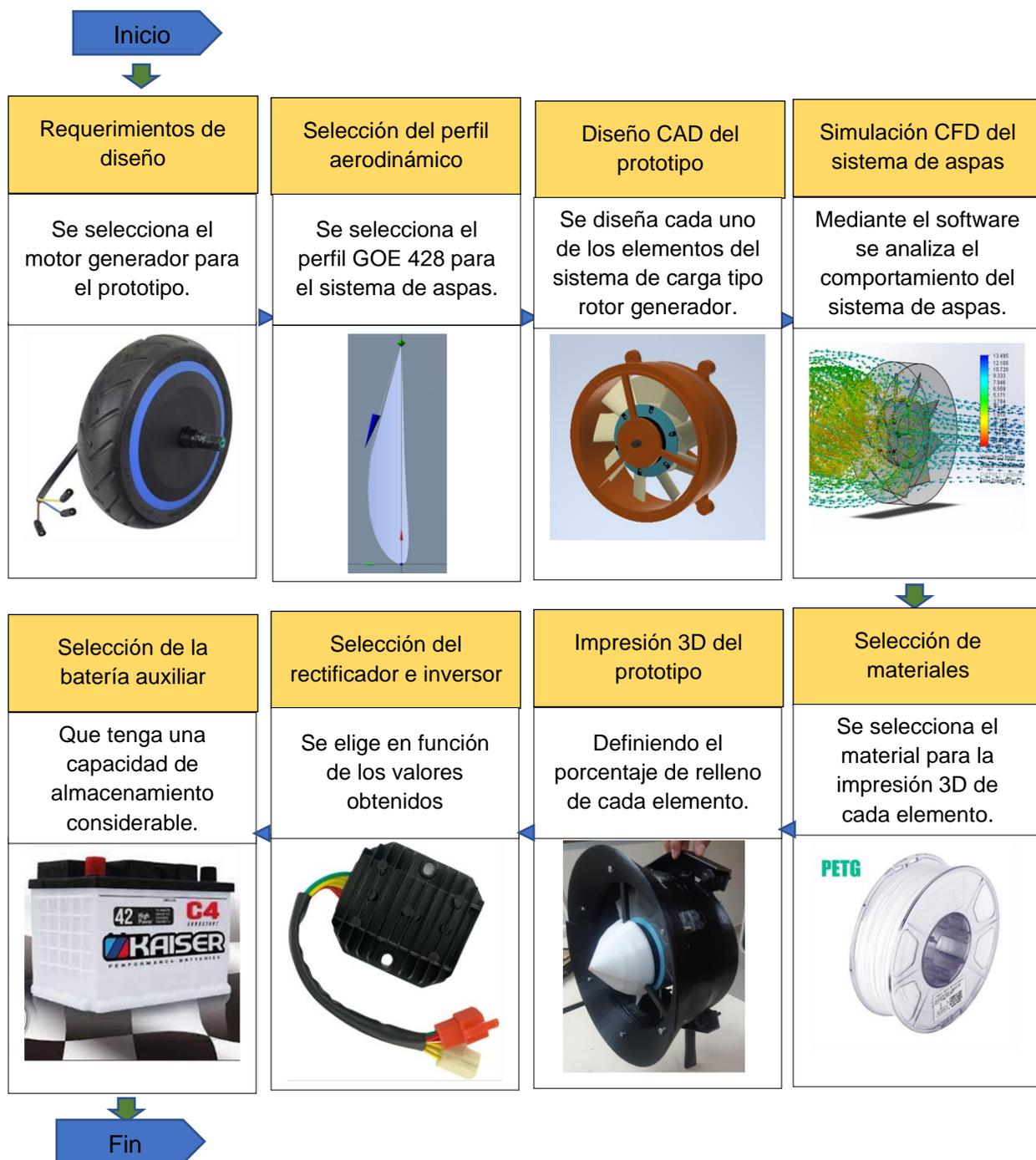
### Desarrollo del prototipo

El proceso de diseño se puede dividir en varios elementos claves, cada uno de estos sistemas son fundamentales para el correcto funcionamiento del prototipo y algunos se detallan profundamente. porque son la base fundamental para la construcción del prototipo. El prototipo de Rotor – Generador que se pretende diseñar consta principalmente de un motor de eje horizontal el cual va a estar conectado a unas aspas receptoras de la energía eólica.

El desarrollo de prototipo empieza con la estructuración de las fases que se deben seguir después de haber revisado la información necesaria y haber definido los requerimientos necesarios para obtener el sistema de carga eólico como se muestra en el siguiente flujograma.

**Figura 38**

*Flujograma de diseño*



Nota. Flujograma de diseño del sistema de carga tipo rotor generador.

**Figura 39**

Flujograma de funcionamiento



Nota. Flujograma de funcionamiento del sistema de carga tipo rotor generador.

## Consideraciones de diseño

El prototipo a desarrollar debe cumplir con las siguientes características generales para su correcto funcionamiento:

- Los componentes deben estar hechos de materiales ligeros, resistentes, y accesibles comercialmente, que permitan realizar una adecuada fabricación y un correcto ensamblado.
- Evitar el uso de transmisión mecánica entre el rotor y el generador con el objetivo de minimizar la pérdida de conversión de energía.
- La construcción idónea del prototipo permite realizar pruebas de campo en la ruta determinada, fácil de instalar y liviano, al mismo tiempo que proporcione rigidez, estabilidad, para contrarrestar los efectos de la vibración excesiva.
- Debe ser fácil de transportar y colocar para que pueda instalarse en la parte frontal de la moto eléctrica.

## Moto eléctrica usada para la investigación

### Características

A continuación, se detallan las características de la moto eléctrica que se usó para el desarrollo de esta investigación.

### Tabla 4

#### *Características de la moto eléctrica*

<b>Características de la moto eléctrica</b>	
<p style="text-align: center;"><b>Aspectos importantes de la moto eléctrica usada en el desarrollo de la investigación</b></p>	

<b>Características de la moto eléctrica</b>	
Motor Eléctrico	
<b>Motor eléctrico</b>	Motor eléctrico DC-QS-BLCD Brushless Direct Current
<b>Tipo de corriente</b>	Corriente Directa DC
<b>Potencia</b>	2000 W
Batería	
<b>Tipo de batería</b>	Litio 72 V
<b>Capacidad de almacenamiento</b>	22 Ah
Otras Características	
<b>Velocidad máxima</b>	56 km/h
<b>Autonomía</b>	55 km
<b>Peso total de la moto</b>	75 kg
<b>Tiempo de carga 100%</b>	5 horas 22 minutos
<b>Cargador</b>	86.4V-5A

*Nota.* Se visualiza las características generales de la moto eléctrica.

### ***Modelación de circuitos de alta, media y baja tensión de la moto eléctrica***

A continuación, se visualizó el esquema completo de todos los componentes de la moto eléctrica GET, la cual está conformada por una batería de Litio 72 V - 22 Ah, también consta con un breaker de seguridad de 25A. También se encuentra el controlador que es el encargado de gestionar el suministro de energía desde la batería al motor, al igual que sus otros componentes como el acelerador, alarma, indicador de velocidad, entre otros. Además, se encuentra accesorios como luces guías, luces altas, luces de carretera, direccionales y bocina. El diagrama electrónico permite entender el funcionamiento de la moto eléctrica y saber con exactitud cada

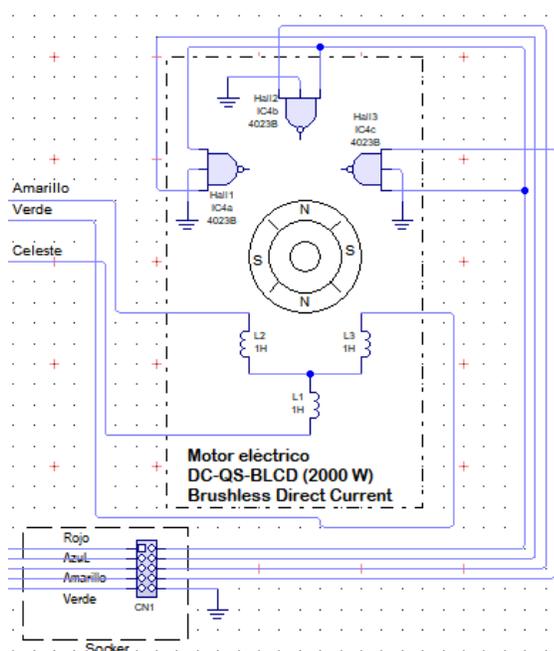
circuito con la finalidad de realizar conexiones al conectar cada fuente de energía extra o dispositivo de consumo, sin afectar al sistema general de la motocicleta eléctrica.

### Motor eléctrico

El motor eléctrico es el elemento encargado de transformar la energía eléctrica en energía mecánica. Este modelo de moto eléctrica cuenta con un motor DC-QS-BLCD de 2000 W de potencia. Este motor recibe la corriente directa generada por el inversor para alimentar sus fases y permitir el giro de la llanta.

### Figura 40

*Esquema eléctrico del motor DC-QS-BLCD*



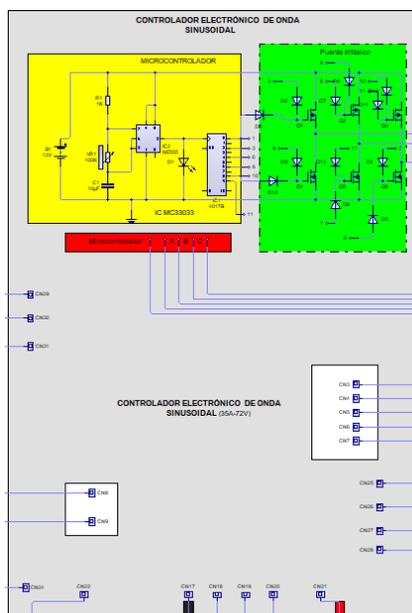
*Nota.* La imagen representa el esquema eléctrico del motor DC-QS-BLCD de la moto eléctrica.

### Controlador

Este elemento tiene la función principal de suministrar la corriente necesaria enviada por la batería hacia el motor acompañado de diferentes elementos que van al controlador. Al igual que los motores eléctricos se clasifican ya sea según su voltaje y potencia.

## Figura 41

Esquema eléctrico del Controlador electrónico



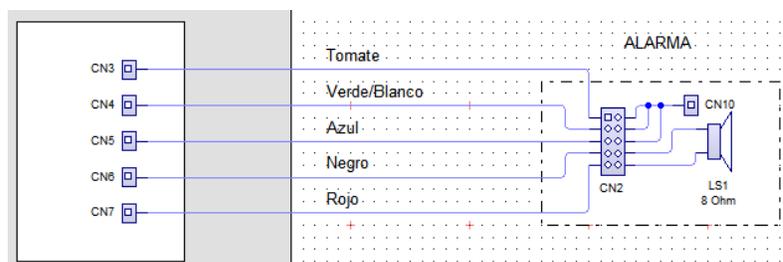
*Nota.* Esquema eléctrico del Controlador electrónico de la moto eléctrica.

## Alarma

Una alarma de moto es un sistema antirrobo que notifica al propietario, mediante señales acústicas cuando existe un intento de hurto o un comportamiento extraño cerca de la moto eléctrica.

## Figura 42

Esquema eléctrico de la alarma

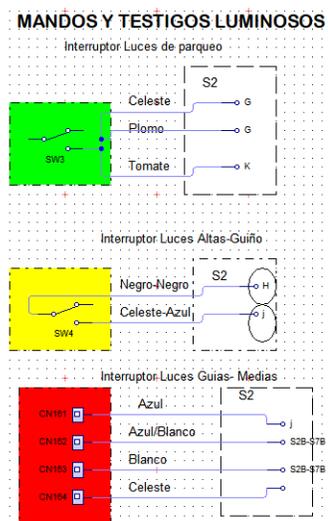


*Nota.* Esquema eléctrico de la alarma de la moto eléctrica.

## Mandos y testigos luminosos

Figura 43

Esquema eléctrico de los mandos y testigos luminosos



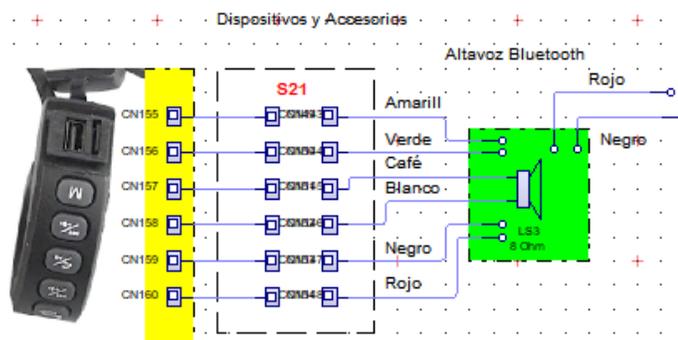
Nota. Esquema eléctrico de los mandos y testigos luminosos de la moto eléctrica.

## Dispositivos y accesorios

Este modelo de moto eléctrica cuenta con un sistema de audio con tecnología Bluetooth para un mejor confort al momento de conducir la moto.

Figura 44

Esquema eléctrico de los dispositivos y accesorios

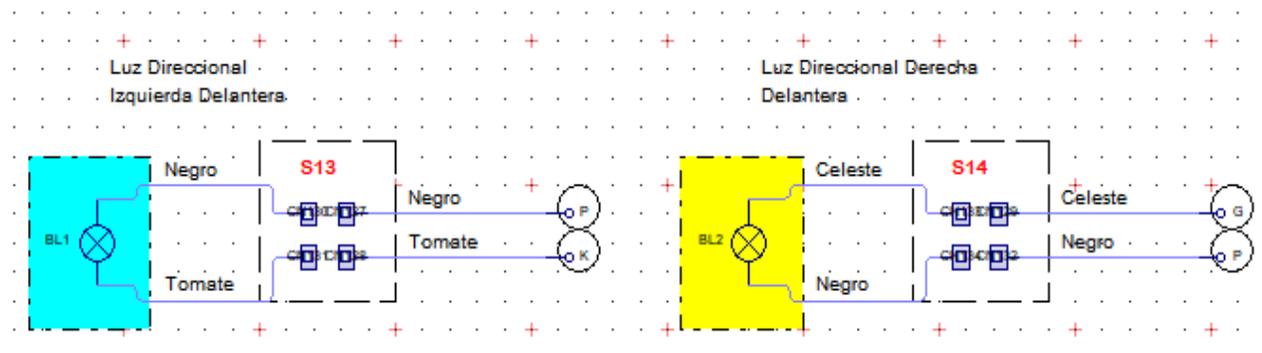


Nota. Esquema eléctrico de los dispositivos y accesorios de la moto eléctrica.

