

Diseño del sistema de propulsión eléctrico de una rueda de bicicleta con su estación de carga para biciusuarios de la Universidad Santo Tomás sede Central

Diana Alejandra Bermúdez Fajardo
Juan Sebastián Palomino Boshell
Alejandro Casas Martin

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Electrónica
Bogotá, Colombia
2024



Diseño del sistema de propulsión eléctrico de una rueda de bicicleta con su estación de carga para biciusuarios de la Universidad Santo Tomás sede Central

Diana Alejandra Bermúdez Fajardo
Juan Sebastián Palomino Boshell
Alejandro Casas Martin

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Electrónico

Director:
Ing. Gianina Garrido Silva

Co-Dirigido por:
Ing. Edwin Francisco Forero García
Ing. Darío Alejandro Segura Torres

Grupo de Investigación: MEM (Modelado-Electrónica-Monitoreo)
Línea de Investigación: Electrónica y energías renovables
Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Electrónica
Bogotá, Colombia
2024

Autoridades de la universidad

RECTOR GENERAL

R.P FRAY ALVARO JOSE ARANGO RESTREPO, O.P.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO GENERAL

R.P FRAY HERNAN YESID RIVERA ROBERTO, O.P

VICERRECTOR ACADÉMICO GENERAL

R.P FRAY MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEGO, O.P

SECRETARIO GENERAL

Dra. INGRID LORENA CAMPOS VARGAS

DECANO DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

R.P FRAY JAVIER ANTONIO HINCAPIÉ ARDILA, O.P.

SECRETARIA DE DIVISIÓN

E.C LUZ PATRICIA ROCHA CAICEDO

DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PHD. CARLOS ANDRÉS TORRES PINZÓN.

Nota de aceptación

Firma del tutor

Firma del jurado

Firma del jurado

BOGOTÁ D.C. _____ DE 2024

ADVERTENCIA

La Universidad Santo Tomás no se hace responsable de las opiniones y conceptos expresados en el trabajo de grado, solo velará por qué no se publique nada contrario al dogma ni a la moral católica y porque el trabajo no tenga ataques personales y únicamente se vea el anhelo de buscar la verdad científica.

Capítulo III –Art. 46 del Reglamento de la Universidad Santo Tomás.

Dedicatoria

Dedico mi tesis principalmente a Dios, por darme la fuerza necesaria para culminar esta meta.

A mis padres, Juan Carlos y Diana Rocío, por su amor incondicional y por acompañarme en cada paso que doy en la búsqueda de ser mejor persona y profesional.

También se la dedico a mis abuelos, desde el cielo que son la luz que me dan fuerzas para continuar.

A mi hermano, Juan Sebastián por todo su apoyo incondicional, espero ser un ejemplo para él de que todo se puede lograr con disciplina.

A mis compañeros de tesis y de toda la carrera, quienes me acompañaron en esta formación académica y no me dejaron desistir en ningún momento.

También a mis directores de tesis, por su guía académica y personal para hacer posible este proyecto.

Diana Alejandra Bermúdez Fajardo

Dedicatoria

A mis padres, quienes con su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio inquebrantable me brindaron las herramientas y la fortaleza para enfrentar cada obstáculo en este camino. A mis amigos, por su lealtad, por estar siempre presentes en las buenas y en las malas, por su invaluable apoyo y por las risas que llenaron mi vida de alegría. A mi directora de tesis, **Gianina Garrido Silva**, por su invaluable guía, paciencia, sabiduría y por creer en mi potencial, por ser un mentor excepcional y una amiga incondicional. A todos mis profesores y compañeros de la universidad, por su apoyo, colaboración y por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias. A todas las personas que posibilitaron la culminación de este trabajo, mi agradecimiento. A Dios, por su infinita bondad, por darme la fuerza y la sabiduría para alcanzar mis metas, por iluminar mi camino y por bendecirme con una familia y amigos maravillosos.

Dedico este trabajo a todos ustedes, con el profundo sentimiento de gratitud por el amor, el apoyo y la confianza que me brindaron durante este largo camino. Este logro es tan mío como de ustedes, y es un símbolo del amor que nos une y de la fuerza que podemos lograr cuando trabajamos juntos.

Alejandro Casas Martín

Dedicatoria

"A mi madre y a mi padre, cuyos sacrificios y amor incondicional me han impulsado a llegar hasta aquí. A mis hermanas, quienes siempre han sido mi fuente de inspiración y alegría en cada paso de este camino. A mi abuela materna, por sus consejos de vida que seguirán conmigo, aunque ya no te encuentres. A mi abuela paterna por su apoyo, permitiéndome seguir estudiando.

A mis amigos, por ser mi red de apoyo constante y por compartir conmigo los desafíos y triunfos de este viaje académico. A mis maestros, cuya dedicación y sabiduría han dejado una marca indeleble en mi formación.

Esta tesis es un homenaje a ustedes, pilares fundamentales en mi vida. Agradezco profundamente su presencia y guía a lo largo de esta travesía. ¡Este logro es el resultado de nuestro esfuerzo conjunto y de su inquebrantable apoyo!"

Juan Sebastián Palomino Boshell

Agradecimientos

Agradecemos a nuestras familias por el apoyo incondicional y constante que nos han dado durante todo el proceso académico. A nuestros codirectores Darío Alejandro Segura Torres, Edwin Francisco Forero por su dedicación y recomendaciones durante el desarrollo de este proyecto.

Agradecimiento especial a nuestra directora la profesora Gianina Garrido Silva, no tenemos palabras suficientes para expresar nuestra gratitud por su apoyo incondicional durante este proceso, sus consejos sabios, su paciencia y dedicación al revisar cada detalle de nuestra investigación. Mas allá de su invaluable apoyo académico, quisiéramos agradecer por la amistad y por ser pilar fundamental en nuestra vida personal, las palabras de apoyo y constancia nos dieron la fuerza para superar cada obstáculo presentando en el camino.

Gracias a ti, aprendimos no solo sobre de rigor académico, sino también sobre la importancia de la paciencia, la perseverancia y la pasión por el conocimiento y la investigación. Siendo un ejemplo a seguir y una fuente constante para la vida.

Diana Alejandra Bermúdez Fajardo

Juan Sebastián Palomino Boshell

Alejandro Casas Martin

Contenido

Abstract	XIV
Resumen	XV
Lista de Figuras	XVI
Lista de Tablas.....	XVIII
Glosario	XIX
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del Problema.....	3
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo General.	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	5
1.3. Justificación.	6
1.4. Impacto Social.....	8
2. Estado del Arte.	9
3. Marco Teórico	17
3.1. Rueda Eléctrica.	17
3.1.1. Funcionamiento de un Motor de inducción.	17
3.1.2. Motor de inducción Brushless.....	17
3.1.3. Controladores de Motor Brushless.....	17
3.1.4. Baterías.	17
3.1.5. Tipos de Baterías.	18
3.1.5.1. Baterías AMG.	18
3.1.5.2. Baterías GEL.....	18
3.1.5.3. Baterías LIFEPO4.....	18
3.1.5.4. Baterías Litio-Ion.....	18
3.2. Electrolinera.....	19
3.2.1. Estación de carga.....	19
3.2.2. Electrolineras mediante el uso de Aerogeneradores.	19
3.2.3. Aprovechamiento.	20
3.2.4. Tipos de aerogenerador de bajas velocidades.	20
3.2.5. Componentes de una Electrolinera.....	21
3.3. Internet de las cosas.	23
3.3.1. Telemetría.	23

3.3.2.	Arduino IOT Cloud.....	23
4.	Diseño Metodológico	24
4.1.	Desarrollo del concepto.	24
4.2.	Arquitectura y especificaciones del producto.	25
4.3.	Desarrollo del producto.	25
4.4.	Telemetría.....	25
4.5.	Validación de la autonomía.....	26
4.6.	Validación del producto.....	26
5.	Desarrollo Conceptual.....	27
5.1.	Concepto Rueda eléctrica y electrolinera.	27
5.1.1.	Revisión bibliográfica de la rueda eléctrica y la electrolinera.....	27
5.1.2.	Requerimientos y especificaciones del diseño.	27
5.1.2.1.	Requerimientos rueda eléctrica.	28
5.1.2.2.	Requerimientos de la electrolinera.	28
5.1.3.	Estudio preliminar de la rueda eléctrica.....	28
5.1.3.1.	Fuerzas y reacciones en una rueda eléctrica.	28
5.1.3.2.	Condiciones de equilibrio.	29
5.1.4.	Estudio preliminar de la electrolinera.....	29
5.1.4.1.	Estudio de velocidades del viento.	29
5.1.4.2.	Perfil de elevación.....	29
5.1.4.3.	Datos del viento de la NASA.....	30
5.1.4.4.	Datos del viento de la IDEAM.....	30
5.1.4.5.	Análisis de viento por probabilidad de Weibull.	30
5.1.5.	Parámetros de la rueda eléctrica y la electrolinera.	31
5.2.	Diseño de la Arquitectura.	32
5.2.1.	Diseño mecánico de la rueda eléctrica.....	32
5.2.2.	Diseño eléctrico de la rueda eléctrica.	33
5.2.3.	Diseño mecánico de la electrolinera.....	34
5.2.4.	Diseño eléctrico de la electrolinera.	36
5.2.5.	Diagrama de flujo preensamble rueda eléctrica.	40
5.2.6.	Diagrama de flujo preensamble Electrolinera.....	41
5.3.	Detalle del producto.	41
5.3.1.	Detalle de planos Mecánicos.....	41
5.3.2.	Detalle de planos Electrónicos.	42

5.4.	Creación del sistema de monitoreo.....	43
5.4.1.	Rueda Eléctrica.	43
5.4.1.1.	Caracterización de las variables.	43
5.4.1.2.	Caracterización hardware.....	43
5.4.1.3.	Creación circuito impreso.	44
5.4.1.4.	Diagrama de flujo del software.	45
5.4.2.	Electrolinera.	47
5.4.2.1.	Caracterización de las variables.	47
5.4.2.2.	Caracterización hardware.....	48
5.4.2.3.	Creación circuito impreso.	48
5.4.2.4.	Diagrama de flujo del software.	49
5.5.	Ruta de prueba.....	50
5.5.1.	Visualización del histórico de datos.	51
5.6.	Validación del producto.....	51
5.7.	Validación autonomía.....	51
6.	Resultados y Discusión	52
6.1.	Obtención de la información.	52
6.1.1.	Descripción de vigilancia tecnológica.	52
6.1.2.	Bocetos de diseños	52
6.1.3.	Tomas de decisiones.	53
6.1.4.	Análisis mecánico de la rueda eléctrica	54
6.1.4.1.	Cálculo de fuerzas y reacciones.	54
6.1.4.2.	Determinación de las condiciones de equilibrio mediante cálculos.	55
6.1.4.3.	Toma de decisión kit eléctrico.	55
6.1.5.	Diseño de la electrolinera.	59
6.1.5.1.	Localización y parametrización.	59
6.1.5.2.	Cálculo de la velocidad el viento.	59
6.1.5.3.	Cálculo perfil de elevación.....	61
6.1.5.4.	Análisis estadístico de Weibull con los datos de la NASA.	62
6.1.5.5.	Análisis estadístico de Weibull con los datos de IDEAM.....	64
6.2.	Arquitectura y especificaciones del producto	66
6.2.1.	Cálculos mecánicos de la rueda eléctrica.....	66
6.2.2.	Cálculos eléctricos de la rueda eléctrica.	68
6.2.3.	Cálculos mecánicos de la electrolinera.....	69

6.2.4.	Caracterización de componentes de la electrolinera.	73
6.3.	Desarrollo del producto.	77
6.3.1.	Análisis de esfuerzos	77
6.3.2.	CAD de la Rueda Eléctrica.	90
6.3.3.	Planos de la Rueda Eléctrica	90
6.3.4.	CAD de la Electrolinera.	90
6.3.5.	Planos de la Electrolinera.	91
6.3.6.	Consideración Ambiental de proyecto.....	91
6.4.	Validación del producto.....	93
6.4.1.	Electrolinera.	93
6.4.2.	Rueda Eléctrica.	99
6.5.	Validación de la autonomía.....	107
7.	Conclusiones y Trabajos futuros.....	108
8.	Anexos.....	110
9.	Referencias Bibliográficas	115

Abstract

In response to the vehicular chaos and air pollution in Bogota, this project develops an electro-lane and an electrically assisted bicycle wheel. It seeks to promote sustainable and efficient urban mobility. The use of electric bicycles will reduce conventional vehicles, relieving congestion and pollution. The electric pumps, taking advantage of renewable energy, will charge the bicycles, contributing to the reduction of environmental pollution.

The research is based on a product development approach, combining design, engineering and technology analysis. An iterative methodology is employed, including keyword research, literature analysis, concept generation, system-level design and detailed development. Tools such as SolidWorks, SuperDecisions and PowerEsim are used for design and analysis. Applications such as Google earth and Arduino Cloud are used for telemetry. Product validation is done through field testing and real time data analysis.

The successful design of an electric fuel cell and an electric bicycle wheel with its respective telemetry system is achieved. These products demonstrate their technical and functional feasibility, as well as their efficiency in terms of autonomy and performance.

This study presents significant advances in the implementation of solutions for sustainable urban mobility. From a methodological and technical perspective, it highlights the product development approach used and the integration of emerging technologies. These results offer opportunities for policies and projects oriented towards more sustainable mobility in urban cities.

Keywords:

Alternative energies, electric fuel cell, electric wheel, telemetry system.

Resumen

Este proyecto propone abordar el caos vehicular y la contaminación del aire en Bogotá D.C. mediante la implementación de soluciones de movilidad urbana sostenible y el aprovechamiento de energías renovables llevando a cabo la construcción de una estación de carga eólica y una rueda de bicicleta asistida eléctricamente, equipada con un sistema de telemetría. Además, la introducción de bicicletas eléctricas ayudará a reducir la cantidad de vehículos convencionales en las calles, lo que a su vez aliviará la congestión de movilidad, asimismo estas bicicletas serán recargadas en electrolinerías fomentando así un medio de transporte más limpio.

La investigación se basa en un enfoque de desarrollo de producto, combinando análisis de diseño, ingeniería y tecnología. Se emplea una metodología iterativa, incluyendo búsqueda de palabras clave, análisis bibliográfico, generación de conceptos, diseño a nivel de sistema y desarrollo detallado. Herramientas como SolidWorks, SuperDecisions y PowerEsim se utilizan para diseño y análisis. Se emplean aplicaciones como Google earth y Arduino Cloud para la telemetría. La validación del producto se realiza mediante pruebas de campo y análisis de datos en tiempo real.

Se logra el diseño exitoso de una electrolinera y rueda de bicicleta eléctrica con su respectivo sistema de telemetría. Estos productos demuestran su viabilidad técnica y funcional, así como su eficacia en términos de autonomía y desempeño.

Este estudio presenta avances significativos en la implementación de soluciones para la movilidad urbana sostenible. Desde una perspectiva metodológica y técnica, destaca el enfoque de desarrollo de producto utilizado y la integración de tecnologías emergentes. Estos resultados ofrecen oportunidades para políticas y proyectos orientados hacia una movilidad más sostenible en ciudades urbanas.

Palabras clave:

Energías alternativas, electrolinera, rueda eléctrica, sistema de telemetría.

Lista de Figuras

Figura 4.1. Fases del proyecto. Fuente: Autores	24
Figura 5.1. Eje Transición energética para la carga de la batería de la rueda eléctrica.	31
Figura 5.2. Diagrama de flujo preensamble rueda eléctrica	40
Figura 5.3. Diagrama de flujo preensamble electrolinera	41
Figura 5.4. Código de la caracterización de las variables.	43
Figura 5.5. Implementación del Hardware.	44
Figura 5.6. Circuito impreso.	44
Figura 5.7. Diagrama de flujo sección 1 a 2	45
Figura 5.8. Diagrama de flujo sección de 2 a 7.	46
Figura 5.9. Diagrama de flujo sección de 7 a 8.	46
Figura 5.10. Diagrama de flujo sección de 8 a 11.	47
Figura 5.11. Código de la caracterización de las variables.	47
Figura 5.12. Caracterización del hardware	48
Figura 5.13. Circuito impreso	48
Figura 5.14. Diagrama de flujo sección 1.	49
Figura 5.15. Diagrama de flujo sección de 2 a 5.	49
Figura 5.16. Diagrama de flujo sección de 5 a 7.	50
Figura 5.17. Ruta de prueba.	50
Figura 5.18. Perfil de elevación.	51
Figura 6.1. Boceto 1 de la rueda eléctrica.	53
Figura 6.2. Boceto 2 de la rueda eléctrica.	53
Figura 6.3. Cálculo de fuerzas y reacciones de la rueda eléctrica.	54
Figura 6.4. Proceso Analítico Jerárquico.	57
Figura 6.5. Toma de decisiones.	57
Figura 6.6. Grafico de resultados.	58
Figura 6.7. Gráfico ANP Sensitivity.	58
Figura 6.8. Localización de la Universidad Santo Tomás.	59
Figura 6.9. Rosa de los vientos	60
Figura 6.10. Distribución de frecuencia de vientos	61
Figura 6.11. Rosa de vientos en Google Earth.	61
Figura 6.12. Perfil elevación de zona.	62
Figura 6.13. Datos del viento obtenidos del portal de la NASA.	63
Figura 6.14. Aproximación a una recta.	63
Figura 6.15. Densidad probabilidad de Weibull y frecuencia de datos de la NASA. .	64
Figura 6.16. Parámetros de la probabilidad de Weibull.	64
Figura 6.17. Datos de la IDEAM.	65
Figura 6.18. Aproximación a una recta de los datos del IDEAM	65
Figura 6.19. Densidad probabilidad de Weibull y frecuencia de datos del IDEAM. .	66
Figura 6.20. Parámetros de la probabilidad de Weibull	66
Figura 6.21. Diagrama cuerpo libre de la rueda eléctrica.	67

Figura 6.22. Modelo principal del rotor Savonius	71
Figura 6.23. Perfil Nasa 4412	72
Figura 6.24. Generador eléctrico.....	73
Figura 6.25. . Banco de baterías.	75
Figura 6.26. Inversor	76
Figura 6.27. Modelo CAD.	78
Figura 6.28. Análisis estático por Von Mises	86
Figura 6.29. Análisis estático por desplazamientos resultantes	87
Figura 6.30. Análisis estático de desplazamiento por deformación unitaria	88
Figura 6.31. Análisis estático por factor de seguridad	89
Figura 6.32. CAD de la rueda eléctrica.....	90
Figura 6.33. CAD de la electrolinera en Solidworks.....	91
Figura 6.34. Gráfica matriz de Leopold	92
Figura 6.35. Eje principal del aerogenerador	93
Figura 6.36. Aspas Savonius Aerogenerador	94
Figura 6.37. Aerogenerador Final	94
Figura 6.38. Prototipo Electrolinera.....	95
Figura 6.39. Comparación de velocidades del aerogenerador VS anemómetro	96
Figura 6.40. Circuito impreso aerogenerador	97
Figura 6.41. Gabinete metálico	98
Figura 6.42. Gráfica Soc	98
Figura 6.43. Gráfica corriente carga	99
Figura 6.44. Gráfica corriente descarga.	99
Figura 6.45. Preensamble	100
Figura 6.46. Preensamble Chasis	100
Figura 6.47. Adaptación Motor.....	101
Figura 6.48. Llanta adaptada.....	102
Figura 6.49. Conexiones Eléctricas.....	102
Figura 6.50. Ensamble mecánico y eléctrico.	103
Figura 6.51. Rueda Final.	104
Figura 6.52. Rueda ensamblada en bicicleta convencional.	104
Figura 6.53. Circuito impreso rueda	105
Figura 6.54. Dashboard.	105
Figura 6.55. Descarga de datos CSV.....	106
Figura 6.56. Altitud del recorrido	106
Figura 6.57. Soc.....	107
Figura 6.58. Energía consumida.....	107
Figura 6.59. Gráfica autonomía	108

Lista de Tablas

Tabla 2.1. Resumen del estado del arte. Fuente: Autores	14
Tabla 6.1. Resultados Vigilancia tecnológica. Fuente: Autores.....	52
Tabla 6.2. Especificaciones Kit Electrico_1. Fuente: Autores.....	56
Tabla 6.3. Especificaciones Kit Electrico_2. Fuente: Autores.....	56
Tabla 6.4. Especificaciones Kit Electrico_2. Fuente: Autores.....	56
Tabla 6.5. Parámetros de Construcción. Fuente: Autores.	71
Tabla 6.6. Especificaciones del generador eléctrico. Fuente: Autores.	74
Tabla 6.7. Tabla de comparación de baterías. Fuente: Autores.....	74
Tabla 6.8. Especificaciones de la batería. Fuente: Autores.	76
Tabla 6.9. Especificaciones del Inversor. Fuente: Autores.	77
Tabla 6.10. Descripción de Modelo. Fuente: Autores.....	78
Tabla 6.11. Descripción de material. Fuente: Autores.....	79
Tabla 6.12. Especificaciones Cargas y fijaciones. Fuente: Autores.....	80
Tabla 6.13. Especificaciones del chasis. Fuente: Autores.	81
Tabla 6.14. Detallado. Fuente: Autores.....	82
Tabla 6.15. Descripción de las Fuerzas. Fuente: Autores.....	83
Tabla 6.16. Descripción del Momento. Fuente: Autores.	84
Tabla 6.17. Descripción Fuerza de reacción. Fuente: Autores.....	84
Tabla 6.18. Resultante Momento reaccion. Fuente: Autores.....	85
Tabla 6.19. Descripción Momento Min y Max. Fuente: Autores.	86
Tabla 6.20. Descripción de esfuerzo Mínimo y Máximo. Fuente: Autores.	87
Tabla 6.21. Especificaciones Análisis estático. Fuente: Autores.	88
Tabla 6.22. Análisis estático factor de seguridad. Fuente: Autores.	89
Tabla 6.23. Calificación Positiva Matriz de Leopold Fuente: Autores.	92
Tabla 6.24. comprobación de componentes Electrolinera. Fuente: Autores.	95
Tabla 6.25. Comprobación Electrolinera VS Anemómetro. Fuente: Autores.....	96
Tabla 6.26. comprobación de componentes Rueda Electrica. Fuente: Autores.....	101

Glosario

SOC = Indica cuánta energía queda disponible en la batería en un momento dado, expresada como un porcentaje del total.

1. Introducción

Hoy en día, las ciudades se enfrentan a desafíos considerables en cuanto a la movilidad urbana. Problemas como la congestión del tráfico, la contaminación del aire y la escasez de opciones de transporte sostenible se vuelven cada vez más urgentes. Esta creciente preocupación por tales dificultades ha generado la búsqueda de soluciones innovadoras que aborden las causas fundamentales de la congestión vial y la polución atmosférica. Esto lleva a la necesidad de desarrollar alternativas de transporte más eficientes, limpias y accesibles, con el fin de mejorar la movilidad urbana y mitigar el impacto ambiental adverso derivado de los desplazamientos cotidianos.

En este contexto, el Tecnológico de Monterrey promueve un concurso internacional, el cual se buscaba diseñar una rueda de bicicleta capaz de convertir bicicletas estándar en bicicletas asistidas eléctricamente con el fin de disminuir la congestión urbana presente en la comunidad mexicana. La rueda necesitaba tener las siguientes características:

- El sistema de suministro de energía al motor debe ser eléctrico
- El sistema eléctrico debe poder ensamblarse en una bicicleta convencional
- La batería que alimenta al sistema debe contar con la característica de ser recargable desde una toma de corriente convencional
- El sistema eléctrico debe estar protegido contra la lluvia
- Diseño de rueda de tracción eléctrica para montar en una bicicleta tipo paseo Rodada: 26''
- Pendiente: capacidad de subir una pendiente del 7%
- Autonomía mayor a 10 km
- Velocidad máxima controlada a 20 km/h (debe tener la capacidad de controlar la velocidad). o Menor peso posible (Peso de la rueda con todos sus componentes eléctricos menor a 5 kg) o Capacidad de carga superior a 90 kg

En respuesta a este desafío, los integrantes de esta propuesta de grado participan en el concurso, obteniendo el tercer lugar mediante el diseño de una solución integral dirigida a los biciusuarios de la Universidad Santo Tomás sede Central, ubicada en Bogotá, D.C. Reconociendo la necesidad de soluciones adaptadas a las condiciones locales y las necesidades específicas de movilidad en esa comunidad.

La propuesta consiste en desarrollar una rueda eléctrica innovadora que convierta bicicletas convencionales en bicicletas asistidas eléctricamente, junto con una estación de carga eólica (electrolinera) y un sistema de telemetría para monitorear el estado de carga y descarga de las bicicletas. Para lograr este objetivo, se implementó la metodología de diseño y desarrollo de productos de Karl Ulrich, con una estructura sistemática que abarca seis fases clave: Desarrollo del concepto, arquitectura y especificaciones del producto, desarrollo del producto, telemetría, validación de la autonomía, validación del producto. Llevando a cabo dichas fases, se logra un proceso de diseño riguroso y eficiente que garantiza la viabilidad y efectividad de la solución.