## Otros circuitos eléctricos de la moto

**Figura 45**

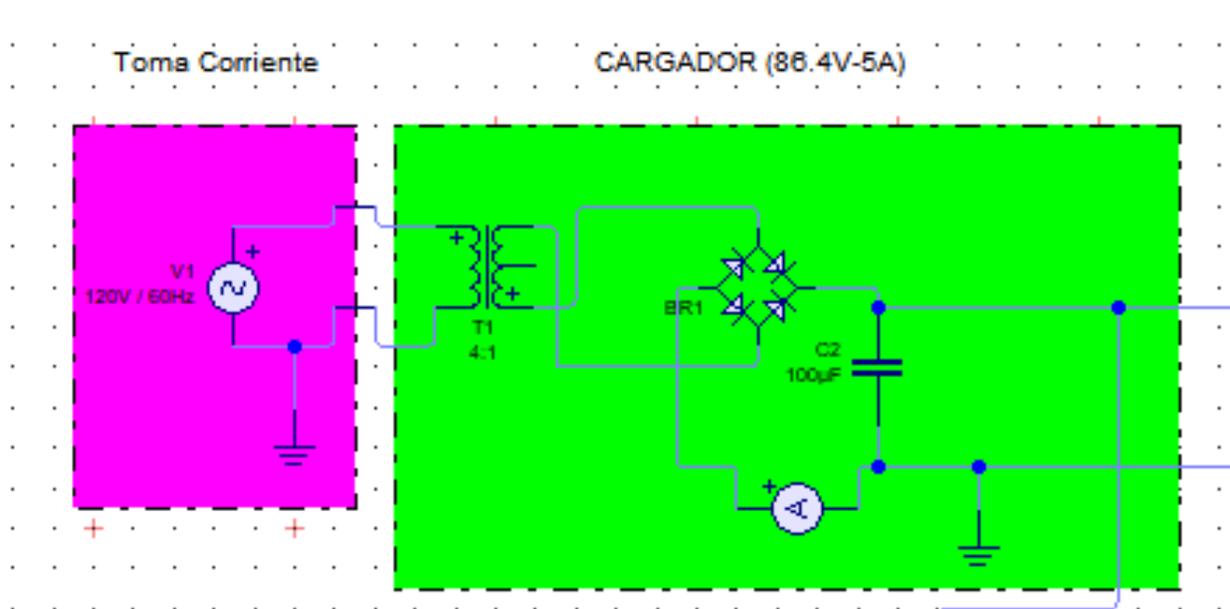
*Esquema eléctrico de las luces direccionales*



*Nota.* Esquema eléctrico las luces direccionales de la moto eléctrica.

**Figura 46**

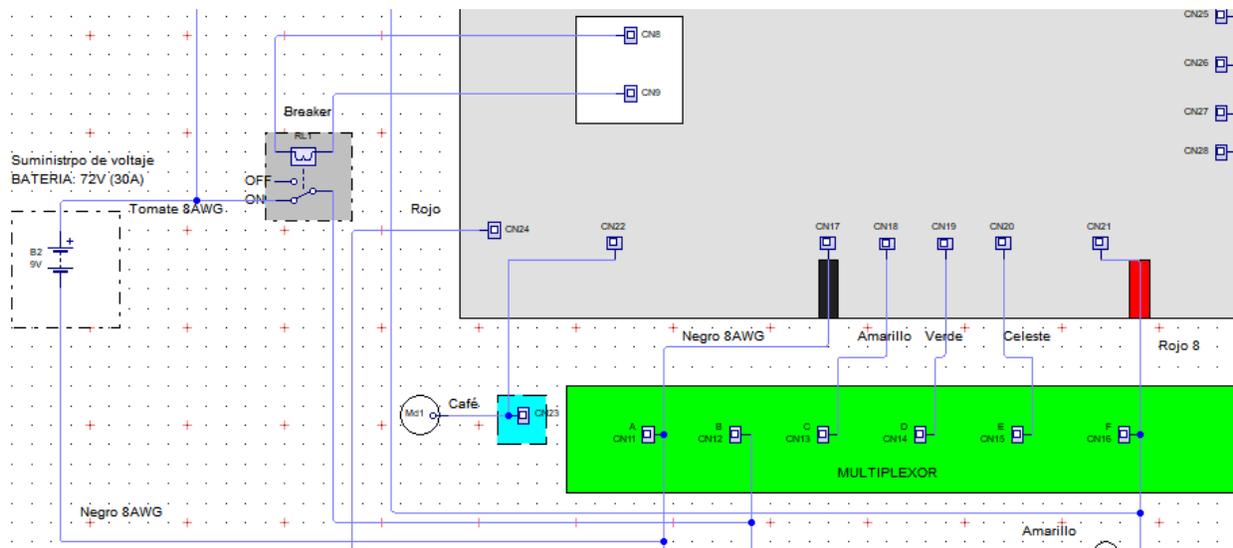
*Esquema eléctrico del cargador*



*Nota.* Esquema eléctrico del cargador de la moto eléctrica.

**Figura 47**

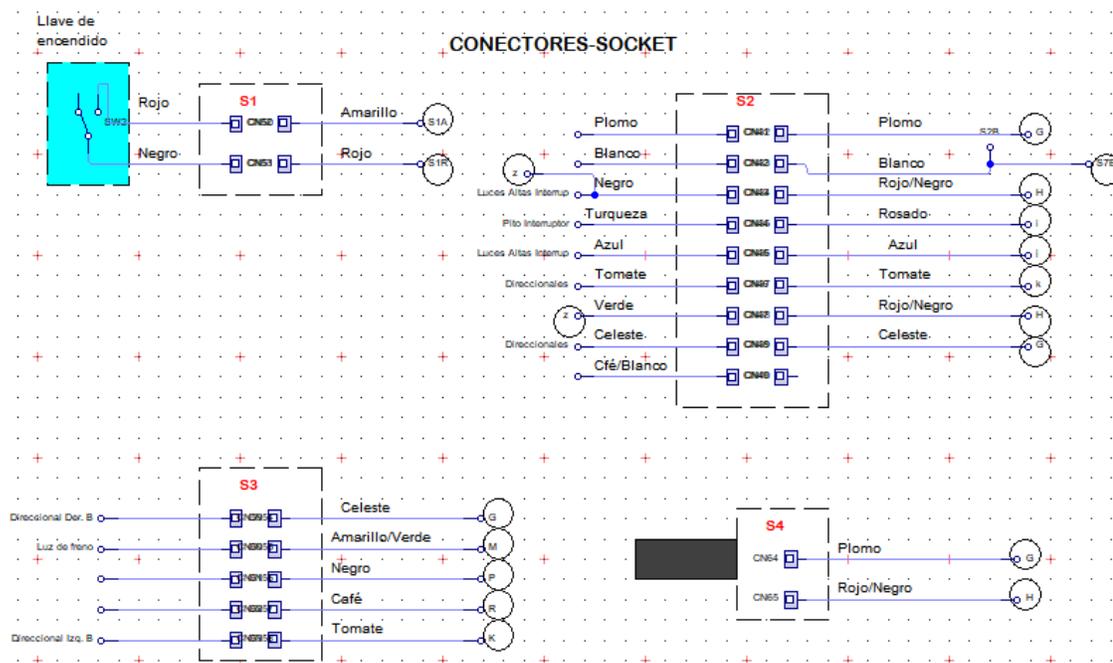
*Esquema eléctrico del suministro de energía al motor*



*Nota.* Suministro de energía al motor de la moto eléctrica.

**Figura 48**

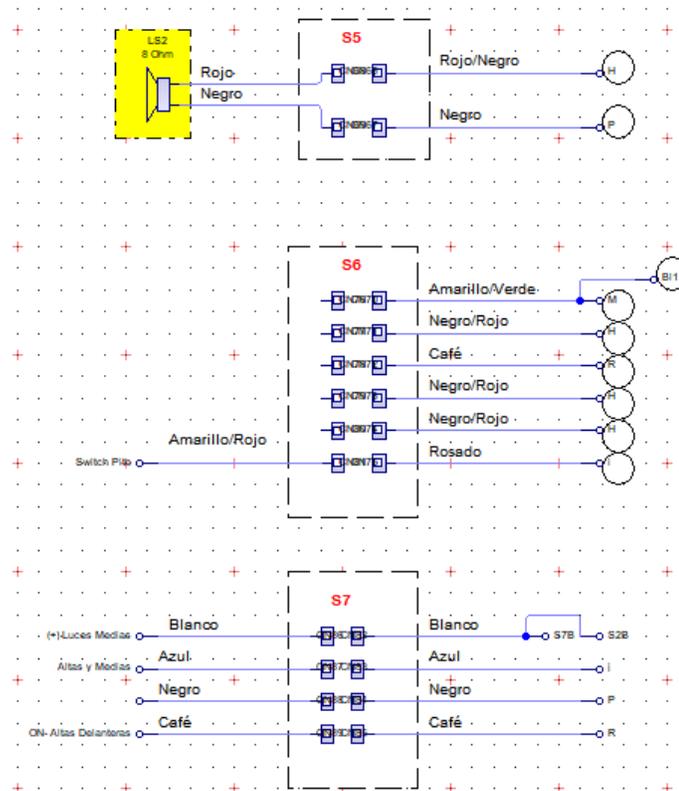
*Esquema eléctrico de los conectores - socket*



*Nota.* Esquema eléctrico de los conectores – socket de la moto eléctrica.

**Figura 49**

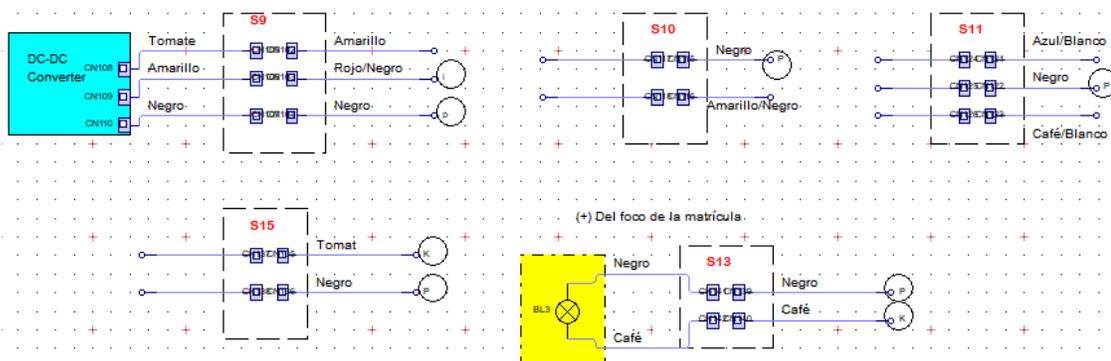
*Esquema eléctrico de los conectores - socket*



*Nota.* Esquema eléctrico de los conectores – socket de la moto eléctrica.

**Figura 50**

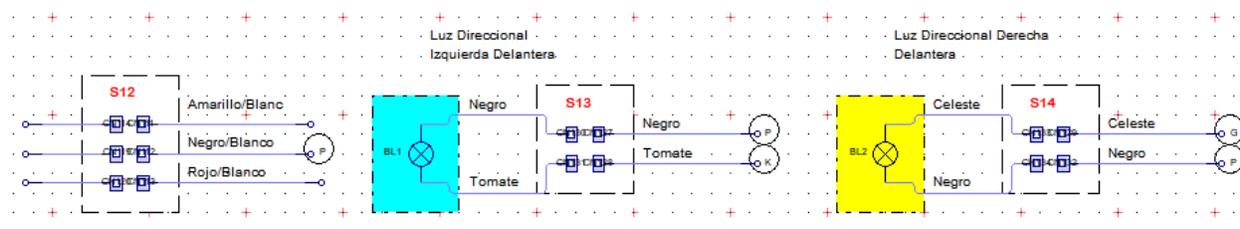
*Esquema eléctrico de los conectores – socket*



*Nota.* Esquema eléctrico de los conectores – socket de la moto eléctrica.

**Figura 51**

*Esquema eléctrico de los conectores – socket*



*Nota.* Esquema eléctrico de los conectores – socket de la moto eléctrica.

### **Evaluación del comportamiento del viento disponible**

Para evaluar la factibilidad del uso del viento como fuente de energía, es necesario conocer sus características ya que el viento es un recurso inestable e incierto por lo cual a través del uso de un anemómetro se procede a obtener las velocidades en el lugar de las pruebas iniciales.

### **Mediciones preliminares**

Para desarrollar el diseño del prototipo se tomaron medidas previas durante el desarrollo de las pruebas iniciales para determinar las velocidades del viento:

**Figura 52**

*Ruta seleccionada para las pruebas iniciales y finales*



*Nota.* Ruta seleccionada para las pruebas iniciales y finales.

Se realizó las mediciones de las velocidades del viento en los diferentes modos de conducción de la moto eléctrica a través del uso de un anemómetro, sabiendo que la moto tiene 3 tipos de velocidades. En la primera velocidad la moto puede alcanzar una velocidad entre los 40 a 45 km/h, en la segunda velocidad la moto puede alcanzar una velocidad entre los 45 a 50 km/h y finalmente en la tercera velocidad la moto llega a alcanzar velocidades entre los 50 a 60 km/h.

### Figura 53

*Anemómetro de mano modelo UNI-T UT363*



*Nota.* Anemómetro usado para medir la velocidad del viento. Tomado de (Moroso, 2022)

### Tabla 5

*Tabulación de las velocidades del viento*

Velocidad de la moto	Velocidades del viento	
	Velocidad máxima del aire (m/s)	Evidencia
Primera Velocidad (40 a 45 km/h)	6,3	
Segunda Velocidad (45 a 50 km/h)	12,9	

<b>Velocidades del viento</b>		
Velocidad de la moto	Velocidad máxima del aire (m/s)	Evidencia
Tercera Velocidad (50 a 60 km/h)	14,6	

*Nota.* Se visualiza las velocidades máximas del viento en las tres velocidades de la moto.

### ***Determinación de la velocidad nominal del viento***

La velocidad media del viento obtenida en base al uso del anemómetro durante el ciclo de conducción se obtiene mediante la Ecuación 1.

#### **Ecuación 1**

*La velocidad media del viento*

$$Vm = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}$$

$$Vm = \frac{6,3 + 12,9 + 14,6}{3}$$

$$Vm = 11,26 [m/s]$$

Por lo tanto, la velocidad del viento nominal o de diseño es:

$$Vn = 11 [m/s]$$

Donde:

- $Vm$  = Velocidad media del viento [m/s]
- $V_1$  = Velocidad máxima del aire en primera velocidad
- $V_2$  = Velocidad máxima del aire en segunda velocidad
- $V_3$  = Velocidad máxima del aire en tercera velocidad
- $Vn$  = Velocidad del viento nominal o de diseño

### Densidad del aire

Para determinar el coeficiente aerodinámico es importante calcular la densidad del aire en el lugar donde se realizó las pruebas iniciales y finales, en este caso la densidad es calculada en la parroquia de Belisario Quevedo perteneciente a Latacunga, mediante la Ecuación 2 y los datos del tiempo a través de la aplicación de Microsoft en tiempo real durante el desarrollo de las pruebas.

### Ecuación 2

Densidad del aire

$$\rho = \frac{0,34848p - 0,009h_T * (0,061t)}{273,15 + t}$$

$$\rho = \frac{0,34848(1026 \text{ mbar}) - 0,009(0,59) * (0,061 * 13^\circ\text{C})}{273,15 + 13^\circ\text{C}}$$

$$\rho = 1,2495 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Donde:

- $\rho$  = Densidad de aire [kg/m<sup>3</sup>]
- $p$  = Presión barométrica [mbar]
- $h_T$  = humedad relativa de aire [%]
- $t$  = temperatura del aire en [°C]

### Figura 54

Datos del tiempo en Belisario Quevedo



Nota. Datos del clima en la parroquia de Belisario Quevedo . Tomado de (Microsoft, 2022)

### **Fuerza del viento**

El viento al chocar contra el sistema de aspas, genera una fuerza que se determina mediante la Ecuación 3.

#### **Ecuación 3**

*Fuerza del viento*

$$P_{\text{viento}} = \frac{1}{2} * \rho * v^2$$

$$P_{\text{viento}} = \frac{1}{2} * 1,2495 * 11,26^2$$

$$P_{\text{viento}} = 79,21 \text{ [Pa]}$$

Donde:

- $\rho$  = Densidad de aire [ $kg/m^3$ ]
- $v$  = Velocidad del viento [ $m/s$ ]

### **Fuerza centrífuga**

La fuerza centrífuga se debe a la rotación del sistema de aspas, misma que se calcula mediante la Ecuación 4.