El documento propuesto se divide en nueve capítulos; En el primer capítulo, se encuentra la introducción, la cual comprende: planteamiento del problema, objetivos, justificación e impacto social. En el segundo capítulo se halla el estado del arte. En el tercer capítulo, se localiza el marco teórico, el cual comprende: las definiciones de la rueda eléctrica, electrolinera, internet de las cosas y sus respectivas partes. En el cuarto capítulo, se sitúa el diseño metodológico, el cual abarca: el desarrollo del concepto, arquitectura y especificaciones del producto, telemetría, validación de la autonomía y la validación del producto. En el quinto capítulo, se ubica el desarrollo conceptual, el cual abarca: concepto de la rueda eléctrica y la electrolinera, diseño de la arquitectura, detalle del producto, creación del sistema de monitoreo, ruta de prueba, validación del producto y la validación de la autonomía. En el sexto capítulo, se disponen los resultados y discusiones, los cuales abarcan: obtención de la información, arquitectura y especificaciones del producto, desarrollo del producto y la validación del producto. En el séptimo capítulo se abordan las conclusiones y trabajos futuros. En el octavo capítulo, se encuentran los anexos y por último, en el noveno capítulo se encuentra una lista de todas las fuentes citadas en la obra.

1.1. Planteamiento del Problema

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) aproximadamente siete millones de personas fallecen a causa de una mala calidad del aire y alrededor del 91% viven en ciudades que superan el límite de umbral permitido por esta organización [1]. Una de las preocupaciones más relevantes en Colombia según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial es la contaminación atmosférica debido a que genera un aumento en el costo social y ambiental derivado del alto impacto en la salud y el medio ambiente [2]. Producto de lo anterior, y relacionando las cifras del Instituto Nacional de Salud (INS) se estiman 17.549 muertes asociadas a riesgos ambientales, de las cuales 15.681 son producto de la mala calidad del aire, cuyos costos de acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación (DNP) son de aproximadamente 12,2 billones de pesos, lo que equivale en promedio al 1,5% del Producto Interno Bruto (PIB) del país [3].

La ciudad de Bogotá cuenta actualmente con 2.626.950 vehículos registrados de los cuales el 94% presta un servicio particular, según datos de la Secretaría de Movilidad [4]. Debido a la alta afluencia de vehículos y su déficit en la infraestructura vial, la ciudad presenta una gran congestión en temas relacionados con la movilidad. No obstante, lo anterior representa el 70% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) dentro de las dinámicas mundiales de las ciudades [5]. Este panorama no aporta ningún beneficio al medio ambiente ya que la mayoría de vehículos cuentan con motores a combustión interna [6].

A medida que crece la población de la capital colombiana, el aumento en la cantidad de individuos expuestos a la contaminación del aire ha llevado consigo millones de fallecimientos, muertes prematuras y una disminución en su calidad de vida. [7]. No obstante, desde hace varios años la ciudad de Bogotá ha presentado un deterioro en la calidad del aire, en donde las partículas de menos de 2,5 micras (PM_{2,5}) relacionadas con las emisiones de vehículos diesel, corresponden para el año 2021 de $13,7 \left[\frac{\mu g}{m^3} \right]$, duplicando el índice permitido por la OMS, lo cual ha sido preocupante ya que esta cifra corresponde a 3.400 muertes prematuras [7]. Ante esta problemática, la ciudad ha propuesto diversas iniciativas que abarcan desde la reducción del uso de vehículos particulares, el control de las fuentes de contaminación industrial, la implementación de flotas de vehículos con bajas emisiones y la limpieza de las vías públicas. Estas medidas buscan mejorar la calidad del aire tanto en el corto como en el largo plazo. El planteamiento anterior involucra estrategias tales como el uso de bicicletas para no solamente disminuir las emisiones de gases contaminantes sino también proponer un medio de transporte alternativo con el propósito de mejorar la movilidad urbana y disminuir la contaminación por Dióxido de Carbono (CO₂) de los vehículos convencionales (con motores a combustión interna) [8].

Otra alternativa es el uso de bicicletas eléctricas, con las cuales se logran elaborar trayectos

más largos sin realizar esfuerzo físico, lo que hace que se convierta en un medio de transporte alternativo de movilidad de bajo costo y no contaminante, tanto a nivel auditivo como medioambiental [9]. Siguiendo esta alternativa de movilidad, otro factor a tener en cuenta es su carga eléctrica, es por este motivo que en el caso de Bogotá se proyecta la implementación de electrolineras [10]. Este tipo de estaciones de carga tienen diferentes formas de generación eléctrica cuya energía generalmente se acumula en baterías [11]. Un reto importante en la implementación de electrolineras es el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía para poder realizar un suministro constante, es por este motivo que el desarrollo de estaciones de carga, se diseñan con el fin de aprovechar la energía solar, eólica, biomasa, o aquellas disponibles en el punto de suministro.

En el caso de Bogotá las corrientes de viento juegan un papel importante ya que mediante la implementación de aerogeneradores se pueden aprovechar de una mejor manera. Según la Red de Monitoreo de Calidad de Aire (RMCAB) en la ciudad, las corrientes de viento pueden llegar a oscilar entre los 7 Km/h, lo que permite el diseño de aerogeneradores verticales dispuestos en diferentes túneles de viento generados por edificaciones, lo que hace atractivo su generación eléctrica para la implementación de electrolineras.

De acuerdo con el planteamiento anterior, es necesario buscar soluciones al problema ambiental de la ciudad de Bogotá, es por este motivo que, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo implementar soluciones de movilidad urbana sostenible mediante la conversión de bicicletas convencionales a bicicletas asistidas eléctricamente cuyas variables principales sean monitoreadas y que, además, incorpore un sistema de carga amigable con el medioambiente?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General.

Diseñar el medio de transporte de un sistema de movilidad urbana, mediante el uso de una rueda eléctrica, con su estación de carga y telemetría para el desplazamiento de los biciusuarios de la Universidad Santo Tomás sede Central.

1.2.2. Objetivos Específicos.

1. Proponer el desarrollo del concepto de la rueda eléctrica y la electrolinera, mediante la definición de la forma, función y características de cada producto.
2. Elaborar la arquitectura y especificaciones completas (geometría, materiales, tolerancias y planos tanto mecánicos como eléctricos) de la rueda y la electrolinera.
3. Desarrollar los productos mediante la implementación de sus partes siguiendo el diseño de detalle anteriormente mencionado.
4. Definir la telemetría de la rueda eléctrica mediante el uso de sensores.
5. Evaluar la autonomía de la rueda eléctrica con los datos de la telemetría.
6. Validar el sistema de movilidad urbana.

1.3. Justificación.

Colombia es el quinto país latinoamericano con mayores concentraciones de partículas en el aire $13,9 \left[\frac{\mu g}{m^3} \right]$, derivadas por la contaminación vehicular [12]. De acuerdo con el compromiso ambiental adquirido en la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21) hacia el año 2015, en el cual se deben reducir el 51% de las emisiones por GEI para el año 2030 [13], aún no tiene políticas definidas, convirtiendo esta meta en ambiciosa y de arduo trabajo en su cumplimiento, lo que considera replantear acciones inmediatas. En el caso de la ciudad de Bogotá, una de las principales fuentes de contaminación por CO_2 , dado su alto flujo vehicular convencional, que provoca fallecimientos y muertes prematuras su tasa de mortalidad se podría comparar con el tabaquismo, homicidio intencional o consumo de drogas [14]. Este problema se deriva de sus altos índices en caos vehicular, en un promedio de un 93% de congestión a diario, posicionándose a nivel mundial como la cuarta ciudad con mayor criticidad [15]. No obstante, a pesar que cuenta con rutas predeterminadas, su transporte público continúa teniendo inconvenientes debido al alto número de usuarios [16].

Debido a este problema de movilidad en la ciudad, se ha aumentado el uso de las bicicletas, según la última encuesta de movilidad para el año 2019 el 6,6% de los viajes en la ciudad se realizan por este medio de transporte, para una cantidad de 880.367 viajes diarios [15]. Lo cual se ha convertido en una solución para la congestión vehicular, ya que se pueden tomar rutas más rápidas y por su dimensionamiento, ocupan menos espacio, aunque cabe resaltar que con este medio de transporte no se puede realizar trayectos largos debido al esfuerzo físico realizado. Teniendo en cuenta lo anterior el uso de las bicicletas eléctricas se ha convertido en la solución para descongestionar la movilidad de la ciudad [10].

Una persona en promedio gasta alrededor de 1.200.000 de pesos o el 15% de su salario al año en transporte público; si esta misma persona se moviliza en transporte particular gasta alrededor del 20% de sus ingresos [17], sumado a sus gastos diarios en alimentación, salud, pensión, entre otros, su costo de vida se incrementa. Si esta persona requiere ahorrar, podría estimar cambiar su forma de transporte por un medio más económico y menos perjudicial al medio ambiente, como es el caso de una bicicleta eléctrica, ya que podría realizar el doble de kilómetros que una bicicleta convencional [18]. Las bicicletas eléctricas son clave en la movilidad urbana, según un estudio, lo cual lo convierte en un medio apto de transporte.

Esta solución de movilidad tiene un gran reto y es la alimentación de sus baterías. Actualmente en Colombia, se tiene una necesidad de generar una red de estaciones de carga, con el fin de extender el uso de las bicicletas y poder recorrer mayores distancias [19], estas redes de carga están compuestas de electrolinería, con las cuales se pueden aprovechar fuentes no convencionales de energía como el sol, las corrientes de viento, la biomasa, entre otras. De acuerdo con lo anterior, el uso de las bicicletas eléctricas está en aumento al igual que el desarrollo de las electrolinerías; es por esto que se plantea el diseño de una rueda eléctrica, la cual tenga incluido un sistema de baterías, un motor, una tarjeta controladora, un sistema de telemetría para vigilar el estado de sus componentes, y así mismo, poder visualizar características del recorrido y autonomía y además, un sistema de carga que incorpore una fuente de energía no convencional que se adapte a las condiciones ambientales. Todo lo anterior, propone un sistema que acierte con un bajo impacto ambiental y que aporte a la movilidad vehicular. Por otra parte, se dará un gran aporte a la Universidad Santo Tomás, mediante el grupo de investigación MEM en el cual se trabajará para dar la solución al problema inicial en la solución vial que requiere la ciudad de Bogotá.

.

1.4. Impacto Social.

Con el desarrollo de este proyecto se espera obtener un impacto social positivo dentro de la movilidad del país, mejorando el caos vehicular en la ciudad de Bogotá evidenciado en las cifras anteriormente descritas, actualmente la utilización de la bicicletas se ha considerado un sistema de transporte alternativo ante los altos índices negativos de la movilidad [15]. El uso de las bicicletas eléctricas reduce espacio, tiempo, dinero y algo muy importante, permite que más personas se puedan movilizar de forma tranquila. Al incrementar el uso de este medio de transporte, se espera una gran reducción en los vehículos convencionales con lo cual se tendrá una disponibilidad mayor para transitar en la ciudad de Bogotá, teniendo en cuenta que al día se movilizan cerca de 3.000.000 de vehículos, sin contar el uso de las motocicletas. No obstante, se debe generar una cultura sobre el uso de este medio de transporte y sus beneficios [20].

En Bogotá 3.219 de las muertes que se generan, se atribuyen a la contaminación del aire urbano siendo un 10,5% [21] de las muertes totales de la ciudad; por tal motivo se debe buscar una solución para disminuir la contaminación del aire. Al implementar las bicicletas eléctricas se puede llegar a tener una movilidad de manera rápida, recorriendo distancias largas y sin esfuerzo físico además genera un impacto en términos ambientales beneficioso [22], disminuyendo las muertes por contaminación del aire.

De igual manera el desarrollo de electrolineras tienen un gran impacto ambiental, ya que con estas se logran aprovechar fuentes no convencionales tales como el sol, las corrientes de viento, la biomasa, entre otras, obteniendo energía la cual se convierte en electricidad. La implementación de estas electrolineras ayudarán a tener puntos de carga de baterías en distintos puntos de la ciudad, con el fin de poder recorrer distancias más largas y aumentar el uso de las bicicletas.

En cuanto al programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás, se espera aportar a diferentes espacios académicos definidos en el plan de estudio actual, principalmente aquellos donde se desarrollen temas puntuales sobre energías renovables y diseños electrónicos, así mismo, fortalecer los semilleros de investigación con propuestas novedosas y de alto impacto para la comunidad universitaria.

2. Estado del Arte.

En la actualidad los vehículos manejados en carretera producen 1,6 billones de toneladas de gases de efecto invernadero en la atmósfera anualmente, a su vez la industria automovilística produce más de la mitad de los óxidos de nitrógeno del aire que se respira lo cual tiene un impacto negativo en casi todos los órganos del cuerpo [23]. Por año en el mundo mueren alrededor de 160.000 personas debido a las emisiones provocadas por los automóviles, por ejemplo, la contaminación producida por la industria de transporte provoca mortalidad cardiopulmonar, asma bronquial y enfermedades cardiovasculares [24].

En la capital colombiana ocurre un fenómeno (exposición a la contaminación del aire) similar al del resto del mundo ya que un estudio realizado por la [25] organización Greenpeace afirmó que gran parte la contaminación dentro de la ciudad es provocada por los diferentes vehículos que se mueven por la ciudad ya que representa el 60,3% de la contaminación del aire [26]. El mismo estudio demostró que a medida que aumenta el número de vehículos con motores a combustión interna mayor será la contaminación del aire. Bogotá está catalogada como una de las ciudades con mayor tasa de congestión vehicular a nivel mundial lo cual afecta directamente la salud de sus habitantes [27].

El cambio climático actualmente ha transformado el clima en la ciudad de Bogotá ya que según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), actualmente la ciudad está experimentando temperaturas promedio de 18 °C en el día y hasta 5 °C en las noches y madrugadas, el mismo ente gubernamental pronostica que en el transcurso del año 2022 se mantendrán días mayormente nublados con alta probabilidad de lluvias [28], en el periodo de julio a septiembre la probabilidad de que sigan las fuertes lluvias será del 52% y en lo restante del año la probabilidad será del 51 al 59% antes de disminuir al 45% en los meses de enero y marzo del 2023 [28].

Se espera que con el pasar de los días los vientos en la capital de Colombia oscilan entre los 5 Km/h y los 8 Km/h [29]. Con las condiciones climáticas que se están presentando en Bogotá sumado a las predicciones del IDEAM para lo que resta del año en el transcurso del año la alternativa que permitiría obtener un mayor recurso energético sería la alternativa eólica ya que los vientos necesarios para la obtención de energía a través de aerogeneradores de eje vertical no requieren grandes velocidades de viento.

Actualmente, el transporte a combustión interna es uno de los principales responsables de la emisión de gases de efecto invernadero, este hecho se ha presentado en casi todos los países. La movilidad eléctrica surge como una solución para la disminución de emisiones de gases contaminantes [30], con lo cual reducirá en un gran porcentaje la contaminación ambiental, actualmente el desarrollo de los vehículos eléctricos ha aumentado al igual que el de los aerogeneradores, con esto se logra generar energía eléctrica a través de corrientes de aire, estos actualmente se han implementado como estaciones de carga eléctrica, para bancos de baterías de cualquier sistema.

Teniendo en cuenta que Bogotá a nivel de transporte urbano tiene muchos inconvenientes de congestión y una tasa alta de contaminación es necesario determinar una alternativa que permita bajar los niveles de contaminación del aire y a su vez mejore la movilidad ya que solo en Bogotá se tienen más de 3 millones de vehículos [31]. Una alternativa sería el uso de bicicletas eléctricas ya que se podrían realizar trayectos más largos en un menor rango de tiempo, menor desgaste físico y tendría un gran efecto en la economía de los bogotanos ya que en promedio una persona gasta alrededor de \$1.200.000 anualmente en transporte público, además el uso cotidiano de las bicicletas eléctricas ayudaría a reducir muertes anuales por choques de vehículos, tráfico además de reducir el drástico cambio climático que sufre la capital de Colombia. [31].

Las bicicletas eléctricas están implementadas con motores eléctricos, bancos de baterías, controladores, telemetría y más componentes electrónicos y eléctricos, pero uno de los componentes más importantes que impulsan al vehículo es el motor eléctrico, por esta razón los autores Guasumba Maila, et al. [32], dan a conocer en su artículo llamado “The importance of the main features of selecting a motor for electric vehicle propulsion” los diferentes tipos de motores eléctricos que existen realizando una comparación entre cada tipo a través de sus características principales, ya que existe motores eléctricos con escobillas o sin escobillas, cada uno tiene sus ventajas y desventajas a la hora de implementarlos en un diseño, de igual manera el artículo muestra hojas de datos sobre los motores y algunos diseños de vehículos eléctricos en donde se implementaron alguno de estos tipos de motores. El artículo proporciona a la investigación características y propiedades sobre cada tipo de motor eléctrico, ya que dependiendo el fin del proyecto se debe elegir un motor; por otra otorga los pasos a seguir para realizar un proyecto de un vehículo o bicicleta eléctrica ya que dependiendo del motor seleccionado, se busca el tipo de baterías a implementar, y realizar su respectivo diseño con sus controladores respectivos.

Hace más de 100 años se ha buscado la forma de almacenar la energía recolectada por diferentes métodos, por tal motivo fueron diseñadas las baterías un elemento eléctrico el cual

ha sido implementado en muchos procesos industriales, como lo pueden ser robots, máquinas eléctricas y vehículos eléctricos. De acuerdo con los autores “Vanessa Quintero, Osvaldo Che , Eleicer Ching, Orlando Auciello, Elida de Obaldía” [33], entregan en su investigación titulada “Lithium Ion Batteries: features and applications” en donde presentan las principales características de las baterías de lipo ion así como sus herramientas de uso, durante su investigación muestran porque este tipo de baterías son el más utilizado actualmente, esto se da gracias a sus altas aplicaciones que obtuvieron; estas baterías se pueden encontrar en varios dispositivos, como lo son dispositivos portátiles (computadores portátiles), cámaras fotográficas, dispositivos de iluminación, sensores entre otros; Al diseñar un banco de baterías o celdas de baterías se debe tener en cuenta, el fin de la aplicación ya que existen distintos tipos de baterías, por tal motivo existen distintos estudios en donde presentan comparaciones entre baterías litio ion, [33] en el artículo se nombra un estudio realizado por los autores *N. Omar and P. Van Den Bossche*, [34] en donde se realiza una comparación entre los siguientes tipos de baterías LiFePO_4 , LiNiMnCoO_2 y LiNiCoAlO_2 , en donde estudian el rendimiento de acuerdo a las capacidades de las baterías, de igual manera se considera su comportamiento térmico, esto muy importante a la hora de seleccionar un tipo de baterías ya que no sólo debe seleccionarse por su capacidad si no también por sus propiedades térmicas. El análisis realizado en este artículo apoya la investigación en dar a conocer las principales características de las baterías de litio ion, además informar sobre los diferentes tipos de baterías existentes en el mercado, ya que dependiendo de la aplicación se decide la batería a usar, otro aporte muy importante que da la investigación es la comparación entre baterías ya que una de las características más importantes de las baterías es es el valor térmico que da al estar en funcionamiento, ya sea en carga o descarga de las baterías.

Con el pasar del tiempo el desarrollo de las bicicletas eléctricas ha aumentado de una manera impresionante, para el desarrollo de las bicicletas eléctricas se deben tener varios factores en cuenta y uno de los más importantes son las baterías , es por es que que Bekir Emanet, et.al [35] autores del artículo el cual se titula: “Performance Effective Battery Management System(BMS) Design of Mini Electric Vehicles”, demuestra la importancia de la salud y la carga segura de las baterías de un vehículo eléctrico, por tal motivo diseñan una tarjeta controladora en donde se logra obtener una mejora en términos de la temperatura, ya que esta tarjeta llega a tener una diferencia del 5% ante las tarjetas BMS, las cuales son usualmente implementadas para tener un control sobre la carga y la descarga de las baterías, además tener un control de estado de las mismas, en el artículo se demuestra que el diseño realizado tiene mayores ventajas en términos de temperatura que las BMS. El anterior artículo aporta al proyecto la mención al detalle de los circuito BMS, en donde se muestra que tienen una vida útil más larga y un funcionamiento estable ante otros dispositivos implementados para el control de baterías, además aporta con su nuevo diseño en donde se logra obtener una mejora en términos de la temperatura, ya que se realizaron pruebas comparativas con las dos tarjetas.

Los autores Muratcan Yazici, et al [36], en su investigación titulada “A review Study for Rechargeable Li-Ion Battery Packs, Battery Management Systems and Thermal Management of Battery Packs” desarrollan un estudio sobre los paquetes de baterías existentes de litio

ion, estas son implementadas en varios campos, pero principalmente están siendo implementadas en los vehículos eléctricos, ya que cada vez los vehículos eléctricos son más populares en el mercado, por temas ambientales, teniendo en cuenta que la contaminación es uno de los principales problemas mundiales. El análisis realizado por este artículo apoya a nuestra investigación en dar a conocer las características principales de una batería de litio ion, resaltando la importancia térmica de las baterías, ya que estas al estar en su proceso de carga y descarga pueden generar altas temperaturas si no son bien diseñadas; lo cual es un punto muy importante a la hora de realizar un proyecto.

Las baterías son una de las partes más importantes de un vehículo eléctrico, ya que si no tiene un buen control de carga y descarga de estas pueden generar problemas a la hora de su funcionamiento, debido a esto Marín Fernández, Enrique [37] proponen en su artículo llamado “Design and implementation of a battery management system (BMS) for an electric racing motorcycle” con el objetivo principal de desarrollar un sistema de gestión de baterías más conocido como BMS, este permitirá el correcto funcionamiento de las baterías buscando extender al máximo posible la utilidad de las baterías, además los sistemas de gestión de baterías son muy utilizados para tener un control sobre el estado de las baterías, como lo es el estado de carga. Gracias al artículo de Marín Fernández, Enrique [38], aporta al desarrollo del proyecto características de un diseño de BMS, el cual es muy importante para el diseño ya que con este se busca tener un control sobre las materias y protegerlas al mismo tiempo, si no se tiene un correcto control sobre las baterías estas se pueden ver afectadas en cualquier momento por la carga y descarga.

El IoT(Internet de las cosas) es la unión tanto de hardware como de software entrelazados en redes que permiten el intercambio de información sin la interacción de personas, actualmente todo lo disponible se está volviendo inteligente, debido a esto hay un gran margen de aplicación y desarrollo del IoT que pueden mejorar el estilo de vida de las personas según dice la investigación realizada por, Pradyumna Gokhale et.al la cual se titula: “Introduction to IOT” [39]. El creciente número de nuevas tecnologías ha visto la llegada de nuevos problemas, pero, la solución a los problemas ya existentes se pueden modernizar implementando estas nuevas tecnologías, en la investigación realizada por, Neha Mangla et.al la cual se titula: “A GPS-GSM Predicated Vehicle Tracking System, Monitored in A Mobile App based on Google Maps” [39]. En la cual se implementa una aplicación IoT que permite mediante el uso del GPS, conocer la ubicación actual de un vehículo y mandar dicha ubicación por medio de SMS al celular de la persona. Recalcan que, aunque la solución es tradicional, tiene toques de IoT en el envío y procesamiento de la información del GPS por medio de un modem al internet.

Mediante el uso de sensores en el vehículo, se puede monitorear parámetros de interés para el usuario, para que así, este pueda prever errores futuros, desgaste de los componentes y

realizar un mantenimiento preventivo que puede reducir en gran medida los costos que tendría el hecho de un fallo, esto se puede evidenciar claramente en “An Overview of IoT-Enabled Monitoring and Control Systems for Electric Vehicles”, una investigación realizada por, Fazel Mohammadi et.al [40]. Se buscó que los usuarios tengan acceso a la carga de la batería (SoC), estado de salud de la batería (SoH), entre otros parámetros, los cuales se procesan en la BMS (sistema de gestión de baterías) y controla el rendimiento del vehículo con el objetivo de tener menor consumo de energía, menor coste y una mayor escalabilidad además se espera un gran uso de sensores iot en ciudades y vehículos para gestionar cargas y garantizar redes eléctricas equilibradas y estables, además de técnicas de gestión de tráfico y aparcamientos de vehículos. Debido a que se busca que la aplicación IoT que se diseñe sea para el cliente lo menos costosa posible para así permitir que un mayor rango de personas lo puedan adquirir, para lograr esto, se quiere reducir los costos del microcontrolador el cual permitirá realizar la interface entre la cosas(rueda y electrolinera) y la nube, así que se apoyara en la investigación realizada por, Angel Alejandro Rodriguez Aya et.al la cual se titula: “Sistema de control y telemetría de datos mediante una aplicación móvil en Android basado en IoT para el monitoreo de datos” [41]. Concluye que actualmente las tarjetas embebidas que hacen uso del microcontrolador ESP8266 son 4 veces más económicas que algunas marcas reconocidas como Particle, Wipy, Pycom y Arduino en aplicaciones de hardware orientadas a IoT, debido a que este microcontrolador lo desarrollan y distribuyen empresas chinas, además, de incluir protocolo de comunicación inalámbrica Wifi en el microcontrolador.