#### **Ecuación 4**

*Fuerza centrífuga*

$$F_c = m * R * w^2$$

$$F_c = 0.025 \text{ kg} * 0,05m * 180,16^2$$

$$F_c = 40 \text{ [N]}$$

Donde:

- $m = 0.025 \text{ kg}$  = masa de la pala [ $kg$ ]
- $R = 0,05 \text{ m}$  = Radio del rotor [ $m$ ]

- $w$  = Velocidad de giro del rotor

### Ecuación 5

*Velocidad angular*

$$w = \frac{\gamma * v}{R}$$

$$w = \frac{0,8 * 11,26}{0,05}$$

$$w = 180,16 \text{ [rad/s]}$$

Donde:

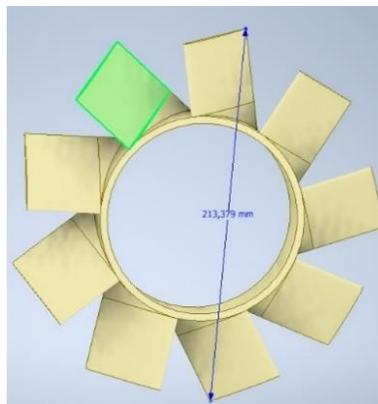
- $\gamma$  = Valor de velocidad específica. Para los aerogeneradores multipala americano se usa un valor de 0,8.
- $w$  = Velocidad angular [rad/s]
- $R$  = Radio del rotor [m]

### **Medición del caudal de viento**

Para la medición del caudal primero se determina el área del prototipo que va estar expuesta a las ráfagas de viento, este resultado se multiplica con la velocidad media del viento cuando la moto está en funcionamiento y se obtiene el caudal.

### **Figura 55**

*Diámetro del sistema de aspas*



*Nota.* Diámetro del sistema de aspas para calcular el caudal

**Ecuación 6***Área de una circunferencia*

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * (0,106)^2$$

$$A = 0,035 [m^2]$$

Donde:

- $A$  = Área del prototipo expuesta al viento [ $m^2$ ]
- $r$  = Radio de la circunferencia del prototipo expuesta al viento [ $m$ ]

Con esto se puede obtener el caudal de viento en el prototipo mediante la Ecuación 7.

**Ecuación 7***Caudal de viento que pasa por el prototipo*

$$Q = Vm * A$$

$$Q = 11,26 \frac{m}{s} * 0,035 m^2$$

$$Q = 0,39 [m^3/s]$$

Donde:

- $Q$  = Caudal de viento en el prototipo [ $m^3/s$ ]

Con el valor de la velocidad nominal del viento y con el caudal se definen a continuación los parámetros de la turbina.

Considerando la relación que debe existir entre los diámetros del motor con el sistema de aspas, y que se diseñó una turbina con aspas fijas se toma un diámetro interior del motor de 109 mm y un diámetro exterior del sistema de aspas de 213 mm.

## Características del motor eléctrico trifásico

**Tabla 6**

*Características del motor eléctrico*

<b>Características generales del motor eléctrico</b>	
	
<b>Motor eléctrico</b>	Motor Brushless (motor eléctrico sin escobillas)
<b>Marca</b>	Ninebot
<b>Modelo</b>	ZING E10
<b>Tipo de corriente</b>	Corriente continua DC
<b>Potencia de salida</b>	150 Watts
<b>Voltaje</b>	24 V
<b>Rotación</b>	200 ~ 600 Rpm
<b>Carga máxima</b>	60 Kg
<b>Eficiencia nominal</b>	≥ 75%
<b>Corriente de salida</b>	0,8 - 1 A

*Nota.* Se muestra las características del motor eléctrico trifásico usado en la investigación.

### Diseño de las aspas

Las palas son uno de los componentes más importantes del prototipo ya que son las encargadas de captar la energía cinética del viento. Por tal motivo, el tipo de perfil aerodinámico a utilizar es uno de los aspectos de diseño más importantes para lograr un

funcionamiento óptimo. Las aspas convierten el movimiento lineal del viento en un movimiento de rotación transmitiéndoselo al generador.

Se diseñó una turbina de tipo multipala americano con 9 aspas ya que esta es una turbina de eje horizontal que tiene una particularidad de alcanzar una velocidad rotacional muy elevada y esto hace que se genere mayores revoluciones en nuestro motor trifásico.

Justamente esto es una de las metas que pretende alcanzar este proyecto ya que a mayores revoluciones se genera mayores valores de voltaje y amperaje.

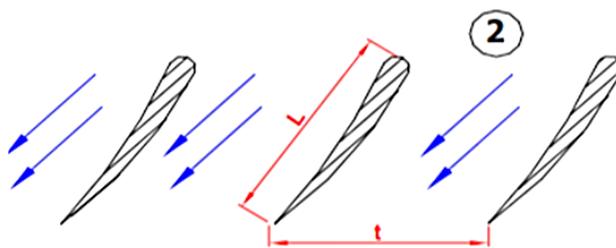
Para el diseño de este componente donde choca el viento y genera energía, se seleccionó un perfil Gottingen N428 ya que este tipo de perfil se recomienda para aplicaciones en turbinas eólicas como es el caso del presente diseño.

### ***Longitud de cuerda y espacio entre aspas***

La longitud de la cuerda del asa y la distancia entre estos se puede determinar con la Ecuación 8 y Ecuación 9.

### **Figura 56**

*Longitud de cuerda y espacio entre aspas*



*Nota.* Longitud de cuerda y espacio entre aspas. Tomado de (Bautista, 2019)

### **Ecuación 8**

*Distancia entre aspas*

$$t = \frac{2 * \pi * r}{z}$$

Donde:

- $t$  = Distancia entre aspas [mm]

- $r$  = Radio del diámetro exterior [mm]
- $z$  = Número de aspas

$$t = \frac{2 * \pi * 106,15}{9}$$

$$t = 74,11 \text{ [mm]}$$

### Ecuación 9

*Longitud de cuerda del perfil*

$$L_e = \frac{t}{1,2}$$

Donde:

- $L_e$  = Longitud de la cuerda del perfil [mm]

$$L_e = \frac{74,11}{1,2}$$

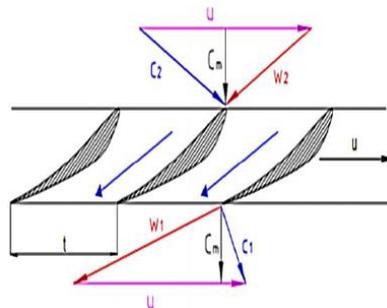
$$L_e = 61,75 \text{ [mm]}$$

### Triángulos de velocidad

Los triángulos de velocidad ayudan a determinar el ángulo de ataque adecuado en el que se debe fijar la aspa para utilizar al máximo la energía del viento. Es fundamental realizar triángulos de velocidad a la entrada y salida del viento cuando pasa alrededor del aspa como se muestra en la Figura 55.

### Figura 57

*Triángulos de velocidad*



*Nota.* Triángulos de velocidad a la entrada y salida del viento. Tomado de (Bautista, 2019)

Donde:

- $C_1, C_2$  = Velocidad absoluta [m/s]
- $W_1, W_2$  = Velocidad relativa [m/s]
- $C_m$  = Velocidad axial [m/s]
- $U$  = Velocidad tangencial [m/s]

### Ecuación 10

*Velocidad tangencial*

$$U = \frac{\pi * D * n}{60}$$

$$U = \frac{\pi * 0,213 * 600}{60}$$

$$U = 6,69 \text{ [m/s]}$$

Donde:

- $D$  = Diámetro exterior del sistema de aspas [m]
- $n$  = Revoluciones del sistema de aspas [rev/min]

### Ecuación 11

*Velocidad axial*

$$C_m = \frac{0,8 * Q * 4}{\pi * (D_e^2 - D_i^2)}$$

$$C_m = \frac{0,8 * 0,39 * 4}{\pi * (0,213^2 - 0,109^2)}$$

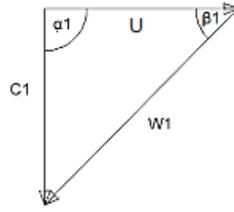
$$C_m = 11,86 \text{ [m/s]}$$

Donde:

- $D_e$  = Diámetro exterior del sistema de aspas [m]
- $D_i$  = Diámetro interior del sistema de aspas [m]
- $Q$  = Caudal de viento en el prototipo [m<sup>3</sup>/s]

**Figura 58**

*Triángulo de velocidad a la entrada*



*Nota.* Triángulo de velocidad a la entrada. Tomado de (Bautista, 2019)

$$C_1 = C_m = 11,86 \text{ [m/s]}$$

**Ecuación 12**

*Velocidad relativa*

$$W_1 = \sqrt{U^2 + C_1^2}$$

$$W_1 = \sqrt{6,69^2 + 11,86^2}$$

$$W_1 = 13,62 \text{ m/s}$$

**Ecuación 13**

*Ángulo  $\beta_1$*

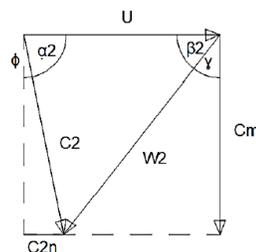
$$\beta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{U}{C_1}\right)$$

$$\beta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{6,69}{11,86}\right)$$

$$\beta_1 = 29,43^\circ$$

**Figura 59**

*Triángulo de velocidad a la salida*



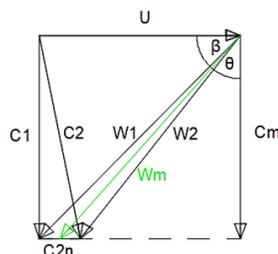
*Nota.* Triángulo de velocidad a la salida. Tomado de (Bautista, 2019)

### **Determinación del ángulo de ataque**

(Bautista, 2019, p.31) menciona que el ángulo de ataque ayuda a posicionar el aspa de tal manera que aproveche de mejor manera la energía del viento. Si se interpone el triángulo de entrada con el de salida se encuentra el vector de la velocidad relativa media con sus ángulos  $\beta$  y  $\theta$  que ayudan a encontrar el ángulo de ataque.

### **Figura 60**

*Triángulos de velocidad*



*Nota.* Triángulos de velocidad para encontrar el ángulo de ataque. Tomado de (Bautista, 2019)

### **Ecuación 14**

*Velocidad relativa media*

$$Wm = \sqrt{C_m^2 + \left(U - \frac{3,4}{2}\right)^2}$$

$$Wm = \sqrt{11,86^2 + \left(6,69 - \frac{3,4}{2}\right)^2}$$

$$Wm = 12,86 \text{ m/s}$$

### **Ecuación 15**

*Ángulo  $\beta$*

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{C_m}{U - \frac{3,4}{2}}\right)$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{11,86}{6,69 \frac{3,4}{2}}\right)$$

$$\beta = 46,2^\circ$$

### Ecuación 16

*Ángulo de ataque*

$$\theta = 90^\circ - \beta$$

$$\theta = 90^\circ - 46,2$$

$$\theta = 43,8^\circ$$

### Perfil aerodinámico

#### **Selección del perfil**

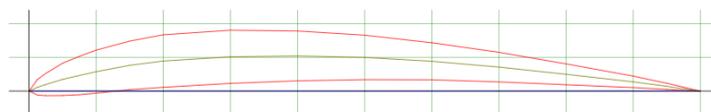
Se escogió el perfil GOE 428 AIRFOIL ya que este tipo de perfil se recomienda para aplicaciones en turbinas eólicas como es el caso del presente diseño. Es uno de los perfiles más usados en aerodinámica. Este perfil cumple con ensayos de pruebas aerodinámicas por lo cual expresa su geometría en porcentajes que se adaptan a los diferentes espesores y anchos del álabe en el plano XY como se muestra en la Figura 61 y la Tabla 7. Este perfil fue modelado de tal manera que aproveche de forma eficiente las ráfagas de viento.

La elección se debe a que es un perfil estándar, de los más usados tanto en aerogeneradores como en la aeronáutica. El grosor máximo de este perfil es de 7,9 % a 30 % de cuerda del asa y una curvatura de 5.2% a 40% de cuerda. En la Figura 61 se detalla la forma del perfil, resaltando las medidas importantes que se muestran en la Tabla 7.

### Figura 61

*Perfil GOE 428*

GOE 428 AIRFOIL - Göttingen 428 airfoil



*Nota.* Perfil GOE 428 seleccionado para nuestro prototipo. Tomado de (Airfoiltools, 2022)

Se pueden apreciar las dimensiones en la Tabla 7 de las diferentes secciones del perfil seleccionado.

**Tabla 7**

*Coordenadas en milímetros del Perfil Gottingen N 428*

<b>Perfil Gottingen N 428</b>		
<b>Y" mm</b>	<b>Y mm</b>	<b>X mm</b>
1,25	1,25	0
2,75	0,3	1,3
3,5	0,2	2,5
4,8	0,1	5
6,05	0	7,5
6,5	0	10
7,55	0,05	15
8,2	0,15	20
8,55	0,3	30
8,35	0,4	40
7,8	0,4	50
6,8	0,4	60
4,2	0,15	80
2,15	0,05	90
1,2	0	95
0	0	100

*Nota.* Se muestra las coordenadas en milímetros del Perfil Gottingen N 428 fijado para un tamaño de hélice de 10 cm.

Para el desarrollo de la hélice se fijó un tamaño de hélice de 5 cm por lo cual se modificó la Tabla 7 para establecer los nuevos valores que se usó para su diseño y que se indican en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Coordenadas en milímetros del Perfil N 428 para un tamaño de hélice de 5 cm*

<b>Perfil Gottingen N 428</b>		
<b>Y" mm</b>	<b>Y mm</b>	<b>X mm</b>
<b>1,25</b>	0,625	0
<b>2,75</b>	0,15	0,65
<b>3,5</b>	0,1	1,25
<b>4,8</b>	0,05	2,5
<b>6,05</b>	0	3,75
<b>6,5</b>	0	5
<b>7,55</b>	0,025	7,5
<b>8,2</b>	0,075	10
<b>8,55</b>	0,15	15
<b>8,35</b>	0,2	20
<b>7,8</b>	0,2	25
<b>6,8</b>	0,2	30
<b>4,2</b>	0,075	40
<b>2,15</b>	0,025	45
<b>1,2</b>	0	47,5
<b>0</b>	0	50

*Nota.* Se muestra las coordenadas en milímetros del Perfil Gottingen N 428 fijado para un tamaño de hélice de 5 cm.

### ***Selección del material***

Las aspas del prototipo son la parte más importante, ya que son las encargadas de recoger la energía del viento y convertir, el movimiento lineal del viento en un movimiento de rotación. Esta energía es transmitida al motor - generador trifásico que transforma el movimiento de rotación en energía eléctrica.

Las aspas se elaboran de un material denominado PETG el cual está compuesto de polietileno tereftalato (PET), que brinda una resistencia estructural alta, ya que están expuestas a fuertes vientos durante su funcionamiento. Este material posee una alta durabilidad y una alta resistencia a la fatiga.

### **Características del regulador trifásico**

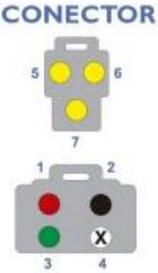
Para poder rectificar y regular la corriente alterna generada por el sistema rotor generador se usó un regulador - rectificador trifásico, el cual transforma corriente alterna en corriente continua y a su vez la regula para que esta corriente pueda ser almacenada en la batería de ácido plomo.

El generador eléctrico trifásico es un alternador por tal motivo se utiliza un rectificador regulador trifásico de una moto convencional para rectificar y regular la corriente alterna producida por el sistema.

Esta corriente rectificada y regulada es almacenada en una batería auxiliar de plomo ácido ubicada en el maletero de la moto eléctrica.

Al girar el volante magnético las bobinas generan corriente alterna que es recibida por el regulador. El mismo la rectifica con un puente de diodos trifásico de onda completa y suministra corriente continua a la batería auxiliar de ácido plomo. Cuando el voltaje de batería alcanza los 14 volt el regulador deriva la corriente sobrante a masa, asegurando así una carga continua a la batería auxiliar.

**Tabla 9***Características del Regulador Trifásico*

<b>Características generales del Regulador - Rectificador Trifásico</b>																									
<b>Marca</b>	Xlsion																								
<b>Voltaje de entrada</b>	10 V – 50 V AC																								
<b>Voltaje de salida</b>	12 V – 14.5 V DC																								
<b>Número de cables</b>	6																								
<b>Corriente de salida</b>	0 - 4 Amperios																								
<b>Para modelos de motos:</b>	150cc, 200cc y 250cc																								
<b>Designación de los cables</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº</th> <th>Color</th> <th>Descripción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Rojo</td> <td>Batería</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Negro</td> <td>Retorno Switch</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Verde</td> <td>Tierra o masa</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Amarillo</td> <td>Generador</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Amarillo</td> <td>Generador</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Amarillo</td> <td>Generador</td> </tr> </tbody> </table> 	Nº	Color	Descripción	1	Rojo	Batería	2	Negro	Retorno Switch	3	Verde	Tierra o masa	4	--	--	5	Amarillo	Generador	6	Amarillo	Generador		Amarillo	Generador
Nº	Color	Descripción																							
1	Rojo	Batería																							
2	Negro	Retorno Switch																							
3	Verde	Tierra o masa																							
4	--	--																							
5	Amarillo	Generador																							
6	Amarillo	Generador																							
	Amarillo	Generador																							

*Nota.* Se muestra las características del regulador rectificador trifásico usado en la investigación.

**Características del Inversor de corriente de 750 W**

Para poder usar la energía producida por el sistema rotor generador es necesario instalar un Inversor de corriente de 750 W, el cual se encarga de convertir la corriente almacenada en la batería auxiliar de 12 V c.c. a 120 V c.a.

El inversor se elige en función de la potencia eléctrica de salida necesaria, es por esto que al multiplicar el voltaje de salida (110 V) por el amperaje (5 A) que necesita el cargador de la moto eléctrica se obtiene un valor de 550 W, por lo cual se recomienda elegir un inversor de igual o mayor potencia para compensar la carga de la batería de litio.

**Tabla 10**

*Características del Inversor de corriente de 750 W*

<b>Características generales del Inversor de corriente de 750 W</b>	
<b>Marca</b>	Truper
<b>Voltaje de entrada</b>	12 V c.d.
<b>Voltaje de salida</b>	120 V c.a.
<b>Potencia de salida</b>	750 W



**Partes del inversor**



*Nota.* Se muestra las características del inversor de 750 W usado en la investigación.

### Características del voltímetro amperímetro digital DC

El sistema de carga tipo rotor – generador está conectado a un voltímetro amperímetro Digital DC que se encarga de indicar el voltaje y corriente que ingresa a la batería auxiliar de ácido plomo facilitando la toma de valores.

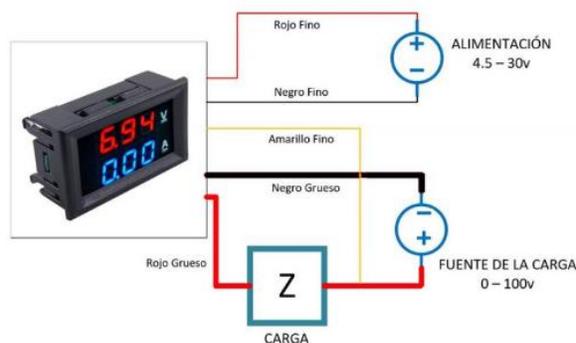
**Tabla 11**

*Características del voltímetro amperímetro digital DC*

<b>Características generales del voltímetro amperímetro digital DC</b>	
<b>Marca</b>	Xlsion
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	4 - 30V DC
	El voltaje máximo de entrada no puede superar los 30V. De lo contrario, el medidor se quema
<b>Rango de medición de voltaje</b>	DC 0 - 100V
<b>Rango de medición de corriente</b>	DC 0 - 10 A
<b>Pantalla</b>	0,28 " Pantalla LED Dual



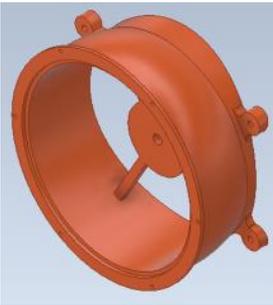
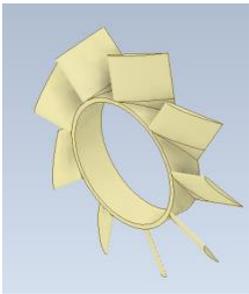
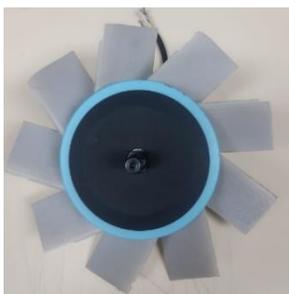
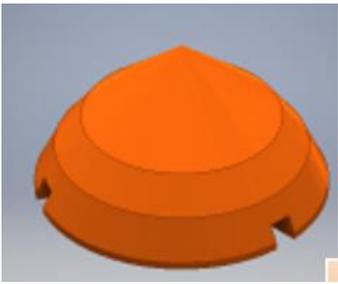
**Diagrama de conexión**



*Nota.* Se muestra las características del voltímetro amperímetro digital usado en la investigación.

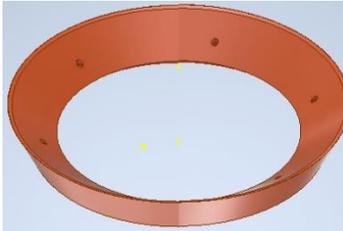
Tabla 12

*Características de impresión 3D de los elementos del sistema rotor generador*

<b>Elementos del sistema rotor generador</b>		
<b>Propiedades del Elemento</b>	<b>Diseño mediante Software</b>	<b>Impresión 3D</b>
<p><b>Estructura</b></p> <p><b>Material: Filamento PLA</b></p> <p><b>Porcentaje de relleno: 70 %</b></p> <p><b>Peso aproximado: 991 g</b></p> <p><b>Color: Negro</b></p>		
<p><b>Tapa Estructura</b></p> <p><b>Material: Filamento PLA</b></p> <p><b>Porcentaje de relleno: 70 %</b></p> <p><b>Peso aproximado: 146 g</b></p> <p><b>Color: Negro</b></p>		
<p><b>Aspas</b></p> <p><b>Material: Filamento PETG</b></p> <p><b>Porcentaje de relleno: 90 %</b></p> <p><b>Peso aproximado: 233 g</b></p> <p><b>Color: Blanco</b></p>		
<p><b>Rompevientos</b></p> <p><b>Material: Filamento PETG</b></p> <p><b>Porcentaje de relleno: 50 %</b></p> <p><b>Peso aproximado: 246 g</b></p> <p><b>Color: Blanco</b></p>		

---

**Elementos del sistema rotor generador**

Propiedades del Elemento	Diseño mediante Software	Impresión 3D
<p><b>Colector de aire</b></p> <p><b>Material: Filamento PLA</b></p> <p><b>Porcentaje de relleno: 70 %</b></p> <p><b>Peso aproximado: 239 g</b></p> <p><b>Color: Negro</b></p>		
<p><b>Soporte</b></p> <p><b>Material: Tubo redondo de 2 mm de espesor y ángulos de 2 mm de espesor</b></p> <p><b>Peso aproximado: 2.5 kg</b></p> <p><b>Color: Negro</b></p>		

*Nota.* Se visualiza todos los elementos que conforman el sistema rotor generador.

**Ensamble de los elementos del sistema rotor generador**
**Figura 62**

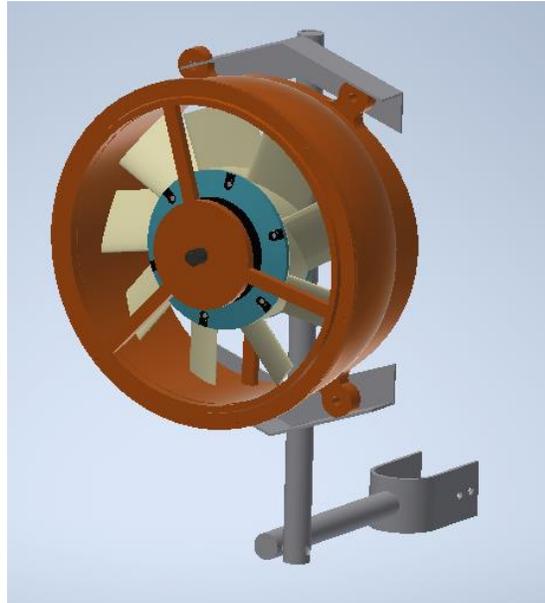
*Ensamble del sistema rotor – generador en CAD*



*Nota.* Se muestra el diseño del prototipo del sistema rotor – generador en CAD

**Figura 63**

*Prototipo del sistema rotor generador ensamblado con el soporte en CAD*



*Nota. Prototipo del sistema rotor – generador ensamblado con el soporte en CAD*

**Figura 64**

*Soporte del sistema rotor – generador en CAD*



*Nota. Soporte del Prototipo del sistema rotor – generador en la moto eléctrica.*

## Figura 65

*Prototipo del sistema fabricado y ensamblado en la moto eléctrica*



*Nota.* Prototipo del sistema rotor generador fabricado y ensamblado en la moto eléctrica.

### Proceso de ensamblaje del sistema rotor generador

En la siguiente Tabla 13, se observa el proceso que se siguió para poder ensamblar el prototipo rotor generador en base a los elementos impresos en 3D, componentes electrónicos y soporte conectado al eje de la dirección. Finalmente quedo listo el sistema rotor generador para su puesta en funcionamiento.

### Tabla 13

*Proceso de ensamblaje del sistema rotor generador*

Orden	Proceso	Evidencia fotográfica
1	Para empezar con el proceso de ensamblaje de todos los elementos del sistema rotor generador, se inicia montando la estructura sobre el soporte de metal y seguidamente se ajusta con tornillos y tuercas anteponiendo en la mitad un caucho cuya función es la de amortiguar las vibraciones que se producen durante el funcionamiento del prototipo.	

Orden	Proceso	Evidencia fotográfica
2	Seguidamente se procede a colocar el sistema de aspas sobre la superficie externa del motor generador de 150 W, fijándolo con un pegamento especial para que se mantenga fijo sobre la carcasa del motor y puedan moverse a la par durante el funcionamiento del prototipo.	
3	A continuación, se monta el sistema de aspas fijado con el motor sobre la estructura, colocando el eje fijo del motor sobre el agujero de la parte trasera.	
4	Entonces se procede a colocar la tapa de la estructura sobre el eje delantero del motor como se visualizar en la imagen. Teniendo en cuenta que se debe colocar la tuerca del eje delantero del motor para que quede sujetado con la tapa de la estructura.	
5	Se procede a montar los 2 elementos colectores de aire sobre la tapa de la estructura colocándolos adecuadamente para que coincidan los agujeros para la sujeción.	
6	Se fija los elementos anteriormente mencionados mediante tornillos y tuercas para que todo el prototipo quede ajustado correctamente.	

Orden	Proceso	Evidencia fotográfica
7	A continuación, se coloca el elemento rompevientos sobre los parantes de la tapa de estructura como se visualiza en la imagen. Se lo fija con un pegamento especial para que resista los flujos aerodinámicos y vibraciones. La función de este elemento es redireccionar los flujos de aire hacia el sistema de palas para que de esta forma exista un mejor aprovechamiento de la energía eólica.	
8	Es importante tomar el peso del prototipo final antes de montarlo sobre la parte frontal de la moto eléctrica. En este caso el peso de todo el prototipo sin contar el eje de soporte que conecta al soporte con el eje fijo de la dirección de la moto pesa 3,9 kilos.	
9	Se procede a montar todo el prototipo sobre la parte frontal de la moto eléctrica haciendo uso del eje fijo que está conectado directamente al eje fijo delantero de la moto eléctrica.	
10	A continuación, se procede a instalar el rectificador regulador trifásico en la parte interna delantera. Uniendo los tres cables del motor eléctrico trifásico con los tres cables de entrada al rectificador.	

Orden	Proceso	Evidencia fotográfica
11	También se procede a instalar un voltímetro amperímetro DC para tener una mejor apreciación de los valores de voltaje y amperaje que ingresa a la batería auxiliar de ácido plomo.	 A digital multimeter is shown with a red display at the top showing 'Generador 1', 'Generador solido', and 'Carga inductiva'. The main LCD screen displays '00'. Below it, a smaller screen shows '083.61V' and '000.00A'. At the bottom, two red LED displays show '00.0V' and '00.0A'.
12	Se instalo un inversor de 750 W en la parte del compartimiento trasero de la moto eléctrica y se realizó las conexiones eléctricas de todo el sistema.	 The image shows the rear compartment of a black electric scooter. The compartment is open, revealing internal wiring, a battery pack, and other electrical components. A person's legs in white pants and blue jeans are visible in the background.
13	Finalmente se tiene el prototipo instalado y listo para que entre en funcionamiento.	 A complete black electric scooter is shown in a workshop or classroom setting. The scooter is parked on a tiled floor, and several desks and chairs are visible in the background.

*Nota.* Se visualiza el proceso de ensamblaje del sistema rotor generador

**Figura 66**

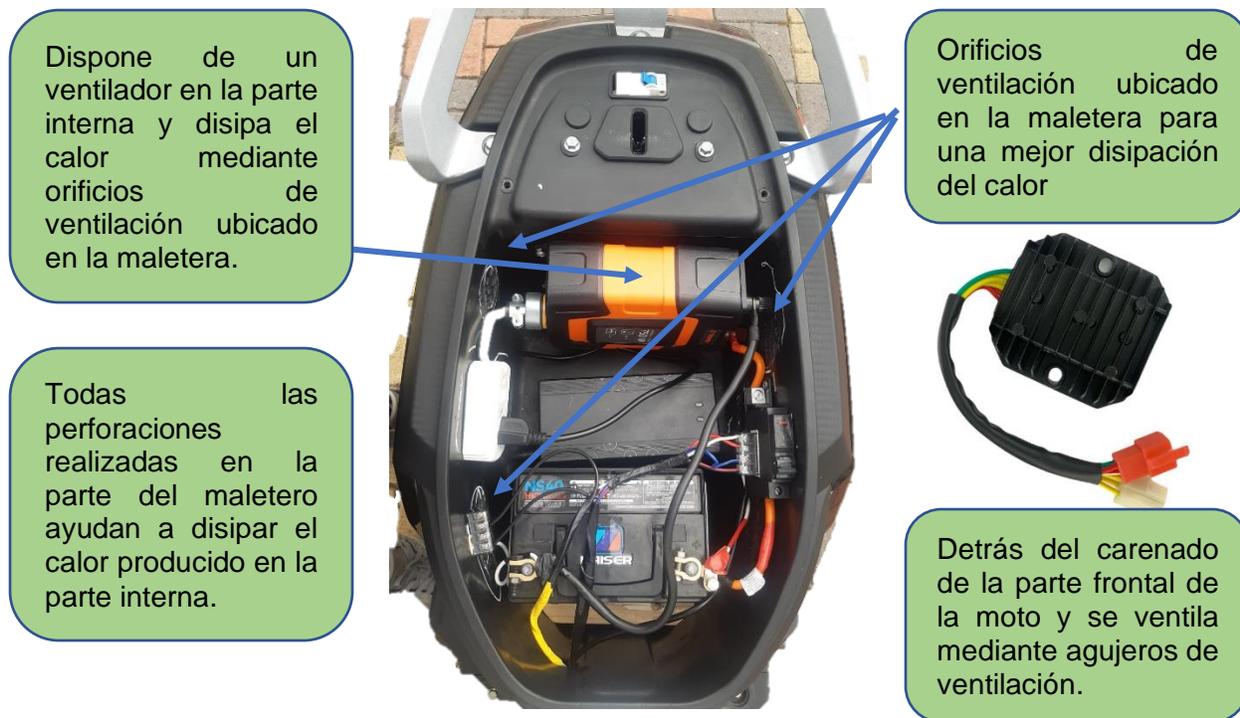
*Ubicación de los elementos del sistema de carga tipo rotor generador*



*Nota.* Ubicación de los elementos del sistema rotor generador.