En las aplicaciones actuales que implementan rutas de google maps para la localización de los vehículos, se busca tener entornos más amigables para el usuario que simplemente buscan decir latitud y longitud, se puede observar que buscan que el usuario pueda tener conocimiento no solo de la ruta que está transitando en ese momento , sino que, también pueda observar con antelación las posibles rutas que puede recorrer y en esto se basan las aplicaciones de localización GPS, con el paso de nuevas tecnologías como el IoT, ya solo no encontramos el mapa con el vehículo sino que por ejemplo en la investigación realizada por, Sergio Real Aragón [42] la cual se titula: “IOT – Posicionamiento en mapas de Google empleando bases de datos y coordenadas GPS”, Se creó una aplicación en Android la cual se basa en coordenadas de latitud y longitud de ubicaciones de interés las cuales se guardan en la base de datos MySQL y se podían ver por medio de una aplicación IoT con unión a Google maps en la ruta que realizaba el vehículo, además no permitía esto con solo una ruta, sino que la aplicación era capaz de guardar diferentes rutas y mostrar los puntos de interés del usuario en cada una de estas. A Partir del hecho de que se logró ver la ubicación del vehículo en tiempo real en un mapa, se siguió mejorando aún más este tipo de aplicaciones lo que dio paso a que ya no solo se pueda ver el vehículo en el mapa, sino que también saber si el vehículo está siendo robado, según se plantea en la investigación realizada por, Puji Valen Crisgar et.al [43] la cual se titula: “GPS-Based Vehicle Tracking and Theft Detection Systems using Google Cloud IoT Core & Firebase”, Se puede crear una aplicación en la web donde el usuario pueda ver la ubicación de su vehículo en google maps, además, se puede tener en cuenta el arranque no deseado y distancia recorrida por el carro comparada a un punto inicial, para reportar un intento de robo a la persona, la implementación es posible si el carro cuenta con puerto OBDII debido a que este da el dato de encendido del motor y la

alimentación

principal.

Si las tecnologías actuales permiten de modo sencillo poder recibir información de las cosas a tiempo real, entonces, porque no permitir también una interface que nos permita, tanto recibir como enviar información al objeto, esto mismo fue planteado por Juan Diego Galarza Zambrano en la investigación titulada : “Control de velocidad de un motor DC a través de la nube, mediante la tarjeta STM32F4 DISCOVERY utilizando herramientas IOT” [44]. En donde pudo implementar un control PID (Proporcional, Integrador, Derivador) con una tarjeta STM32F4 discovery con el protocolo MQTT, el cual permite una conexión de bajo consumo de datos y latencia menor a 100 ms además de una velocidad de muestreo de datos de 1 Hz, para enviar y recibir datos de control de un motor DC, como valores de sensores, potencia del motor, error en el envío de datos. A continuación, se relaciona un breve resumen con los aportes del estado del arte al proyecto:

Tabla 2.1. Resumen del estado del arte. Fuente: Autores

Título	Autores	Aporte
Introduction to IOT [38]	Pradyumna Gokhale et.al	El anterior artículo aporta al proyecto, que, en todo momento nuestra meta al implementar IoT sea mejorar el estilo de vida de las personas.
“The importance of the main features of selecting a motor for electric vehicle propulsion” [32]	Guasumba Maila, et al.	El artículo proporciona a la investigación características y propiedades sobre cada tipo de motor eléctrico que existe.
An Overview of IoT-Enabled Monitoring and Control Systems for Electric Vehicles [40]	Fazel Mohammadi et.al	El anterior artículo aporta al proyecto en qué parámetros de la batería se espera que el usuario tenga a la mano en la actualidad además de los parámetros que mejoren el rendimiento de los vehículos eléctricos actuales.
Sistema de control y	Angel Alejandro	El anterior artículo aporta

telemetría de datos mediante una aplicación móvil en Android basado en IoT para el monitoreo de datos.[41]	Rodriguez Aya et.al	al proyecto el conocimiento del mercado actual de microcontroladores de bajo costo para aplicaciones IoT, que busca reducir el precio total de implementación del sistema de monitoreo en la bicicleta eléctrica.
IOT – Posicionamiento en mapas de Google empleando bases de datos y coordenadas GPS[42]	Sergio Real Aragón	El anterior artículo aporta al proyecto en el conocimiento de cómo lograr hacer que en la aplicación de google maps que se implementara en este proyecto se puedan mostrar las estaciones de carga que estarían disponibles en la ciudad
GPS-Based Vehicle Tracking and Theft Detection Systems using Google Cloud IoT Core & FirebaseA GPS-GSM Predicated Vehicle Tracking System, [43]	Puji Valen Crisgar et.al	El anterior artículo aporta al proyecto en tener conocimiento en la solución ante el problema de seguridad que hay en nuestro país permitiendo un reporte a la persona, que , la bicicleta eléctrica puede estar siendo robada y reportarlo ante el usuario.
Control de velocidad de un motor dc a través de la nube, mediante la tarjeta stm32f4 discovery utilizando herramientas Iot [44]	Juan Diego Galarza Zambrano	El anterior artículo aporta al proyecto el uso de control PID para realimentar el sistema de control del motor y mejorar así la precisión de las referencias en el motor.
A review Study for Rechargable Li-Ion Battery Packs, Battery Management Systems and Thermal	Muratcan Yazici, et al	El anterior artículo aporta características principales sobre las baterías de litio ion, además resalta la importancia térmica de las baterías.

Management of Battery Packs ”[36]		
“Performance Effective Battery Management System(BMS) Design of Mini Electric Vehicles”[35]	Bekir Emanet, et.al	Demuestra la importancia de los controladores de las baterías, por lo tanto se diseña una tarjeta, en donde se muestran las principales características de las BMS.

3. Marco Teórico

3.1. Rueda Eléctrica.

Una Rueda eléctrica es un sistema el cual se puede acoplar a cualquier bicicleta convencional, convirtiéndola en una bicicleta asistida eléctricamente; la rueda eléctrica cuenta con varias partes como lo son motor de inducción, controlador de motor, baterías, BMS (Building Management System), poleas etc.

3.1.1. Funcionamiento de un Motor de inducción.

Los motores de inducción sincrónicos son motores eléctricos que funcionan por medio de un rotor que gira aproximadamente a la misma velocidad del campo magnético generado por el estator; esto se logra debido a la inducción de una corriente [45], los motores de inducción ampliamente utilizados e implementados en aplicaciones industriales y comerciales como lo son vehículos eléctricos principalmente por su eficiencia y su bajo costo.[46]

3.1.2. Motor de inducción Brushless

Los motores de inducción representan una categoría prominente dentro del espectro de motores eléctricos, encontrando aplicaciones extendidas tanto en entornos industriales como comerciales. Su característica distintiva radica en la ausencia de conexiones eléctricas directas al rotor. Por otro lado, los motores Brushless constituyen otro tipo de motor eléctrico que se caracteriza por prescindir de escobillas. En su lugar, emplean un controlador electrónico que dirige señales hacia los embobinados del estator, desencadenando la generación de un campo magnético rotativo. [47]. Los Motores Brushless tiene muchas ventajas a los motores CC (Motores de corriente continua), cuentan con mayor relación-par motor, mayor eficiencia, mayor respuesta dinámica, mayor vida útil y mayor rango de velocidad.[48]

3.1.3. Controladores de Motor Brushless.

Para el correcto funcionamiento de un motor Brushless, se debe conectar un controlador el cual detecte los sensores del motor y emita las señales correctas a las fases del motor para su respectivo funcionamiento; por otra parte, en el controlador suelen ir algunas conexiones como lo son sensores de velocidad, display, frenos etc. Los Motores Brushless suelen estar equipados con sensores Hall, los cuales están conectados al estator del motor, estos sensores emiten señales cuando el motor se pone en movimiento; sin el controlador el motor no podría funcionar ya que este supervisa en todo momento los sensores y dependiendo de ellos energiza las fases del motor, además detecta fallas que se generen en el sistema.[49]

3.1.4. Baterías.

En las últimas décadas, las baterías han emergido como dispositivos de almacenamiento de energía de gran popularidad, gracias a sus notables características como las altas densidades energéticas y capacidades de descarga. Los paquetes de baterías, también conocidos como

unidades de almacenamiento energético, se han vuelto componentes cruciales en los sistemas de transmisión de vehículos eléctricos. [50]; existen distintos tipos de baterías los cuales se usan en los vehículos eléctricos, su selección depende de las características del vehículo eléctrico a diseñar.

3.1.5. Tipos de Baterías.

3.1.5.1. Baterías AMG.

Las baterías AGM (Absorbent Glass Mat) son baterías de plomo-ácido, siendo muy utilizadas en los sectores automovilísticos, la principal característica de estas baterías es que tienen su electrolítico absorbido en unos separadores de fibra de vidrio, por lo cual no se necesita ninguna ventilación ni mantenimiento alguno, por otra parte, estas baterías no contienen ningún líquido y pueden ubicarse en cualquier posición ya sea de manera vertical o horizontal.[51][52] Estas baterías tienen una autodescarga muy baja por lo cual pueden mantener su carga durante períodos prolongados.

3.1.5.2. Baterías GEL.

Las baterías en Gel o VRLA (Batería de plomo ácido regulada por válvula) están formadas por varias celdas, generando algunos beneficios como es tener una mayor durabilidad, ya que soportan más ciclos de carga y descarga, por otra parte, estas baterías al ser selladas no necesitan de un mantenimiento, la vida útil de las baterías en gel es de 12 años superior a muchos tipos de baterías; al igual que las baterías de AGM estas baterías pueden implementarse en cualquier posición ya sea vertical u horizontal, suelen ser empleadas en vehículos eléctricos, sistema de energía solar u eólica.[53][54]

3.1.5.3. Baterías LIFEPO4.

Las baterías de litio-ferrofostato, es una tecnología de baterías recargables las cuales es implementada en vehículos eléctricos, bancos de almacenamiento de energías, drones, celulares etc. La construcción de esta batería está dada por un cátodo, compuesto de una composición de fósforo-hierro y carbono, en el ánodo se encuentra, grafito o carbono endurecido con litio intercalado y por último en el electrolito se encuentra carbono de etileno y carbono de dimetilo [55]. La mayor ventaja que tiene esta batería es que ofrece una capacidad de descarga del 100%, a comparación de otras baterías, además presentan una alta estabilidad química y resistencia a la sobrecarga; por tal motivo tiene una vida útil prolongada.

3.1.5.4. Baterías Litio-Ion.

En la actualidad las baterías de litio-ion se han convertido en fuentes de energía móviles, este tipo de baterías suelen usarse en celulares, tabletas, computadores y vehículos eléctricos; esto gracias a que este tipo de baterías proporciona una alta densidad energética y capacidad de descarga, por otra parte estas baterías suelen tener un peso mucho menor a los otros tipos

existentes; usualmente estas baterías vienen por celdas, con el fin de generar arreglos de baterías, los cuales cumplan con las condiciones de un diseño.[56]

3.2. Electrolinera

Una electrolinera es una estación de servicio que proporciona energía eléctrica, este espacio está destinado a recargar baterías de vehículos o bicicletas eléctricos, este sistema está configurado para que su conector pueda brindar energía eléctrica en continua o energía eléctrica alterna. Las electrolineras pueden ser instaladas en lugares privados o lugares públicos como parqueaderos, parques recreativos o centros comerciales [57].

3.2.1. Estación de carga.

Una estación de carga es un punto de abastecimiento que provee electricidad para la recarga rápida de los vehículos o bicicletas eléctricas, es semejante a la estación convencional que provee combustible [58]. Debido a su naturaleza, las baterías pueden clasificarse en semi-rápidas y rápidas, con tiempos de carga que oscilan entre 25 y 90 minutos para cargar completamente la batería, o bien en lentas, que requieren de 3 a 4 horas para alcanzar una carga completa. No obstante, es importante señalar que, al igual que en las estaciones de carga convencionales, es común que los usuarios solo recarguen la batería hasta alcanzar una cierta capacidad, en lugar de completarla la carga. [59].

3.2.2. Electrolineras mediante el uso de Aerogeneradores.

Según [60] los sistemas de almacenamiento que se integran con los sistemas de generación de energía renovable, como los provenientes de fuentes eólicas, desempeñan una amplia gama de funciones, destacando su capacidad para mejorar la eficiencia del proceso y optimizar el aprovechamiento de la energía generada. En el caso de las electrolineras que actualmente operan mediante aerogeneradores, la energía se almacena en parques eólicos, lo que proporciona estabilidad al sistema y facilita su gestión. Este enfoque no solo maximiza la utilización del recurso disponible, sino que también contribuye a incrementar la rentabilidad de la planta al alcanzar niveles de eficiencia considerablemente altos.

- **Ajuste de la curva de demanda:** El almacenamiento de energía en grandes cantidades permitiría al operador del sistema a disponer de esa energía en los momentos que necesita ajustar la oferta y la demanda. Es decir que cuando la oferta de energía renovable es alta y la demanda del sistema eléctrico es baja, se puede almacenar esta energía y utilizarla a medida que la demanda empieza a subir.
- **Gestión de la generación eólica:** La energía eólica es tratada como energía no gestionable, por ello es muy complicado la realización de programaciones de paquetes de energía que se venden al mercado por parte de las compañías generadoras.