**Figura 67**

*Ventilación de los elementos del sistema de carga tipo rotor generador*



*Nota.* Se visualiza los orificios de ventilación para los componentes electrónicos del sistema rotor generador

**Figura 68**

*Estado de carga de la batería de ácido plomo*

VOLTIOS	% DE CARGA	OBSERVACIONES
13	100%	Cargada completamente
12,5	80%	Valor normal
12	60%	Valor normal
11,5	40%	Valor bajo pero dentro del límite
11	20%	Límite aconsejable
10,5	10%	Peligro para los aparatos conectados
10	0%	Es necesario recargarla

*Nota.* Se visualiza los estados de carga de la batería de ácido plomo en porcentaje y voltaje.

**Figura 69**

*Instrumentos de medición*



*Nota.* Se visualiza los medidores instalados en el panel de control para monitorear los valores que ingresan a la batería auxiliar.

## Análisis CAD del sistema de aspas

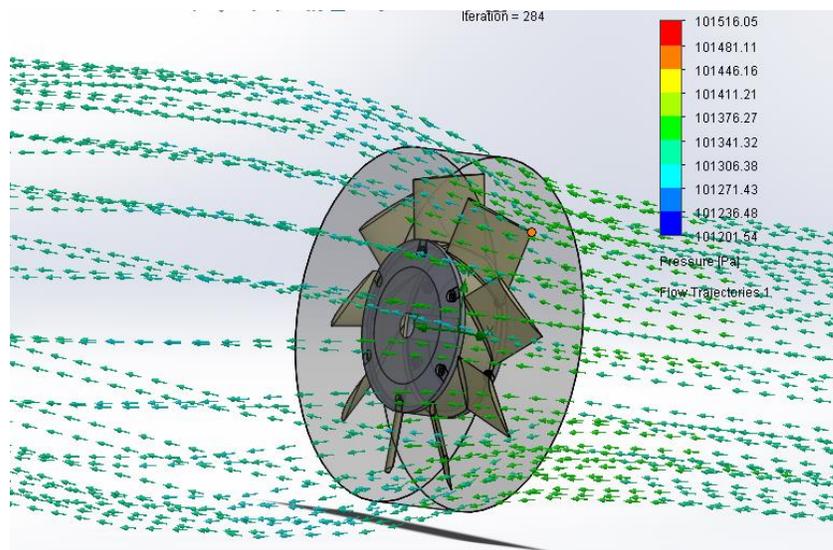
Mediante estos análisis se logra visualizar el comportamiento del sistema de aspas al estar expuesta a flujos de aire constantes. Se conoce las velocidades máximas y mínimas que soporta todo el sistema y se visualiza el lugar en donde se concentra la presión ejercida por el viento.

## Análisis dinámico del sistema de aspas

Está simulación permite visualizar el comportamiento del sistema de aspas al estar expuesto a un flujo de aire tanto al ingreso como a la salida. Se selecciono el material nylon de plástico que tiene características similares al material PETG. Mediante esta simulación se observa las trayectorias del flujo de aire para ver en qué parte existe una mayor concentración de flujo, el ingreso y la salida del flujo durante su paso por el sistema de aspas y la forma en como golpea el flujo a todo el sistema.

### Figura 70

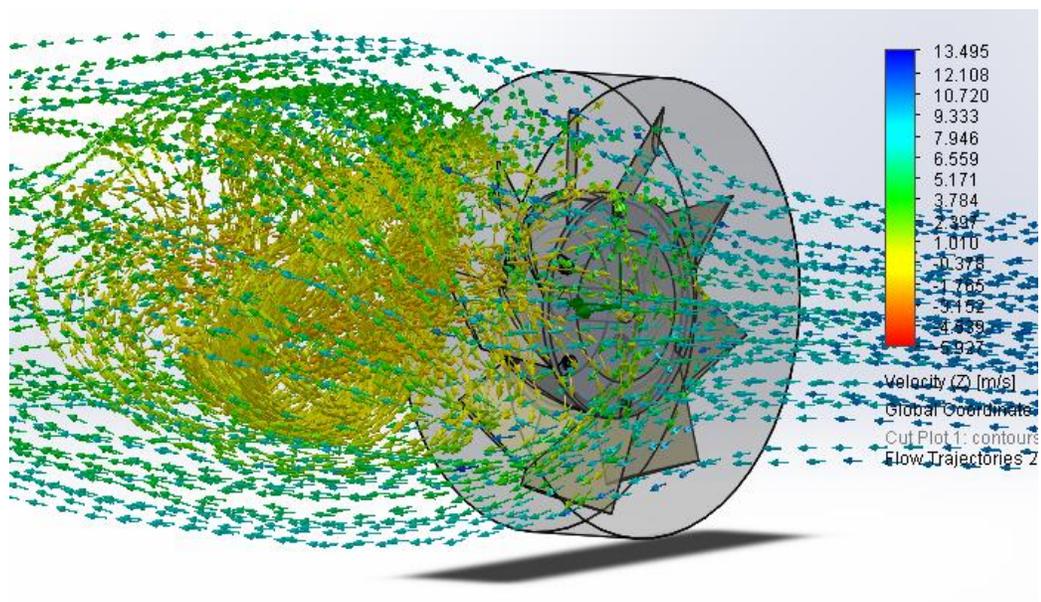
#### Análisis dinámico del sistema de aspas



*Nota.* Se visualiza el comportamiento del sistema de aspas al estar expuesto a un flujo de aire.

Figura 71

Trayectorias de flujo en el sistema de aspas



*Nota.* Se visualiza el comportamiento del sistema de aspas al estar expuesto a un flujo de aire.

### **Resultados del Análisis dinámico del sistema de aspas**

Mediante la simulación CFD cuando el prototipo se encuentra en reposo se pudo visualizar su funcionamiento y los valores de velocidad que alcanza en estado dinámico.

Tabla 14

*Resultados del Análisis dinámico*

<b>Presión</b>	101201.54 [Pa] - 101516.05 [Pa]
<b>Velocidad</b>	0.223 [m/s] - 19.314 [m/s]
<b>Temperatura</b>	293.14 °K - 293.28 °K (19.99 °C - 20.13°C)
<b>Densidad del aire</b>	1.20 [kg/m <sup>3</sup> ] - 1.21 [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Presión de referencia</b>	101325.00 [Pa]

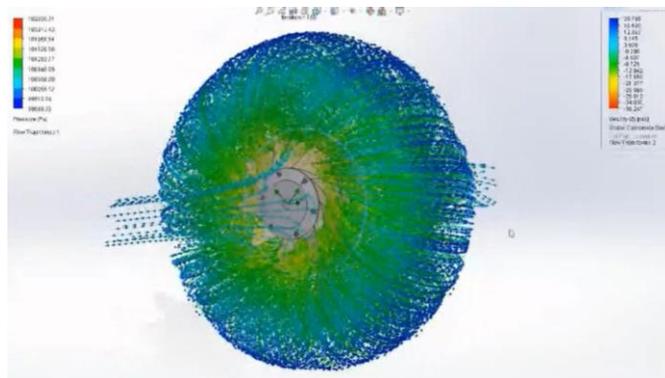
*Nota.* Se visualiza los resultados obtenidos de la simulación dinámica.

### **Análisis del sistema de aspas a una velocidad media**

Por el tipo de geometría que tiene el prototipo y por las 9 aspas que conforman todo el sistema se visualiza en la simulación que la mayor cantidad de aire se concentra en la parte intermedia, ingresa una cantidad de aire en forma rectilínea, se topa con el sistema de aspas y a la salida se genera una distorsión del aire. Dando como resultado que la geometría de las aspas es óptima para la mejor recepción de las ráfagas de viento.

### **Figura 72**

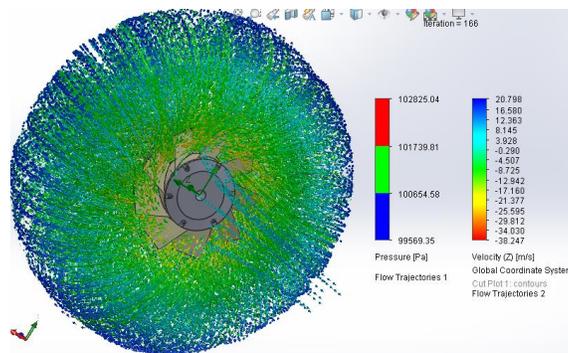
*Análisis del sistema de aspas a una velocidad media de 11,24 m/s*



*Nota.* Se visualiza el comportamiento del sistema de aspas al estar expuesto a una velocidad media de 11,24 m/s.

### **Figura 73**

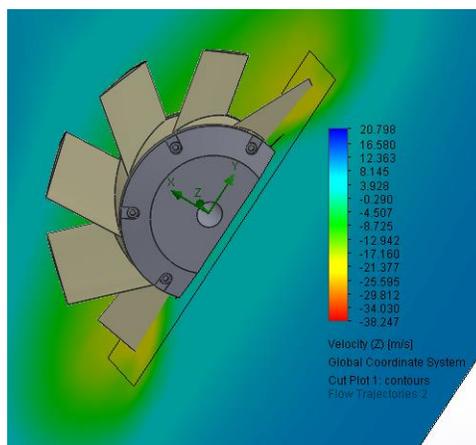
*Trayectorias de flujo en el sistema de aspas a 11,24 m/s*



*Nota.* Se visualiza Trayectorias de flujo en el sistema de aspas al estar expuesto a una velocidad media de 11,24 m/s.

**Figura 74**

*Plano de corte del sistema de aspas a 11,24 m/s*



*Nota.* Se visualiza el plano de corte del sistema de aspas al estar expuesto a una velocidad media de 11,24 m/s.

### ***Resultados del Análisis del sistema de aspas a una velocidad media***

Mediante la simulación CFD cuando el prototipo se encuentra expuesto a una velocidad media de 11,24 m/s se pudo visualizar su funcionamiento y los valores de velocidad que alcanza durante su funcionamiento.

**Tabla 15**

*Resultados del Análisis a una velocidad media*

<b>Presión</b>	99569.35 [ <b>Pa</b> ] - 102655.31 [ <b>Pa</b> ]
<b>Velocidad</b>	0.160 [ <b>m/s</b> ] - 63.995 [ <b>m/s</b> ]
<b>Temperatura</b>	293.03 °K - 295.27 °K (19.88 °C - 22.12°C)
<b>Densidad del aire</b>	1.18 [ <b>kg/m<sup>3</sup></b> ] - 1.22 [ <b>kg/m<sup>3</sup></b> ]
<b>Presión de referencia</b>	101325.00 [ <b>Pa</b> ]

*Nota.* Se visualiza los resultados obtenidos de la simulación con una velocidad media.

## Capítulo IV

### Análisis de resultados mediante pruebas de ruta

#### Análisis de resultados obtenidos en el software especializado

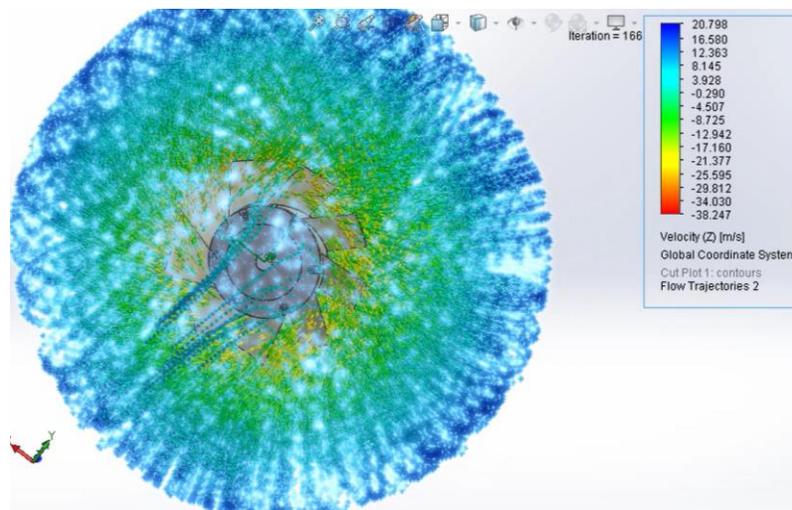
En esta parte de la investigación se desarrolló la simulación CFD del sistema de aspas en estado dinámico del vehículo y al estar expuesto a una velocidad media del viento, con lo cual se obtuvo valor de presiones, velocidades mínimas y velocidades máximas a las que trabaja el prototipo. Seguidamente se desarrolló un protocolo de pruebas y un ciclo de conducción en la ruta determinada dentro de la universidad.

#### Simulación de flujo CFD en software especializado

La razón por la cual se eligió la simulación dinámica de fluidos computacional (CFD) es para obtener el comportamiento del sistema de aspas durante su funcionamiento y también para visualizar las trayectorias de flujo al momento que está expuesto a una velocidad media determinada.

#### Figura 75

*Simulación de flujo CFD del sistema de aspas*



*Nota.* Se visualiza la simulación de flujo CFD del sistema de aspas para determinar su comportamiento.

Dentro del software CAD de simulación se usó la herramienta Flow Simulation para obtener resultados de presiones y velocidades a las cuales puede trabajar el sistema de aspas considerando el tipo de fluido, la presión atmosférica y la fuerza del viento de 11,24 m/s, cuando la moto eléctrica alcanza una velocidad promedio.

A través de los resultados obtenidos de la simulación dinámica se determinó que el sistema de aspas trabaja dentro de un rango de presión de 101201.54 [Pa] a 101516.05 [Pa] y un rango de velocidad entre 0.223 [m/s] a 19.314 [m/s].

Finalmente, los resultados obtenidos de la simulación del sistema de aspas al estar expuesto a una velocidad media de 11,24 m/s, el prototipo trabaja dentro de un rango de presión de 99569.35 [Pa] a 102655.31 [Pa] y un rango de velocidad entre 0.160 [m/s] - 63.995 [m/s].

### Ruta seleccionada para pruebas

Las pruebas iniciales y finales de la motocicleta eléctrica fueron desarrolladas dentro de la ESPE - Campus Belisario Quevedo, ya que el trayecto de esta vía que rodea al campus es ideal para alcanzar altas velocidades de funcionamiento y posee un camino asfaltado ideal para que no exista vibraciones durante el trayecto, ya que no se recomienda usar este tipo de motos en caminos inestables.

### Figura 76

*Ruta que rodea a la universidad*



*Nota.* Ruta seleccionada para realizar las pruebas.

La ruta inicia en la parte de los parqueaderos como se indica en la Figura 76, sigue de frente hacia el sur hasta el primer redondel, vira a la derecha hacia el sentido oeste y sigue de frente hasta el segundo redondel, gira a la derecha y se desplaza en línea recta hacia el norte hasta el final del parqueadero superior, realiza una vuelta en u para regresar en sentido sur para toparse con el segundo redondel, gira a la izquierda en sentido este hasta toparse con el primer redondel, gira a la izquierda y va en sentido norte hasta toparse con el fin de la ruta cerca al sistema de tratamiento de aguas servidas.

En estas pruebas iniciales y finales se obtuvieron valores de tiempo y velocidades a través de la aplicación Geo Tracker. Posteriormente se realizó una tabulación con estos datos para conocer la autonomía alcanzada antes y después de la instalación del prototipo rotor – generador.