- **Participación en el mercado:** Es decir, cuanto más recurso y menos demanda, el precio de la energía es considerablemente bajo, por lo que se puede aprovechar a recargar los sistemas de almacenamiento a bajo precio y cuando el sistema lo necesite porque el recurso eólico ha bajado y la demanda ha subido, venderlo a un precio mucho más caro.
- **Ajuste de una banda:** El almacenamiento de energía juega un papel fundamental al hacer que las plantas eólicas sean gestionables, lo que les permite contribuir a la estabilidad del sistema eléctrico y participar en el control de la banda secundaria. De esta manera, las plantas eólicas pueden desempeñar funciones similares a las centrales convencionales, realizando ajustes en la generación para mantener el equilibrio de la red eléctrica.
- **Estabilidad del sistema:** Los sistemas de almacenamiento serían una solución excelente para realizar ajustes precisos en la frecuencia del sistema eléctrico, estabilizándola y previniendo la ocurrencia de subfrecuencias que pueden surgir con facilidad.

3.2.3. Aprovechamiento.

La eficiencia en la transformación de la energía eólica en eléctrica ya ha alcanzado niveles satisfactorios de rendimiento. Se habla de una eficiencia entre el 40% y el 50%, muy cercana al máximo teórico alcanzable que, según la ley de Betz, es del 59% [61].

Existe un mayor aprovechamiento entre aerogeneradores de eje vertical en comparación con los de eje horizontal, según afirmaciones, las turbinas de eje vertical exhiben una eficiencia superior del 15 % en comparación con las de eje horizontal. Estas conclusiones se basan en la consideración de diversos aspectos de los aerogeneradores, como el ángulo, la dirección del giro, la distancia entre las turbinas y el número de rotores disponibles. [62]

3.2.4. Tipos de aerogenerador de bajas velocidades.

Los aerogeneradores de eje vertical se utilizan para velocidades bajas del viento. Estos aerogeneradores ofrecen una ventaja significativa sobre los de eje horizontal al no requerir dispositivos de orientación, ya que pueden adaptarse a la dirección del viento. Funcionan gracias a la diferencia en el coeficiente de arrastre entre las dos mitades de la sección expuesta al viento, lo que hace que el rotor sea propenso a girar sobre su eje en una dirección. Este tipo de aerogeneradores puede generar potencias que van desde los 200 W hasta los 4 MW. [63].

Son de fácil reparación ya que sus elementos de transformación de energía se encuentran generalmente a nivel del suelo, a continuación, se describen los distintos tipos rotores que existen para bajas velocidades:

- **Rotor Savonius:** La turbina Savonius es un dispositivo de arrastre en el que la energía rotacional se produce mediante el empuje del viento. Consiste en un cilindro hueco dividido por la mitad y desplazado para formar una forma de "S". Las partes cóncavas de este diseño capturan el viento, mientras que la parte posterior ofrece una resistencia menor al viento. Como resultado, este tipo de aerogenerador girará en la dirección en la que el viento encuentre menos resistencia. [64].
- **Rotor Darrieus:** En este tipo de aerogenerador, las palas son verticales y no cuentan con un sistema de orientación para la dirección del viento. El aerogenerador Darrieus se destaca por su mayor rendimiento, lo que ha generado una buena aceptación en el mercado. Las palas de este aerogenerador experimentan una fuerte fuerza centrífuga, ya que funcionan principalmente en tensión pura. Esto permite que las palas sean simples y económicas en su diseño. [65].

3.2.5. Componentes de una Electrolinera.

Baterías

Una batería es un sistema de almacenamiento de energía empleando procedimientos electroquímicos y que tiene la capacidad de devolver dicha energía posteriormente casi en su totalidad, ciclo que puede repetirse un determinado número de veces [66]. Existe una gran variedad de baterías para el almacenamiento de energía eléctrica, los distintos tipos de baterías para la rueda eléctrica son los mismos que para el almacenamiento del aerogenerador.

Motores.

El generador eléctrico es esencial en la composición de un aerogenerador, ya que su función principal es transformar la energía mecánica generada por la turbina eólica en energía eléctrica utilizable. En aplicaciones de baja potencia, como instalaciones fuera de la red eléctrica o en áreas urbanas, resulta crucial disponer de un generador eléctrico robusto y de bajo mantenimiento. Este tipo de generador debe ser diseñado para no requerir mantenimiento periódico y debe ser económico, dado que su costo tiene un impacto directo en el precio final del sistema completo. [67].

- **Motor de corriente alterna:** El motor de corriente alterna (CA) tiene la función de convertir la energía eléctrica de corriente alterna en energía mecánica. Está compuesto por un estator, que contiene bobinas para suministrar la corriente alterna y generar un campo magnético giratorio, y un rotor que gira dentro de estas bobinas. Se pueden clasificar en tres tipos principales: motor de inducción, motor síncrono y motor lineal. [68].

- **Motor de corriente alterna:** Un dispositivo que transforma la energía eléctrica de corriente continua (CC) en energía mecánica se conoce como motor de corriente continua. Su funcionamiento se basa en el principio fundamental que cuando se sitúa un conductor de corriente en un campo magnético, este experimenta una fuerza y se genera un par motor. Los motores de corriente continua se clasifican en dos tipos principales: el motor de excitación independiente y el motor de autoexcitación. [69].

Controladores.

Los controladores son utilizados para controlar el voltaje que existe en las baterías en el sistema de almacenamiento, existen dos tipos principales el PWM y el MPPT [70].

- **PWM:** Un controlador de carga PWM (modulación de ancho de pulso) incluye un diodo en su interior, lo que asegura que los paneles solares funcionen a la misma tensión que las baterías. Como resultado, la energía en la entrada y en la salida del controlador es la misma en términos de voltaje y corriente [71].
- **MPPT:** Un regulador MPPT (seguimiento del punto de máxima potencia) incluye un diodo de protección que, a su vez, consta de un convertidor de tensión CC-CC y un seguidor del punto de máxima potencia. Esto permite que el regulador pueda trabajar a diferentes potencias, tanto en términos de voltaje como de corriente. [72].

Sistema de convertidores.

Un convertidor de potencia se define como un dispositivo que contiene un circuito eléctrico interno que utiliza la conmutación de alta frecuencia para transformar el tipo de energía eléctrica. Este dispositivo puede convertir de manera segura, rápida y eficiente la corriente alterna en corriente continua, o viceversa. Su objetivo es cambiar la polaridad, así como disminuir o aumentar la tensión eléctrica según sea necesario. [73].

- **Convertidores de potencia de CA a CC:** Convierten la corriente alterna en corriente continua mediante un dispositivo conocido como rectificador.
- **Convertidores de potencia de CC a CC o choppers:** Convierten una corriente constante en una variable o una corriente continua constante.
- **Convertidores de potencia de CC a CA, o inversores:** Toman la corriente continua y la convierten en una corriente alterna a una frecuencia y tensión deseada.
- **Convertidores de potencia de CA a CA o convertidores matriciales de potencia:** Convierten una corriente alterna de una tensión o frecuencia específica a una tensión alterna diferente [74].

3.3. Internet de las cosas.

El internet de las cosas es la arquitectura en donde están conectados objetos físicos entre ellos y el usuario a través de la red. En esta arquitectura, las cosas hacen referencia a cualquier objeto físico que posea características medibles mediante el uso de sensores, la información que los sensores recopilan se puede visualizar remotamente mediante internet. Según Castro et al. en el documento titulado “Fundamentos de internet das coisas-IOT” [75], opina que, el internet de las cosas tiene un gran potencial para transformar las vidas ya que se puede usar para mejorar la eficiencia, industria, confort de varias industrias y aplicaciones.

3.3.1. Telemetría.

Según la empresa SITRACK en su ebook denominado "Telemetría la solución a los problemas empresariales" [76], indica que, la telemetría es una técnica de comunicación automatizada que mide magnitudes físicas a distancia. Es parte del "Internet de las cosas", que implica obtener datos de una red de objetos interconectados mediante sensores. Esto permite medir, monitorear y controlar procesos de forma remota.

3.3.2. Arduino IOT Cloud.

Según la plataforma de Arduino, Arduino IoT Cloud es una plataforma en internet que permite crear y monitorear proyectos de IoT [77]. Es una solución facilita crear proyectos conectados a internet, sin necesidad de conocimientos avanzados de codificación. Arduino IoT Cloud ofrece una serie de características que hacen que sea una plataforma ideal para crear proyectos de IoT:

- **Facilidad de uso:** Arduino IoT Cloud tiene una interfaz de usuario intuitiva que hace que sea fácil crear y administrar proyectos de IoT.
- **Amplia compatibilidad:** Arduino IoT Cloud es compatible con varios dispositivos, donde se encuentra la ESP32.

4. Diseño Metodológico

El proyecto se elabora siguiendo la metodología: Diseño y Desarrollo de Productos de Karl Ulrich, en la cual se plantean seis fases (ver figura 4.1) y se describen a continuación:



Figura 4.1. Fases del proyecto. Fuente: Autores

4.1. Desarrollo del concepto.

Se elabora un listado de palabras claves en español e inglés, se realiza su búsqueda en Science Direct Topics, posteriormente, se elaboran ecuaciones de búsqueda mediante una revisión en diferentes recursos bibliográficos tales como: E-books, revistas científicas, documentos de investigación, patentes y páginas que impliquen la búsqueda de productos sustitutos, los cuales contienen información relevante sobre características, funcionamiento y arquitectura de bicicletas eléctricas, además, diseños de las ruedas convencionales, diseños de electrolinerías y diseños de sistemas de telemetría en vehículos eléctricos.

En esta fase se identifican las necesidades para establecer las variables primarias y secundarias, se generan y evalúan conceptos alternativos de la rueda eléctrica y de la electrolinería, se seleccionan conceptos para el desarrollo y las pruebas que se requieran elaborar. No obstante, se propone el concepto a través de la descripción de la función, forma

y características de los productos (rueda eléctrica y electrolinera), y se añaden las especificaciones, además, un análisis de productos en la búsqueda de sustitutos (competencia) y un argumento económico de la propuesta. Por otra parte, se definen bocetos (rueda eléctrica cómo de la electrolinera) y se selecciona la mejor opción mediante una matriz analítica de procesos con el software SuperDecisions.

Cuando se tiene el boceto final de la rueda eléctrica, se elaboran cálculos matemáticos de diseño teniendo en cuenta el peso, la capacidad energética y densidad de las baterías y su velocidad máxima. En el caso del boceto de la electrolinera, se realiza de forma preliminar un estudio de las velocidades del viento partiendo de bases de datos como: la NASA, estaciones meteorológicas de la ciudad (Red de Monitoreo de la Calidad de Aire de Bogotá), estación meteorológica de la Facultad de Ingeniería Ambiental. Lo anterior permite elaborar el diseño del aerogenerador de eje vertical. Se realiza un análisis de convertidores mediante el software PowerEsim, para estimar las pérdidas, análisis de cuatro esquinas, tiempo medio entre fallos (MTBF) y la PCB.

4.2. Arquitectura y especificaciones del producto.

En esta fase se diseña a nivel sistema, porque incluye la definición de la arquitectura del producto, sus subsistemas y componentes. Se estima para cada producto geometría, materiales, tolerancias y planos tanto mecánicos cómo eléctricos. Se modela la pieza en SolidWorks, junto con los cálculos y diseño del sistema del chasis y del tren de potencia de la rueda. Se establece el sistema de ensamble. Por otra parte, se elabora un diseño geométrico, una especificación funcional de cada uno de los subsistemas y un diagrama de flujo preliminar del proceso para el ensamble final de los productos.

4.3. Desarrollo del producto.

En esta fase se detallan los productos, ya que se especifica de forma completa la geometría y se definen los planos finales del diseño. Lo cual implica determinar las tolerancias, materiales y partes únicas de los productos, para poder establecer las piezas e implementar cada sistema. Es importante resaltar que para esta fase se realiza una matriz de Leopold en donde se define por componente su actuación positiva o negativa con el medio ambiente, con respecto al producto.

4.4. Telemetría.

Se realiza el diseño de la telemetría, definiendo las variables que se quieren sensar. Se hará uso de las aplicaciones Arduino Cloud y Google maps, para crear un sistema de monitoreo

de la velocidad, carga de las baterías y ubicación la rueda de bicicleta asistida eléctricamente. Con la información de la velocidad y la carga de las baterías se procesa en la nube para hallar la autonomía de esta. En un entorno controlado, se pondrá en funcionamiento la rueda eléctrica y la aplicación IoT, se guardarán los datos adquiridos de la rueda eléctrica en bases de datos periódicamente, al final, se visualizará si la telemetría cumple con la meta planteada.

4.5. Validación de la autonomía.

Se pondrá en funcionamiento la rueda montada en una bicicleta estándar en la ciudad de Bogotá en una ruta específica, en donde se tengan inclinaciones del 5%, aquí se busca saber si la rueda está cumpliendo con la autonomía deseada, de acuerdo a una carga completa de las baterías.

4.6. Validación del producto.

Se realizará una validación del dispositivo utilizando la telemetría, con el fin de revisar la carga y descarga de las baterías, velocidad en pendientes como en terrenos planos, por otra parte, comprobar el uso del material a través de la implementación de peso. Se estudia con respecto al controlador las cargas y descargas, estableciendo una gráfica de corriente para establecer sus ciclos en la estación de carga.

5. Desarrollo Conceptual

5.1. Concepto Rueda eléctrica y electrolinera.

5.1.1. Revisión bibliográfica de la rueda eléctrica y la electrolinera.

Se procede a realizar una revisión bibliográfica, con diferentes herramientas de búsqueda, tales como: ScienceDirect, Scopus, ORCID y IEEEEXPLORE, las cuales se pueden encontrar en el CRAIUSTA, por otra parte se utilizaron herramientas gratuitas como Google Académico para poder tener un mayor campo de investigación. El primer paso para realizar la búsqueda de información es generar palabras claves relacionadas al proyecto, las cuales se consignan en la vigilancia tecnológica; para poder utilizar estas herramientas de se deben implementar ecuaciones de búsqueda las cuales permiten enfocar las búsquedas en campos concretos como títulos o resumen, consiguiendo así una mayor precisión de búsqueda, para generar ecuaciones de búsqueda se deben colocar palabras claves o relevantes, además debe tener incluido algunos operadores como los siguientes:

AND: Busca información que contenga relación con todos los términos de búsqueda.

OR: Busca cualquier información que tenga alguna relación con los términos propuestos.

NOT: Realiza búsquedas relacionadas solo el primer término de la ecuación y no con el segundo término.

XOR: Realiza una búsqueda con cualquiera de los dos términos, pero con solo uno de ellos.

Sintaxis:

Palabra Clave + Operador + Palabra Clave

Estos son los operadores más comunes que hay, pero en varias herramientas existen operadores específicos, como lo puede ser Scopus, en donde tiene los siguientes operadores same, w/n, pre/n y near/n, por otra parte, se debe tener en cuenta a la hora de implementarla ecuación de búsqueda hacerlo en inglés ya que varios artículos pueden encontrarse en este idioma. En este proyecto se obtienen más de 27 artículos que permitieron establecer información relevante para el proyecto.

5.1.2. Requerimientos y especificaciones del diseño.

Teniendo en cuenta la investigación realizada, se procede a desarrollar la lista de requerimientos tanto para rueda eléctrica como para la electrolinera, teniendo en cuenta

características mecánicas, eléctricas y electrónicas, a continuación se presenta los requerimientos datos.

5.1.2.1. Requerimientos rueda eléctrica.

- La rueda debe tener un peso menor a 5Kg.
- Hacer uso de la cantidad mínima de piezas.
- La rueda debe adaptarse a bicicletas convencionales.
- La rueda debe soportar un peso de 10Kg
- La rueda eléctrica debe superar inclinaciones mayores a 5%.
- Debe ser totalmente impermeable.

5.1.2.2. Requerimientos de la electrolinera.

- Deberá ser un sistema que se adapte a las condiciones climáticas de Bogotá.
- El sistema no debe generar contaminación auditiva.
- El aerogenerador debe ajustarse a las bajas velocidades y vientos multidireccionales que existen en la capital del país.
- El aerogenerador debe presentar una alta eficiencia en su funcionamiento.
- Amplia vida útil del prototipo.
- Que el prototipo no sea tan costoso para su fabricación.
- Que tenga una pantalla donde se especifique distintos parámetros de la cantidad de energía que queda disponible para cargar las bicicletas (puede ser como la que traen los celulares)

5.1.3. Estudio preliminar de la rueda eléctrica.

5.1.3.1. Fuerzas y reacciones en una rueda eléctrica.

La física indica que la energía necesaria para iniciar o mantener el movimiento de un cuerpo, es decir, para garantizar su equilibrio dinámico. La energía se define como la fuerza aplicada sobre una distancia en la dirección de la fuerza. La potencia, a su vez, se define como la energía por unidad de tiempo. En un intervalo de tiempo infinitesimal, el ciclista montado en su bicicleta habrá recorrido una cierta distancia. Para determinar la velocidad, se utiliza la siguiente ecuación.

$$V = \frac{dx}{dt} \quad (5.1)$$

Donde:

V =Velocidad.

dx =Distancia de desplazamiento.

dt =Tiempo infinitesimal.

5.1.3.2. Condiciones de equilibrio.

Un paso importante para el diseño de la rueda eléctrica es el análisis de las condiciones de equilibrio, ya que se debe tener en cuenta el equilibrio de las fuerzas para que chasis de la rueda sea totalmente estático y no presente algún desbalance al generar movimiento, para realizar este análisis se debe tener en cuenta las leyes de Newton, siendo la ecuación general del equilibrio.

$$\sum \tau = 0 \quad (5.2)$$

Esta ecuación representa la suma de todos los momentos vectoriales alrededor del punto.

5.1.4. Estudio preliminar de la electrolinera.

5.1.4.1. Estudio de velocidades del viento.

Para llevar a cabo el diseño del aerogenerador, es esencial tener conocimiento de la velocidad nominal a la que el aerogenerador operará, lo que permite definir el diámetro y el momento de inercia del rotor. Además, resulta crucial analizar la velocidad del viento en el edificio de la sede central de la Universidad Santo Tomás, ya que esta variable determinará los parámetros necesarios para el diseño. Con este fin, se accederá a la base de datos oficial de la NASA y del IDEAM para obtener la velocidad y la dirección del viento a 10 metros sobre el suelo durante todos los días de los años 2015 a 2021. A partir de estos registros, se calculará la velocidad media mensual de cada año y se evaluará el mes con los datos más críticos para establecer los parámetros más seguros del diseño del aerogenerador.

5.1.4.2. Perfil de elevación.

El perfil de elevación revela la altura del nivel sobre el mar del punto que se está tomando como referencia y permite hallar la densidad del sitio, este parámetro es importante porque permite conocer posteriormente el potencial eólico, para el sitio de estudio que es la Universidad Santo Tomás el perfil de elevación de la zona oscila entre 2572 a 3304 m sobre el nivel del mar. Para hallar el valor promedio de elevación de la ubicación se utiliza la siguiente ecuación y se supone una temperatura promedio de 18°(grados) para la ciudad capital de Colombia.

$$\rho_{lugar} = \rho_{aire} \times e^{\left(-\frac{z}{8435} - \frac{(T-15)}{288}\right)} \quad (5.3)$$

Donde:

ρ_{lugar} = Densidad del aire del lugar (Kg/m^3)

ρ_{aire} = Densidad del aire (Kg/m^3)

z = Altura sobre el nivel del mar (msnm)

T = Temperatura ($^{\circ}C$)

5.1.4.3. Datos del viento de la NASA.

La coordenada de latitud 4,63 N y longitud -74,06 W se buscan los datos del viento en el mapa de la NASA desde el 1 de enero de 2015 hasta el 31 de Diciembre de 2021 y se descargan en formato CSV toda la información relacionada a la velocidad del viento a 10 m, la dirección del viento a 10 m y la precipitación del lugar. Posteriormente se realiza un análisis de la velocidad media del viento y se escoge el año de estudio del 2021.

5.1.4.4. Datos del viento de la IDEAM.

Para obtener los datos de la IDEAM no fueron tan sencillos, no se pudo obtener los datos exactos de la coordenada de la Universidad, pero si se encontraban registrados los datos de una estación cercana a la Universidad, por tanto, se solicitaron desde el 1 de enero de 2015 hasta el 31 de diciembre de 2021 y se descargan en formato CSV toda la información relacionada a la velocidad del viento a 10 m, la dirección del viento a 10 m y la precipitación del lugar. Posteriormente se realiza un análisis de la velocidad media del viento y se escoge el año de estudio del 2021.

5.1.4.5. Análisis de viento por probabilidad de Weibull.

Para el análisis de la viabilidad del viento deben aplicarse técnicas estadísticas que permitan la correcta caracterización del viento, en este aspecto resulta conveniente tener en cuenta la velocidad y dirección para determinar la distribución por frecuencias de las velocidades y por rumbos de las direcciones. En la evaluación de los recursos eólicos es necesario conocerla ley de distribución de la velocidad del viento que permite calcular el potencial energético y la energía anual que puede producir un aerogenerador.

La distribución de Weibull es una función de probabilidad que se representa mediante una curva, mostrando el porcentaje de distribución de la velocidad del viento durante un período determinado en una ubicación específica. Esta distribución exhibe variaciones en su forma y en su valor medio, y describe la función de densidad de probabilidad de la velocidad del viento, como se formula a continuación:

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \left[\exp -\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (5.4)$$

Donde:

v = Velocidad del viento media (m/s)

c = Factor de escala que es semejante la velocidad del viento media (m/s)

k = Factor de forma que se caracteriza a la simetría de la función de la probabilidad

5.1.5. Parámetros de la rueda eléctrica y la electrolinera.

Bajo los parámetros previamente analizados sobre: tipos de aerogeneradores y sistemas de carga, se diseñará y se construirá un prototipo de aerogenerador de eje vertical mixto doble etapa Savonius y Darrieus Cuatripala. Este prototipo entregará energía eléctrica a una batería de una bicicleta eléctrica, este prototipo estará establecido dentro de la Universidad Santo Tomás sede central. Para este diseño se realizará una metodología ligada a los objetivos mencionados, es importante considerar los factores que afecten el funcionamiento del prototipo como: ubicación, velocidad del viento, materiales de fabricación, entre otros.

Con el fin de brindar una solución factible a la problemática previamente planteada se considerarán algunas funciones principales del sistema las cuales son:

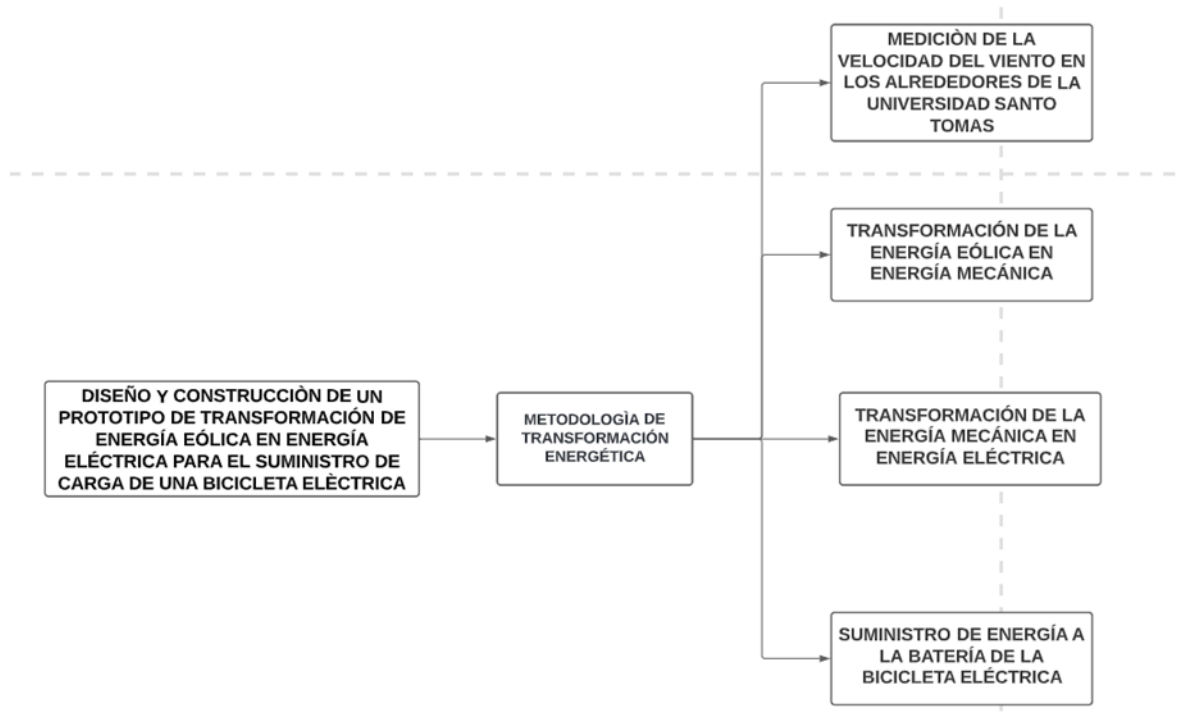


Figura 5.1. Eje Transición energética para la carga de la batería de la rueda eléctrica.

5.2. Diseño de la Arquitectura.

5.2.1. Diseño mecánico de la rueda eléctrica.

Para realizar el diseño de la rueda eléctrica se deben considerar algunos parámetros para el diseño mecánico y eléctrico, por tal motivo se supone un coeficiente $\mu_s = 0,8$ y $\mu_k = 0,6$ por otra parte el peso máximo que puede llegar a soportar es de 90Kg y el peso máximo de la rueda debe ser de 10Kg.