## Protocolo de pruebas

**Tabla 16**

*Protocolo de pruebas*

Protocolo de Pruebas		
Procedimiento	Observaciones	Imagen
1) Descargar la batería de litio hasta su valor mínimo de funcionamiento del motor eléctrico (66.5 – 67.4 V - 6.023 Ah), a estos valores la motocicleta eléctrica se apaga completamente.	La batería ya no suministra el amperaje necesario para que funcione el motor con peso, sin embargo, sí suministra energía para los dispositivos y luces. La BMS de la batería de litio no permite daños cuando existe una descarga completa.	

## Protocolo de Pruebas

Procedimiento	Observaciones	Imagen
<p>2) Encender la moto eléctrica para que empiece a funcionar los instrumentos y equipos de medición instalados.</p>	<p>No se debe activar ningún dispositivo.</p>	
<p>3) Proceder a calibrar el medidor KG-140F con la capacidad de almacenamiento de la batería (22Ah)</p>	<p>Este valor puede variar acorde a la profundidad con la que se realizó el ciclo de descarga de la batería de litio.</p>	
<p>4) Conectar el cargador primero al puerto de carga de la batería de litio y después al toma corriente de 110 V.</p>	<p>Se recomienda conectar directamente al toma corriente ya que si se usa extensiones aumenta en cierto porcentaje el tiempo de carga.</p>	
<p>5) Activar el freno de mano de la moto eléctrica e iniciar con el ciclo de carga de la batería de litio.</p>	<p>El tiempo para completar el ciclo de carga son de 5 horas y 22 minutos.</p>	<div style="background-color: #e0e0e0; padding: 10px; text-align: center; font-size: 24px; font-weight: bold;">05:22:43.94</div>
<p>6) Una vez que haya finalizado el ciclo de carga se comprueba el valor de la capacidad en el medidor KG-140F, el SOC indica el 100 %.</p>	<p>En caso de que el SOC no indique el 100 % pero la carga este completa se deberá calibrar al nuevo valor de capacidad alcanzada.</p>	

### Protocolo de Pruebas

Procedimiento	Observaciones	Imagen
7) Proceder a realizar las pruebas iniciales y finales con y sin el sistema rotor – generador bajo el ciclo de conducción definido.	El ciclo de conducción establece las condiciones a desarrollarse durante la prueba para la toma de datos y posterior tabulación.	
8) Analizar los resultados obtenidos tanto en la prueba inicial como en la prueba final para determinar la autonomía extra ganada con la implementación del prototipo.	Antes de realizar las pruebas en la moto se debe revisar el funcionamiento correcto del sistema de frenos y la presión adecuada de las llantas.	

*Nota.* Este protocolo puede variar acorde a las características de cada batería.

#### Tabla 17

*Prueba de ruta para obtener el ciclo de conducción*

Características del ciclo de conducción	
Ruta seleccionada	Mapa
ESPE - Campus Belisario Quevedo	
Distancia: 2.088 m = 2 km	
Tipo de calzada: Asfalto	
Condición climática: Despejado	
Velocidad del viento: 4 – 10 m/s	

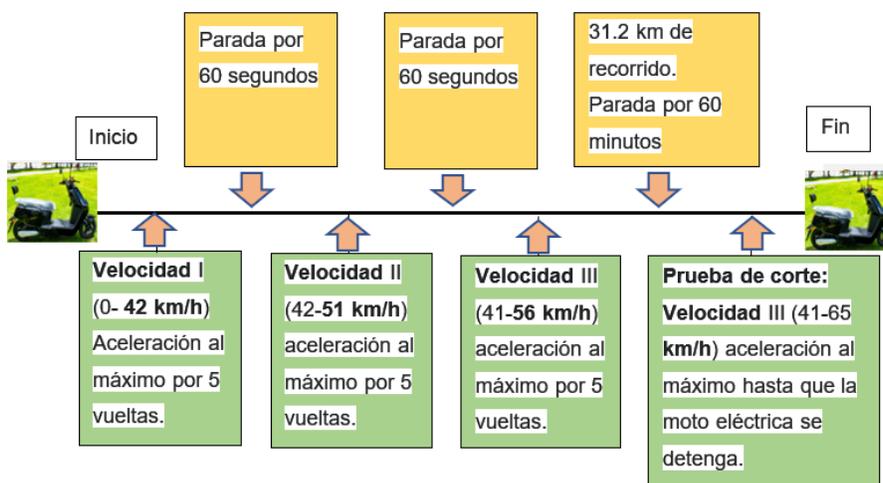
<b>Características del ciclo de conducción</b>	
<b>VARIABLES A TOMAR EN CUENTA DURANTE LA PRUEBA</b>	
Velocidad I: 40 – 45 km/h	Temperatura del entorno: 10°C
Velocidad II: 45 – 50 km/h	Porcentaje inicial de carga SOC: 100 %
Velocidad III: 50 – 60 km/h	Señal del acelerador: máxima señal
Velocidad de corte: 41 – 65 km/h	Presión de las ruedas: 30 PSI
Peso total: 600 lb	Luces y dispositivos de audio: Apagado
<b>Fase de pruebas</b>	
<b>Autonomía inicial</b>	<b>Autonomía Final ( con el prototipo)</b>
Fase 1 = 31.2 km (15 vueltas a la pista)	Fase 4 = 31.2 km (15 vueltas a la pista)
Fase 2 = Descanso por un período de 30 minutos para evitar un recalentamiento del motor eléctrico BLDC.	Fase 5 = Descanso por un período de 30 minutos y carga de la batería original a través de toda la energía producida por nuestro prototipo la cual se almacena en la batería de ácido plomo.
Fase 3 = Prueba de corte ( n vueltas hasta que la motocicleta eléctrica se apague)	Fase 6 = Prueba de corte ( n vueltas hasta que la motocicleta eléctrica se apague)
<i>Nota.</i> Se muestra los parámetros del ciclo de conducción usado.	

Durante el desarrollo del ciclo de conducción se estableció fases de descanso para evitar un recalentamiento del motor eléctrico de la moto. Esto se lo realizó durante un período de 30 minutos hasta que la temperatura del motor baje.

Durante este período de tiempo se recarga a la batería principal con la energía generada por el generador eólico almacenado en la batería auxiliar de ácido plomo.

Figura 77

Fase de desarrollo de las pruebas



Nota. Se muestra las fases para el desarrollo de las pruebas.

### Pruebas para determinar la corriente alterna generada

En la prueba inicial que se realizó se obtuvieron los siguientes valores de voltaje alterno acorde a las tres velocidades de la moto eléctrica, estos datos son los siguientes:

Tabla 18

Pruebas en las tres velocidades de la moto

Velocidad	Voltaje alterno máximo generado	Evidencia
1era	12,1 V	

Velocidad	Voltaje alterno máximo generado	Evidencia
2da	23,2 V	
3era	24,1 V	

*Nota.* Se muestra los voltajes alternos máximos generados en cada velocidad de la moto.

### Pruebas Iniciales sin el prototipo

En la prueba inicial que se realizó se obtuvieron los siguientes datos acorde a las tres velocidades de la moto eléctrica, estos datos son: distancia recorrida, velocidad máxima, velocidad promedio, tiempo y grafica del ciclo de conducción.

Antes de iniciar se debe verificar la presión correcta de las llantas para evitar un posible daño del motor eléctrico. También se debe tener en cuenta las condiciones climáticas ya que si está llovisnando es mejor no usar la moto eléctrica ya que si circula por charcos de agua está se puede dañar.

**Figura 78**

Gráfico velocidad vs tiempo en primera velocidad sin el prototipo



Nota. Gráfico de la variación de la velocidad ( km/h) con respecto al tiempo (min:seg) en primera velocidad de la moto eléctrica. Tomado de (Bogdanovich, 2022)

**Tabla 19**

Resultados obtenidos en primera velocidad sin el prototipo

Datos	Valores	Evidencia
Distancia recorrida	10,88 [km]	<p>1era velocidad</p> <p>10.88 km LONGITUD RUTA</p> <p>42 km/h VELOCIDAD MÁXIMA</p> <p>00:19:47 DURACIÓN REGISTRO</p> <p>00:18:57 DURACIÓN MOVIMIENTO</p> <p>33 km/h VELOCIDAD MEDIA</p> <p>34 km/h VEL. MEDIA MOVIMIENTO</p>
Velocidad máxima	42 [km/h]	
Velocidad promedio	33 [km/h]	
Tiempo	19 [min] 47 [seg]	

Nota. Datos obtenidos mediante la aplicación Geo Tracker en primera velocidad de la moto eléctrica.

**Figura 79**

Gráfico velocidad vs tiempo en segunda velocidad sin el prototipo



*Nota.* Gráfico de la variación de la velocidad ( km/h) con respecto al tiempo (min:seg) en segunda velocidad de la moto eléctrica. Tomado de (Bogdanovich, 2022)

**Tabla 20**

*Resultados obtenidos en segunda velocidad sin el prototipo*

Datos	Valores	Evidencia
Distancia recorrida	10,63 [km]	
Velocidad máxima	51 [km/h]	
Velocidad promedio	40 [km/h]	
Tiempo	16 [min] 6 [seg]	

*Nota.* Datos obtenidos mediante la aplicación Geo Tracker en segunda velocidad de la moto eléctrica.

**Figura 80**

*Gráfico velocidad vs tiempo en tercera velocidad sin el prototipo*



*Nota.* Gráfico de la variación de la velocidad ( km/h) con respecto al tiempo (min:seg) en tercera velocidad de la moto eléctrica. Tomado de (Bogdanovich, 2022)

Tabla 21

Resultados obtenidos en tercera velocidad sin el prototipo

Datos	Valores	Evidencia
Distancia recorrida	10,82 [km]	
Velocidad máxima	56 [km/h]	
Velocidad promedio	41 [km/h]	
Tiempo	16 [min] 48 [seg]	

Nota. Datos obtenidos mediante la aplicación Geo Tracker en tercera velocidad de la moto eléctrica.

Figura 81

Gráfico velocidad vs tiempo para precisar el punto de corte sin el prototipo



Nota. Gráfico de la variación de la velocidad ( km/h) con respecto al tiempo (hora: min) en tercera velocidad hasta alcanzar el punto de corte de la batería de litio. Tomado de (Bogdanovich, 2022)

Tabla 22

Resultados obtenidos en tercera velocidad sin el prototipo hasta el corte

Datos	Valores	Evidencia
Distancia recorrida	22,39 [km]	
Velocidad máxima	57 [km/h]	
Velocidad promedio	21,3 [km/h]	
Tiempo	63 [min] 3 [seg]	

*Nota.* Datos obtenidos mediante la aplicación Geo Tracker en tercera velocidad de la moto eléctrica hasta alcanzar el punto de corte de la batería de litio.

## **Resultados de las pruebas iniciales**

### ***Distancia total recorrida***

Para determinar la distancia total recorrida durante las pruebas iniciales se suma los valores obtenidos en las tres velocidades de la moto eléctrica más la velocidad de corte de la batería de litio mediante la Ecuación 17.

### **Ecuación 17**

*Distancia total recorrida en la prueba inicial*

$$Dt = D_1 + D_2 + D_3 + D_p$$

$$Dt = 10,88 + 10,63 + 10,82 + 22,39$$

$$Dt = 54,72 [km]$$

Donde:

- $Dt$  = Distancia Total
- $D_1$  = Distancia recorrida en primera velocidad
- $D_2$  = Distancia recorrida en segunda velocidad
- $D_3$  = Distancia recorrida en tercera velocidad
- $D_p$  = Distancia recorrida en tercera velocidad hasta alcanzar el punto de corte

### ***Tiempo final***

Para determinar el tiempo final empleado en el desarrollo de las pruebas iniciales se suma los valores obtenidos de tiempo mediante la Ecuación 18.

### **Ecuación 18**

*Tiempo final empleado en la prueba inicial*

$$Tf = T_1 + T_2 + T_3 + T_p$$

$$T_f = 19 + 16 + 16 + 63$$

$$T_f = 114 \text{ [min]}$$

Donde:

$T_f$  = Tiempo final

$T_1$  = Tiempo empleado en primera velocidad

$T_2$  = Tiempo empleado en segunda velocidad

$T_3$  = Tiempo empleado en tercera velocidad

$T_p$  = Tiempo empleado en tercera velocidad hasta alcanzar el punto de corte

### Pruebas Finales con el prototipo

#### Figura 82

Gráfico velocidad vs tiempo en primera velocidad con el prototipo



Nota. Gráfico de la variación de la velocidad ( km/h) con respecto al tiempo (min:seg) en primera velocidad de la moto eléctrica con el prototipo. Tomado de (Bogdanovich, 2022)

#### Tabla 23

Resultados obtenidos en primera velocidad con el prototipo

Datos	Valores	Evidencia
Distancia recorrida	11,48 [km]	
Velocidad máxima	48 [km/h]	
Velocidad promedio	39 [km/h]	
Tiempo	19 [min] 43 [seg]	

*Nota.* Datos obtenidos mediante la aplicación Geo Tracker en primera velocidad de la moto eléctrica.

### Figura 83

*Gráfico velocidad vs tiempo en segunda velocidad con el prototipo*



*Nota.* Gráfico de la variación de la velocidad ( km/h) con respecto al tiempo (min:seg) en segunda velocidad de la moto eléctrica con el prototipo. Tomado de (Bogdanovich, 2022)

### Tabla 24

*Resultados obtenidos en segunda velocidad con el prototipo*

Datos	Valores	Evidencia
Distancia recorrida	11,02 [km]	<div style="background-color: #333; color: white; padding: 10px;"> <p><b>2da velocidad prueba Final</b> <span style="float: right;">🔗 ⬇</span></p> <p><b>11.02</b> km <span style="float: right;"><b>64</b> km/h</span></p> <p><small>LONGITUD RUTA</small> <span style="float: right;"><small>VELOCIDAD MÁXIMA</small></span></p> <p><b>00:17:35</b> <span style="float: right;"><b>38</b> km/h</span></p> <p><small>DURACIÓN REGISTRO</small> <span style="float: right;"><small>VELOCIDAD MEDIA</small></span></p> <p><b>00:15:44</b> <span style="float: right;"><b>42</b> km/h</span></p> <p><small>DURACIÓN MOVIMIENTO</small> <span style="float: right;"><small>VEL. MEDIA MOVIMIENTO</small></span></p> </div>
Velocidad máxima	64 [km/h]	
Velocidad promedio	38 [km/h]	
Tiempo	17 [min] 35 [seg]	

*Nota.* Datos obtenidos mediante la aplicación Geo Tracker en segunda velocidad de la moto eléctrica.

### Figura 84

Gráfico velocidad vs tiempo en tercera velocidad con el prototipo



*Nota.* Gráfico de la variación de la velocidad ( km/h) con respecto al tiempo (min:seg) en tercera velocidad de la moto eléctrica con el prototipo. Tomado de (Bogdanovich, 2022)

### Tabla 25

Resultados obtenidos en tercera velocidad con el prototipo

Datos	Valores	Evidencia
Distancia recorrida	11,21 [km]	
Velocidad máxima	65 [km/h]	
Velocidad promedio	40 [km/h]	
Tiempo	16 [min] 54 [seg]	

*Nota.* Datos obtenidos mediante la aplicación Geo Tracker en tercera velocidad de la moto eléctrica.

### Figura 85

Gráfico velocidad vs tiempo para determinar el punto de corte con el prototipo



*Nota.* Gráfico de la variación de la velocidad ( km/h) con respecto al tiempo (min:seg) en tercera velocidad hasta alcanzar el punto de corte de la batería. Tomado de (Bogdanovich, 2022)

Tabla 26

Resultados obtenidos en tercera velocidad con el prototipo hasta el punto de corte

Datos	Valores	Evidencia
Distancia recorrida	26,44 [km]	
Velocidad máxima	66 [km/h]	
Velocidad promedio	20,85 [km/h]	
Tiempo	74 [min] 21 [seg]	

*Nota.* Datos obtenidos mediante la aplicación Geo Tracker en tercera velocidad de la moto eléctrica hasta alcanzar el punto de corte de la batería de litio.

## Resultados de las pruebas finales

### *Distancia total recorrida*

Para determinar la distancia total recorrida durante las pruebas finales se suma los valores obtenidos de tiempo mediante la Ecuación 18.

### Ecuación 19

*Distancia total recorrida en la prueba final*

$$Dt = D_{1f} + D_{2f} + D_{3f} + D_{Pf}$$

$$Dt = 11,48 + 11,02 + 11,21 + 26,44$$

$$Dt = 60,15 [km]$$

Donde:

- $Dt$  = Distancia Total
- $D_{1f}$  = Distancia recorrida en primera velocidad con el prototipo
- $D_{2f}$  = Distancia recorrida en segunda velocidad con el prototipo

- $D_{3f}$  = Distancia recorrida en tercera velocidad con el prototipo
- $D_{pf}$  = Distancia recorrida en tercera velocidad hasta alcanzar el punto de corte con el prototipo

### **Tiempo final**

Para determinar el tiempo final empleado en el desarrollo de las pruebas iniciales se suma los valores obtenidos de tiempo mediante la Ecuación 18.

### **Ecuación 20**

*Tiempo final empleado en la prueba final*

$$Tf = T_1 + T_2 + T_3 + T_p$$

$$Tf = 19 + 16 + 16 + 74$$

$$Tf = 126 [min]$$

Donde:

$Tf$  = Tiempo final

$T_1$  = Tiempo empleado en primera velocidad con el prototipo

$T_2$  = Tiempo empleado en segunda velocidad con el prototipo

$T_3$  = Tiempo empleado en tercera velocidad con el prototipo

$T_p$  = Tiempo empleado en tercera velocidad hasta alcanzar el punto de corte

### **Etapas de generación de voltaje del sistema de carga**

El sistema de carga eólico en su parte electrónica se constituye por 6 fases de generación de voltaje cada una descritas a continuación.

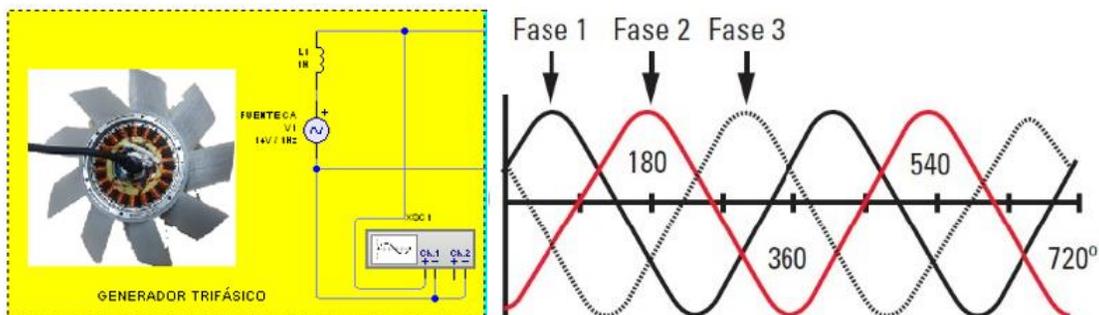
#### **Etapas 1**

Se relaciona al generador eólico y la corriente alterna que este produce, el estator en su interior consta de dieciocho bobinas inductoras con 3 arreglos conectados en paralelo, cada arreglo formado por 6 bobinas conectadas en serie, así se obtiene una salida trifásica de 10 a 20 voltios alternos y valores de corriente de 0.5 a 1 Amperio. Cada bobina se ubica en un

ángulo de 20° eléctricos respecto de otra. Es muy importante saber que la frecuencia varía en función de la velocidad de la moto eléctrica.

**Figura 86**

*Esquema de un generador trifásico*



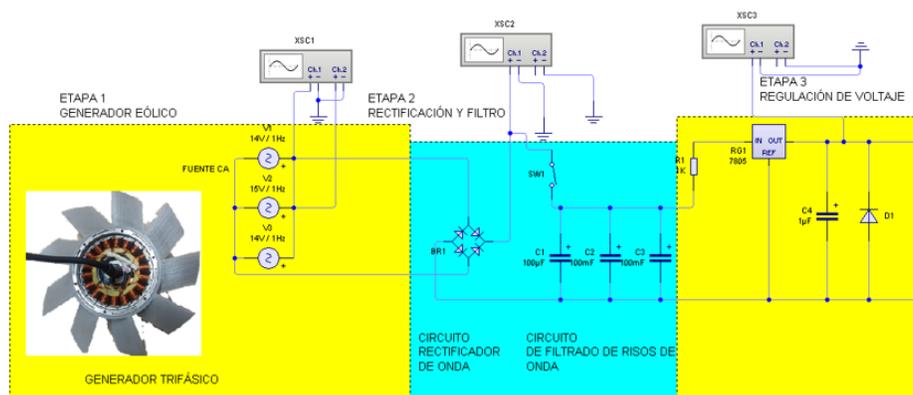
*Nota.* Esquema simplificado de un generador trifásico.

**Etapa 2**

El generador eólico genera corriente alterna CA, por lo que es necesario emplear un rectificador-regulador trifásico. Los tres cables de salida del generador se conectan a los cables de entrada de fase del regulador que mediante un arreglo de diodos rectifican la onda completa de la corriente, para obtener únicamente valores positivos. También se visualiza un filtro de onda, formado por 2 capacitores conectados en paralelo que mejora la linealidad de la corriente para producir una salida de corriente continua y constante.

**Figura 87**

*Esquema del proceso de rectificación y regulación*



*Nota.* Esquema del proceso de rectificación y regulación de la corriente generada.

### **Etapa 3**

La fase de regulación de voltaje se realiza mediante un regulador electrónico, este elemento controla los valores de salida a la batería y estabiliza los valores entre 13.5 - 14 voltios teniendo en cuenta la velocidad de la moto eléctrica y la corriente alterna que genera el prototipo eólico.

### **Etapa 4**

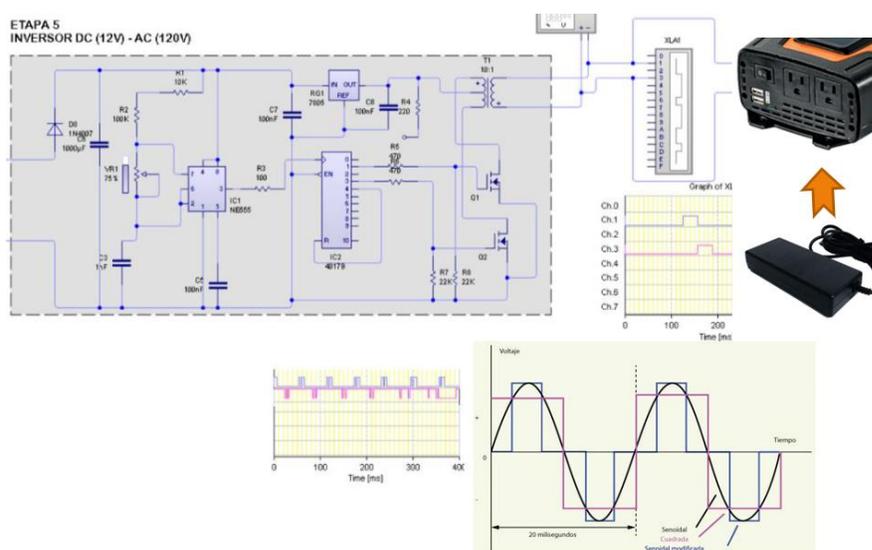
En esta fase la energía generada por el sistema de aspas pasa a cargar la batería de ácido plomo con un voltaje de 13.5 -14 voltios y una corriente de 0.5 a 1 Amperio en condiciones de alta velocidad de la moto eléctrica y un buen funcionamiento del prototipo.

### **Etapa 5**

El inversor de 750 W de potencia hace uso de la energía almacenada en la batería de ácido plomo para transformarla en valores de 110 - 120 voltios de corriente alterna, con esta etapa finaliza el circuito de carga.

## **Figura 88**

*Esquema eléctrico del inversor de 750 W*



*Nota.* Esquema de un inversor de 750 W usado en la investigación.

## Etapa 6

Todo el proceso de carga finaliza cuando se conecta el cargador de la moto eléctrica en el inversor y empieza a cargar la batería original de la moto eléctrica que en este caso es la batería de litio, esto se lo comprueba con el medidor de batería que se encuentra conectado en el cual se visualiza la corriente que ingresa a la batería.

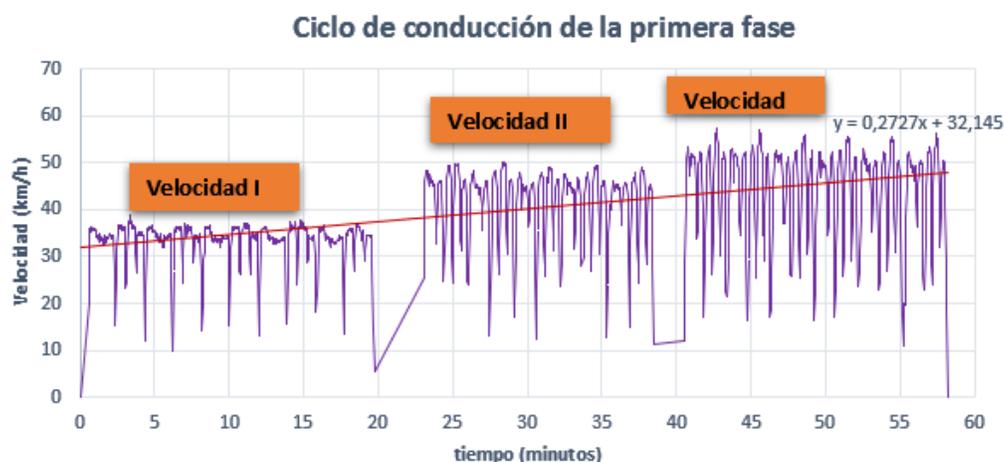
### Análisis de los ciclos de conducción en cada fase

#### Análisis del ciclo de conducción de la fase 1

Luego de realizar las pruebas de ruta se obtuvo el ciclo de conducción para la primera fase con un tiempo total de 58.2 minutos y una distancia total recorrida de 34.42 km. El estado de carga de la batería de litio al finalizar la fase 1 fue del 62%.

#### Figura 89

Velocidad vs tiempo de la fase 1



*Nota.* Se visualiza el ciclo de conducción resultante de la fase 1.

#### Análisis de la fase 2 o fase de descanso

La fase 2 establece un descanso de 60 minutos necesarios para evitar fallas en el motor eléctrico por temperaturas altas. Es importante conocer que en esta fase no se debe apagar el tablero y dispositivos de medida porque se pierde la comunicación con el celular.

### **Análisis del ciclo de conducción de la fase 3 o punto de corte**

En esta fase se realiza n vueltas con la moto eléctrica hasta llegar a un punto en el que no se mueva la moto. El tiempo que tardó la motocicleta eléctrica en parar es de 51.5 minutos con 20.4 km de recorrido.

#### **Figura 90**

*Velocidad vs tiempo de la fase 3*



*Nota.* Se visualiza el ciclo de conducción resultante de la fase 3.

### **Análisis del ciclo de conducción de la fase 4**

Para iniciar con la fase 4 se procede a instalar el prototipo de generador eólico en la parte frontal de la moto eléctrica. Se obtiene la gráfica del ciclo de conducción el cual no debe variar mucho con respecto a la gráfica de la fase 1. La fase 4 abarca 34.47 kilómetros recorridos en un tiempo de 60 minutos. El estado de carga de la batería de litio es del 63 %. En esta fase el generador eólico capta la energía cinética del viento a través del sistema de aspas y genera corriente alterna, la cual se rectifica y almacena en una batería auxiliar.

#### **Figura 91**

*Velocidad vs tiempo de la fase 4*



*Nota.* Se visualiza el ciclo de conducción resultante de la fase 4.

**Figura 92**

*Voltaje y amperaje después de la finalización de la fase 4*



*Nota.* Se visualiza los valores de la batería de litio después de la fase 4.

### **Análisis de la fase 5 o fase de carga**

Se aprovecha esta fase de descanso para carga a la batería de litio para lo cual se activa el interruptor de paso de corriente de la batería de ácido plomo al inversor y se enciende este último elemento. El estado de carga de la batería de litio pasa de 62 % a 67% en un lapso de 15 minutos, de igual manera el nuevo valor de voltaje es de 79,03 voltios y una capacidad de 13,622 Ah.

**Figura 93**

*Voltaje y amperaje después de la carga de la fase 5*



*Nota.* Se visualiza los valores de la batería de litio después de la fase 5.

### **Análisis del ciclo de conducción de la fase 6**

Después de haber finalizado el proceso de carga con la energía recolectada por el generador eólico, inicia la fase 6 hasta un punto de corte de funcionamiento de la moto eléctrica. Se obtuvo el ciclo de conducción para la fase 6 como se muestra a continuación.

#### **Figura 94**

*Velocidad vs tiempo de la fase 6*



*Nota.* Se visualiza el ciclo de conducción resultante de la fase 6

### **Autonomía alcanzada con el prototipo**

Para determinar la mejora alcanzada en la autonomía final de la moto eléctrica con el funcionamiento del prototipo rotor generador se ocupa la Ecuación .

#### **Ecuación 21**

*Autonomía final aumentada con el prototipo*

$$A = Df - Di$$

$$A = 60,15[km] - 54,72[km]$$

$$A = 5,43 [km]$$

Donde:

$A$  = Autonomía final aumentada

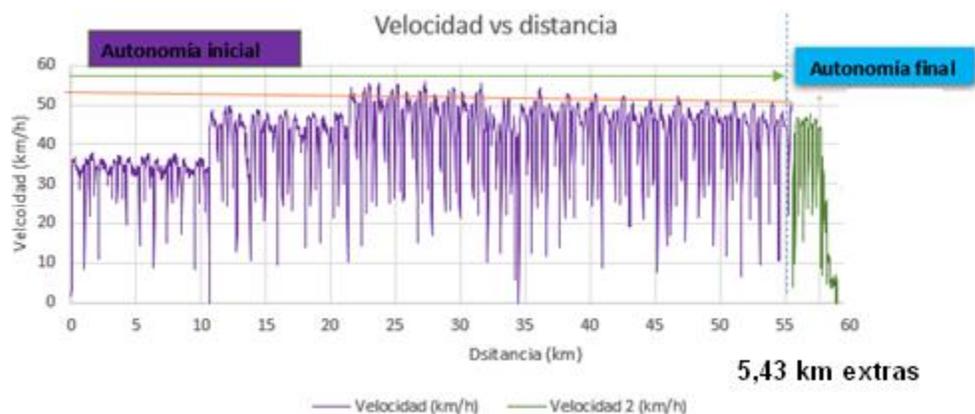
$Df$  = Distancia final recorrida

$Di$  = Distancia inicial recorrido

El valor de autonomía final resulta de sumar la distancia recorrida en la fase 4 y la fase 6. Se obtiene como resultado una autonomía final de 57,82 km de recorrido.

### Figura 95

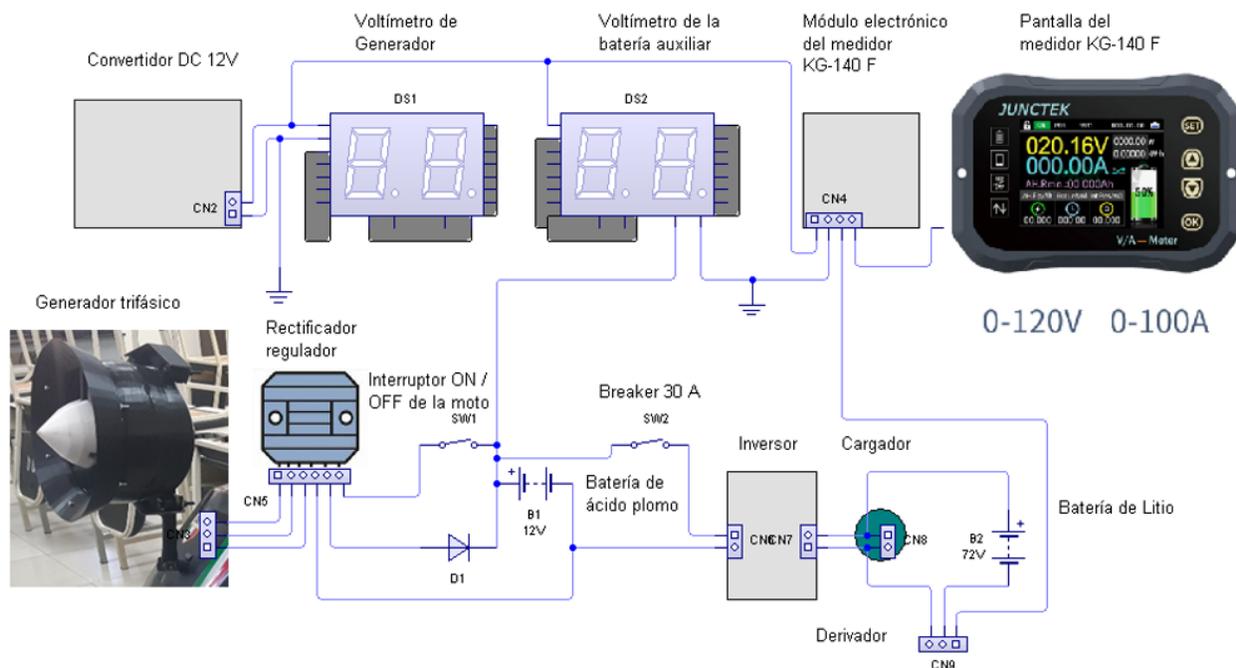
Gráfica de la autonomía final de la moto eléctrica



Nota. Se visualiza el incremento de autonomía equivalente a 5,43 km.

### Figura 96

Conexión general de cada componente



Nota. Se visualiza la conexión final de todo el sistema.

## Capítulo V

### Marco administrativo

#### Recursos humanos

**Tabla 27**

*Recursos humanos*

Orden	Descripción	Cantidad	Función
1.	Luis Felipe Changoluisa Tipán	1	Investigador
2.	Ing. Washington Germán Erazo Laverde	1	Colaborador Científico

*Nota.* En la Tabla 27 se detalla los participantes del proyecto

#### Recursos materiales

**Tabla 28**

*Recursos materiales*

No	Cantidad	Descripción	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
1	1	Moto eléctrica	650 (Proporcional)	650
2	1	Construcción sistema Rotor - Generador	300	340
3	1	Elementos eléctricos y electrónicos	50	140
4	1	Acabados complementarios	50	50
5	1	Imprevistos	50	50
			<b>Costo total</b>	<b>\$ 1230</b>

*Nota.* En la Tabla 28 se detalla el presupuesto que se utilizó en el desarrollo de la investigación mencionando valores de la moto eléctrica, prototipo y otros.

## Recursos tecnológicos

**Tabla 29**

*Recursos tecnológicos*

<b>No</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario (\$)</b>	<b>Valor total (\$)</b>
1.	Software de especialidad	1	100	100
2.	Instrumentos de medición	3	25	75
3	Software Livewire	1	-	-
4	Acceso a bases digitales	1	-	-
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 175</b>

*Nota.* Se detalla el presupuesto tecnológico total que se utilizó en la investigación

## Costo neto del proyecto

El costo total del proyecto se valoró aproximadamente en \$1405 dólares americanos.

## Capítulo VI

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

- Se diseñó y construyó el sistema rotor – generador, para aprovechar la energía eólica presente cuando la moto eléctrica está en movimiento, contribuyendo así al aprovechamiento de las energías renovables que se encuentran en el ambiente.
- El sistema de aspas logro generar una cantidad de corriente aceptable, operando en regímenes de viento superiores a los 5 m/s lo que supone una buena eficiencia de generación de energía.
- El modelo de cálculo implementado, fue usado como una guía para estimar las condiciones de operación y establecer parámetros de funcionamiento. Los resultados de dichos cálculos no correspondieron exactamente con el comportamiento del prototipo evidenciado en pruebas de campo, ya que este modelo no tiene en cuenta aspectos de variación en las velocidades de viento.
- Se estableció y ejecutó un protocolo de pruebas con el fin de cumplir ciertos criterios para la obtención de datos del prototipo instalado en la moto eléctrica.
- Se evaluó y comparó datos tomados antes y después de la instalación del prototipo para determinar el porcentaje de incremento en la autonomía final de la moto eléctrica.
- La aplicación de los conocimientos adquiridos durante nuestra formación académica en diversas áreas de la ingeniería automotriz, permitió la concepción, diseño, construcción y posterior puesta en marcha del prototipo de sistemas de aspas para generación de electricidad de baja potencia.
- El valor de la velocidad de viento mínima para que el sistema de aspas tome arranque esta alrededor de los 5 m/s posteriormente se rompe la resistencia del motor eléctrico y este empieza a generar corriente.

- La estructura que soporta el prototipo fue construida con materiales adecuados para soportar vibraciones y movimientos del prototipo durante su funcionamiento.
- La simulación CFD del prototipo demostró, algunos aspectos a considerar sobre la importancia de un diseño aerodinámico óptimo del sistema de aspas y su comportamiento al estar expuesto a una velocidad de viento establecida.
- Para garantizar un mejor control del prototipo se instaló un voltímetro amperímetro Digital DC para la toma de datos en tiempo real con el fin de optimizar el proceso de evaluación de resultados y en definitiva visualizar el funcionamiento del prototipo para cargar a la batería auxiliar.
- Las etapas de diseño, construcción y simulación efectuados durante esta investigación, pueden brindar una visión general para continuar investigando en la aplicación del recurso eólico disponible en la provincia y el país.

## Recomendaciones

- Es conveniente Investigar y experimentar con distintos tipos de perfiles aerodinámicos para las aspas, con el fin de realizar mejoras en el diseño y materiales para un mayor desempeño en el sistema. Adicionalmente es importante tener en cuenta para futuras investigaciones la incidencia de la alteración del ángulo de ataque de los álabes.
- Para futuras investigaciones es recomendable generar nuevos diseños de aspas las cuales puedan ser adaptadas a los vehículos eléctricos y ayuden a aprovechar de mejor manera las corrientes de aire presentes durante su funcionamiento.
- Se sugiere ampliar la escala de las dimensiones del aspa conservando parámetros como la solidez del sistema y la relación de aspecto con el motor eléctrico todo con el fin de mejorar el arranque del sistema de aspas a bajos regímenes de viento. Esto significa que se dispondrá de un mayor torque al arranque de la turbina y así aprovechar velocidades de viento inferiores a 5 m/s.
- Al momento de realizar mediciones en los sistemas eléctricos de alto voltaje que posee la moto eléctrica es recomendable usar guantes de protección aislados para evitar descargas eléctricas durante su manipulación.
- Para un adecuado uso del equipo de medición se recomienda que el operador lea detenidamente el manual técnico de funcionamiento y se relacione con los mandos y la interfaz de control para una correcta obtención de datos.
- Es recomendable realizar planes y capacitaciones para que se dé a conocer las formas de aprovechamiento de la energía eólica ya que como se ve en esta investigación es una opción viable para ayudar a disminuir el problema de contaminación del aire que afecta a las grandes ciudades del mundo.
- Es importante seleccionar un convertidor de corriente alterna a corriente continua adecuado para obtener el voltaje deseado y que no exista pérdidas de corrientes.

## Bibliografía

- Abatta, L., & Moya, P. (2013). *Diseño, adaptación y conversión de una motocicleta de 100 c.c. a gasolina en eléctrica*. Sangolquí: ESPE.
- Airfoiltools. (2022). *GOE 428 AIRFOIL (goe428-il)*. Obtenido de Airfoil Tools:  
<http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=goe428-il>
- Amazon. (2022). *amazon*. Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/Controlador-velocidad-cepillado-acelerador-alimentaci%C3%B3n/dp/B07RDQ55X4?th=1>
- Barahona, J. (Julio de 2018). *Circuito eléctrico equivalente del motor de CD en conexión en serie*. Obtenido de Researchgate: [https://www.researchgate.net/figure/Circuito-electrico-equivalente-del-motor-de-CD-en-conexion-en-serie-Un-sistema-no-lineal\\_fig1\\_282862157](https://www.researchgate.net/figure/Circuito-electrico-equivalente-del-motor-de-CD-en-conexion-en-serie-Un-sistema-no-lineal_fig1_282862157)
- Bastidas, C., & Cabrera, D. (2014). *Conversión de una moto de combustión interna a eléctrica con alimentación de energía solar y con carga de energía eléctrica*. Latacunga: ESPE.
- Bautista, J. (2019). *Diseño y construcción de una mini turbina hidráulica de hélices para ser instalada en los canales primarios abiertos y generar energía mecánica*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Bogdanovich, I. (2022). *Geo Tracker*. Obtenido de Versión 5.1.5.2972 [ Aplicación móvil ]:  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ilyabogdanovich.geotracker>
- Díaz, R. (18 de Mayo de 2010). *Baterías de flujo como alternativa para el almacenamiento de energía en generación distribuída*. Obtenido de madrimasd:  
<https://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2010/05/18/130865>
- Electronilab. (2022). Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/controlador-pwm-de-velocidad-de-motor-dc-10-60v-20a-1200w/>
- Estévez, R. (16 de Junio de 2015). *Eco Inteligencia*. Obtenido de Eco Inteligencia:  
<https://www.ecointeligencia.com/2015/06/vehiculo-electrico-renovables/>

- García. (07 de Marzo de 2022). *Qué es un motor eléctrico y para qué se utiliza*. Obtenido de todoparalaindustria: [https://todoparalaindustria.com/blog/que-es-un-motor-electrico-y-para-que-se-utiliza/#Corriente\\_Alterna\\_CA\\_o\\_AC](https://todoparalaindustria.com/blog/que-es-un-motor-electrico-y-para-que-se-utiliza/#Corriente_Alterna_CA_o_AC)
- García, G. (15 de Diciembre de 2018). *Híbridos y eléctricos*. Obtenido de Híbridos y eléctricos: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/asi-funcionan-diferentes-tecnologias-vehiculos-electricos/20180921203150021994.html>
- Gonzalez, R. (2020). *EcologiaHoy*. Obtenido de EcologiaHoy: <https://www.ecologiahoy.com/motocicleta-electrica>
- Grijalva, F. (2014). *Analizar la eficiencia de una moto eléctrica en la ciudad de Quito (Tesis de pregrado)*. Quito: UTE.
- Guillén, F. (2009). *Guía del Vehículo Eléctrico*. Madrid: Gráficas Arias Montano, S.A.
- Guizien, V. (2018). *Desarrollo de un controlador para motocicleta eléctrica*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- Juaréz, E. (01 de Agosto de 2021). *Conducir esta moto eléctrica es como manejar un robot de dos ruedas*. Obtenido de La Vanguardia: <https://www.lavanguardia.com/motor/vehiculos/motos/20210801/7632942/moto-electrica-robot-davinci-dc100.html#foto-2>
- López, A. (23 de Mayo de 2022). *Geo Tracker*. Obtenido de <https://geo-tracker.uptodown.com/android>: <https://geo-tracker.uptodown.com/android>
- López, G., & Galarza, S. (2017). *Movilidad Eléctrica; Oportunidades para Latinoamérica*. Chile: ONU Medio Ambiente.
- Manero, J. R. (2010). *España Patente nº ES1074375U*.
- Máñez, G. (2021). *Movilidad Eléctrica; Avances en América Latina y el Caribe*. Panamá: PNUMA.

- Mártel, I. (18 de Octubre de 2020). *blogs.cdecomunicacion*. Obtenido de blogs.cdecomunicacion: <https://blogs.cdecomunicacion.es/ignacio/2020/10/18/interior-de-un-generator-eolico/>
- Martinez, J. (20 de Febrero de 2018). *Movilidad motorizada, impacto ambiental, alternativas y perspectivas futuras*. Obtenido de Scielos Salud Pública: <https://www.scielosp.org/article/rsap/2018.v20n1/126-131/>
- Martínez, M. (21 de Noviembre de 2021). *¿Qué son los motores sin escobillas y qué ventajas ofrecen?* Obtenido de Ronix: [https://ronixtools.com/es/blog/what-are-brushless-motors-and-what-advantages-do-they-offer/#Que\\_es\\_el\\_motor\\_sin\\_escobillas\\_Brushless\\_y\\_cual\\_es\\_su\\_origen](https://ronixtools.com/es/blog/what-are-brushless-motors-and-what-advantages-do-they-offer/#Que_es_el_motor_sin_escobillas_Brushless_y_cual_es_su_origen)
- Microsoft. (2022). Obtenido de <https://www.msn.com/es-xl/el-tiempo/pronostico/in-Belisario-Quevedo,Cotopaxi>
- Minguela, I. (2016). *Diseño eléctrico y electrónico de una*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Molero, E., & Pozo, A. (2013). *El vehículo eléctrico y su infraestructura de carga*. Barcelona: MARCOMBO S.A.
- Moroso, F. (2022). *Anemómetro Digital UNI-T 363*. Obtenido de <https://ninoelectronico.cl/>: <https://ninoelectronico.cl/producto/anemometro-digital-uni-t-363/>
- Oficina Española de Patentes y Marcas. (02 de Mayo de 2011). *OEPM*. Obtenido de Generador Eólico para vehículos: <http://www.economiadelaenergia.com/2011/05/generador-eolico-para-vehiculos/>
- Ortega, E. (13 de Junio de 2021). *Computer Hoy*. Obtenido de Computer Hoy: <https://computerhoy.com/guia-compra/moto-electrica#ventajas-1617620606051>
- Peréz, R. (2009). *Centrales de Energías Renovables; Generación Eléctrica con energías Renovables*. Madrid: Pearson Educación.
- Ramírez, A. (2019). *Diseño de Álabes, Rotor y Transmisión de un Generador Eólico de Eje Horizontal de 500 W*. Pachuca de Soto: Instituto Tecnológico de Pachuca.

Rodríguez, P., & Chacón, J. (2015). *Guía del Vehículo Eléctrico II*. Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.

Roldán, J. (2014). *Motores de corriente continua*. Madrid: Paraninfo S.A.

Roldán, L. (24 de Julio de 2019). *Ecología Verde*. Obtenido de Ecología Verde:

<https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-vehicular-que-es-tipos-causas-y-consecuencias-2130.html>

Soria, S. (23 de Marzo de 2021). *Motocicleta eléctrica Silence SO2*. Obtenido de Movilidad Hoy:

<https://www.movilidadhoy.com/motos/actualidad-motos/motos-electricas-mas-vendidas-en-2020/>

Sosa, R. (23 de Enero de 2021). *Twenergy*. Obtenido de [https://twenergy.com/coches-electricos/baterias-coches-electricos/#Baterias\\_de\\_niquel-cadmio](https://twenergy.com/coches-electricos/baterias-coches-electricos/#Baterias_de_niquel-cadmio)

**Anexos**