Teniendo en cuenta los parámetros nombrados, para la realización del diseño mecánico se deben tener en cuenta varios factores como lo son la torsión, siendo la fuerza que puede llegar a producir un giro o rotación de un objeto, para lo cual se implementa la siguiente ecuación.

$$f_{Max} = \mu_s \cdot N \quad (5.5)$$

Ecuación simplificada:

$$f_{Max} = \mu_s \cdot (m \cdot g) \quad (5.6)$$

Donde:

μ_s =Viscosidad estática
 m =Masa total en la rueda
 g =Gravedad

Por otra parte, se debe realizar un estudio dinámico, ya que la rueda va a estar sometida a varias fuerzas que actúan; dado que se debe tener en cuenta como las fuerzas cambian el movimiento de un objeto, para ello se implementa siguiente ecuación:

$$\sum F_x = 0 \quad (5.7)$$

Donde:

f_r =Fuerza de rozamiento.
 M =Par motor.
 FR =Fuerza resistente.

5.2.2. Diseño eléctrico de la rueda eléctrica.

Para el diseño eléctrico en primera instancia se deben obtener los cálculos mecánicos ya que es necesario conocer la potencia que se necesita para mover la rueda eléctrica, teniendo este cálculo se realiza una selección de motor y de su controlador considerando cada una de sus características; por otra parte se realiza una comparación de los diferentes tipos de baterías que existen en el mercado, teniendo presente sus principales características, como sus ventajas y desventajas al utilizarlas, para el diseño de las baterías se debe tener en cuenta el valor del voltaje y la corriente de cada celda a utilizar ya que se debe armar un arreglo de baterías. Para crear el arreglo de baterías primero se busca llegar al voltaje requerido, en este caso de 36V, para ello se aplica la siguiente ecuación:

$$Cs = \frac{V_{max}}{V_{celda}} \quad (5.8)$$

Donde:

Cs =Numero de celdas en serie.

V_{max} =Voltaje Máximo.

V_{celda} =Voltaje por celda.

Después de haber calculado el voltaje del arreglo de baterías, lo siguiente es calcular las celdas necesarias para obtener corrientes requeridas.

$$Cp = \frac{A_{max}}{A_{celda}} \quad (5.9)$$

Donde:

Cp =Numero de celdas en paralelo.

A_{max} = Corriente Máxima.

A_{celda} = Corriente por celda.

Al aplicar estas 2 ecuaciones se logra obtener un arreglo de baterías, el cual tiene una nomenclatura específica, esta se obtiene dependiendo la cantidad final de las celdas tanto en serie como en paralelo.

5.2.3. Diseño mecánico de la electrolinera.

Diseño mecánico de la electrolinera

El dimensionamiento del aerogenerador debe hacerse teniendo en cuenta la velocidad de diseño la cual se obtuvo en la caracterización del viento en la ciudad de Bogotá y de la toma de datos dentro de la universidad Santo Tomas. La potencia del viento se determina de la siguiente manera:

$$P_v = \frac{1}{2} \times A \times \rho \times v^3 \quad (5.10)$$

Donde:

P_v = Potencia del viento (W)

A = Área de barrido (m^2)

ρ = Densidad del aire ($\frac{kg}{m^3}$)

v = Velocidad del viento ($\frac{m}{s}$)

Por Ley de Betz se sabe que es imposible que una máquina extraiga toda la potencia del viento por lo cual la potencia extraída del aerogenerador dependerá directamente de su coeficiente de potencia:

$$P_{aero} = C_p \times P_v \quad (5.11)$$

Donde:

P_{aero} = Potencia del aerogenerador (W)

C_p = Coeficiente de potencia

Es importante aclarar también que para obtener la potencia final es necesario incluir los rendimientos del generador eléctrico y del sistema de transmisión por lo que a la ecuación anterior se debe implementar los rendimientos para quedar de la siguiente manera:

$$P_{elec} = n_e \times n_m \times P_{aero} \quad (5.12)$$

Donde:

P_{elec} = Potencia eléctrica final (W)

n_e = Pérdidas eléctricas

n_m = Pérdidas mecánicas

Para el diseño se supone un diámetro y una altura para verificar si cumplen los requisitos de potencia para cargar una bicicleta eléctrica. Para hallar el área se sabe:

$$A = D_r \times H_r \quad (5.13)$$

Donde:

D_r = Diámetro del rotor (m)

H_r = Altura del rotor (m)

Para aprovechar mejor la energía eléctrica, se decide diseñar un aerogenerador mixto Savonius – Darrieus teniendo en cuenta las condiciones de viento para poder obtener una mayor potencia eléctrica del viento.

- **Rotor Savonius**

Para el diseño del diseño del rotor Savonius se realiza si se desea aprovechar la máxima potencia eléctrica del viento, pero el montaje del prototipo se va a realizar para hacer pruebas del viento y cargar solamente una bicicleta eléctrica por tanto se define las siguientes condiciones de diseño a partir de la ecuación (5.11). Se debe tener en cuenta que es imposible que una máquina extraiga toda la potencia del viento, en el cálculo del rotor Savonius se utiliza un coeficiente de potencia $C_p = 0,22$ que es un valor experimental.

- **Rotor Darrieus**

Para el diseño del diseño del rotor Darrieus se realiza si se desea aprovechar la máxima potencia eléctrica del viento, pero el montaje del prototipo se va a realizar para hacer pruebas del viento y cargar solamente una bicicleta eléctrica por tanto se define las siguientes condiciones de diseño a partir de la ecuación (5.11). Se debe tener en cuenta que es imposible que una máquina extraiga toda la potencia del viento, en el cálculo del rotor Darrieus se utiliza un coeficiente de potencia $C_p = 0,32$ que es un valor experimental.

Después del diseño de los rotores del aerogenerador se determina la velocidad de rotación que permite la conversión de energía mecánica a energía eléctrica del aerogenerador, se utiliza la siguiente ecuación con condiciones iniciales.

$$\lambda = \frac{\omega \times R}{v} \quad (5.14)$$

Donde:

λ = Coeficiente de velocidad en el extremo del álabe

ω = Velocidad angular (*rpm*)
 R = Radio del rotor (*m*)

5.2.4. Diseño eléctrico de la electrolinera.

- **Determinación de la tensión nominal del sistema**

La tensión de operación se puede calcular basándose en la potencia del sistema, la cual está directamente vinculada con la energía utilizada. Por lo general, se utilizan voltajes estándar como 12 V, 24 V, 48 V o 120 V.

A partir de [63] se recomienda:

- 12 V para potencias menores de 1,5 kW.
- 24 V o 48 V para potencias entre 1,5 kW y 5 kW.
- 48 V o 120 V para potencias mayores de 5 kW.

- **Generador eléctrico**

Los motores de imanes permanentes son tipos de motores eléctricos sincrónicos que incorporan barras adicionales en su rotor. En la siguiente expresión se hace mención al circuito equivalente del generador. Estos motores poseen un estator donde se ubican los bobinados y dos discos en el rotor que albergan los imanes:

$$V = E - I (R_x + X) \quad (5.15)$$

Donde:

V = Voltaje del circuito equivalente (V)
 E = Fem inducida en cada bobina
 I = Corriente que circula por el conductor
 R_x = Resistencia del bobinado
 X = Reactancia del bobinado

Es común emplear un mecanismo de engranaje reductor en los motores para disminuir la velocidad de rotación y aumentar el par mecánico suministrado. Sin embargo, en el contexto de la generación de electricidad, un engranaje desempeñaría un papel opuesto: reduciría el par mecánico T y multiplicaría la velocidad del rotor Savonius. Esto resultaría en que el rotor del generador giraría " i veces" más rápido que las palas, donde i representa el factor de multiplicación del engranaje.

- **Baterías**

En este proyecto, no es necesario conectar directamente las cargas eléctricas, como las baterías de la bicicleta eléctrica, al aerogenerador. Si se hiciera así, solo podrían utilizarse cuando hubiese viento con una velocidad considerable. Es más conveniente acumular toda la energía eléctrica generada durante el día en una batería y luego conectar los dispositivos eléctricos a esa batería. Dado que la velocidad del viento puede variar significativamente a lo largo del día, el enfoque óptimo para aprovechar la energía eólica en un entorno urbano implica almacenar la mayor cantidad de energía posible.

El banco de baterías debe proveer la energía necesaria para la carga cuando no haya viento, acumulando la energía requerida para alimentar la carga durante los días con viento y durante la noche. Además, esta energía debe tener en cuenta las pérdidas que ocurren en los diversos componentes del sistema. Para calcular la capacidad del banco de baterías, es necesario definir principalmente los siguientes parámetros:

$$C_{nb} = \frac{E_{CT} \times D_{out}}{V_{nom} \times P_{Dmax} \times n_D} \quad (5.16)$$

Donde:

C_{nb} = Capacidad nominal (Ah)

E_{CT} = Consumo energético diario total de la carga (Wh)

D_{out} = Días con bajo viento

V_{nom} = Voltaje nominal (V)

P_{Dmax} = Profundidad máxima de descarga

n_D = Eficiencia de descarga

A continuación, se definen las ecuaciones para hallar la corriente máxima de carga y de descarga para el banco de baterías calculado:

$$C_{maxC} = N_{BT} \times C_5 \quad (5.17)$$

Donde:

C_{maxC} = Capacidad máxima de la batería de carga (Ah)

N_{BT} = Cantidad de baterías en paralelo

C_5 = Capacidad máxima de carga de la batería nominal (Ah)

$$C_{maxD} = N_{BT} \times C_{20} \quad (5.18)$$

Donde:

$C_{\max D}$ = Capacidad máxima de la batería de carga (Ah)

N_{BT} = Cantidad de baterías en paralelo

C_{20} = Capacidad máxima de descarga de la batería nominal (Ah)

- **Regulador de carga**

Cuando la potencia generada por el aerogenerador excede su capacidad máxima de entrada, el regulador entra en juego para limitar esta potencia, asegurando que la corriente suministrada no sobrepase el valor máximo nominal especificado por el fabricante. [62] Esto protege al dispositivo de posibles daños. Un aspecto importante a considerar es que los reguladores alcanzan su máxima eficiencia cuando operan en niveles de potencia cercanos a los nominales. Dado que el costo de los reguladores aumenta con su potencia nominal, dimensionarlos basándose en la potencia pico del generador podría resultar en un gasto innecesario.

El regulador se conecta en serie al aerogenerador, lo que significa que la corriente generada por este pasa a través del regulador. Como una regla de diseño, se elige que la corriente nominal del regulador sea un 20% o 25% mayor que la corriente entregada por el bloque generador.[62]

$$V_{in} = 1.25 \times V_{oc} \quad (5.19)$$

Donde:

V_{in} = Voltaje de entrada del regulador

V_{oc} = Voltaje nominal del banco de baterías

- **Inversor**

Los inversores tienen como objetivo adaptar las características de la corriente generada para satisfacer total o parcialmente las necesidades de las aplicaciones. En este proyecto, las baterías operan con corriente continua, mientras que la demanda energética de la bicicleta se encuentra en corriente alterna. Por lo tanto, es esencial contar con un inversor que convierta la corriente continua en corriente alterna.

Los inversores se distinguen por su tensión de entrada, que debe ser compatible con la del generador, así como por su capacidad máxima de suministro de potencia y su eficiencia. La eficiencia de un inversor se define como la relación entre la potencia eléctrica producida por el inversor en la salida y la potencia eléctrica extraída del generador, es decir, la potencia de entrada. Esta eficiencia puede variar según la potencia consumida por la carga. Por lo tanto, es crucial comprender esta variación para ajustar el equipo y operar en un punto donde se alcance una eficiencia óptima, preferiblemente por encima del 70%[62].

La potencia del inversor se determinará en función de la potencia requerida por los dispositivos de consumo de corriente alterna, el rendimiento del propio inversor y la simultaneidad de uso de estos dispositivos.

$$S_{inv\ out} = 1,25 \times \frac{P_{car\ CA}}{FP} \times FS \quad (5.20)$$

Donde:

$S_{inv\ out}$ = Potencia nominal del inversor (VA)

$P_{car\ CA}$ = Potencia de carga en CA (W)

FP = Factor de potencia de las cargas

FS = Factor de simultaneidad del consumo en CA

Para tener en cuenta esta situación, se utiliza un factor de simultaneidad (FS), que indica la probabilidad de que los dispositivos de consumo de corriente alternan sean utilizados simultáneamente. Este coeficiente se determina mediante una estimación basada en la experiencia o en regulaciones específicas.

$$I_{pico} = \frac{P_{car\ CA}}{110\ V} \quad (5.21)$$

Donde:

I_{pico} = Corriente pico (A)

5.2.5. Diagrama de flujo preensamble rueda eléctrica.

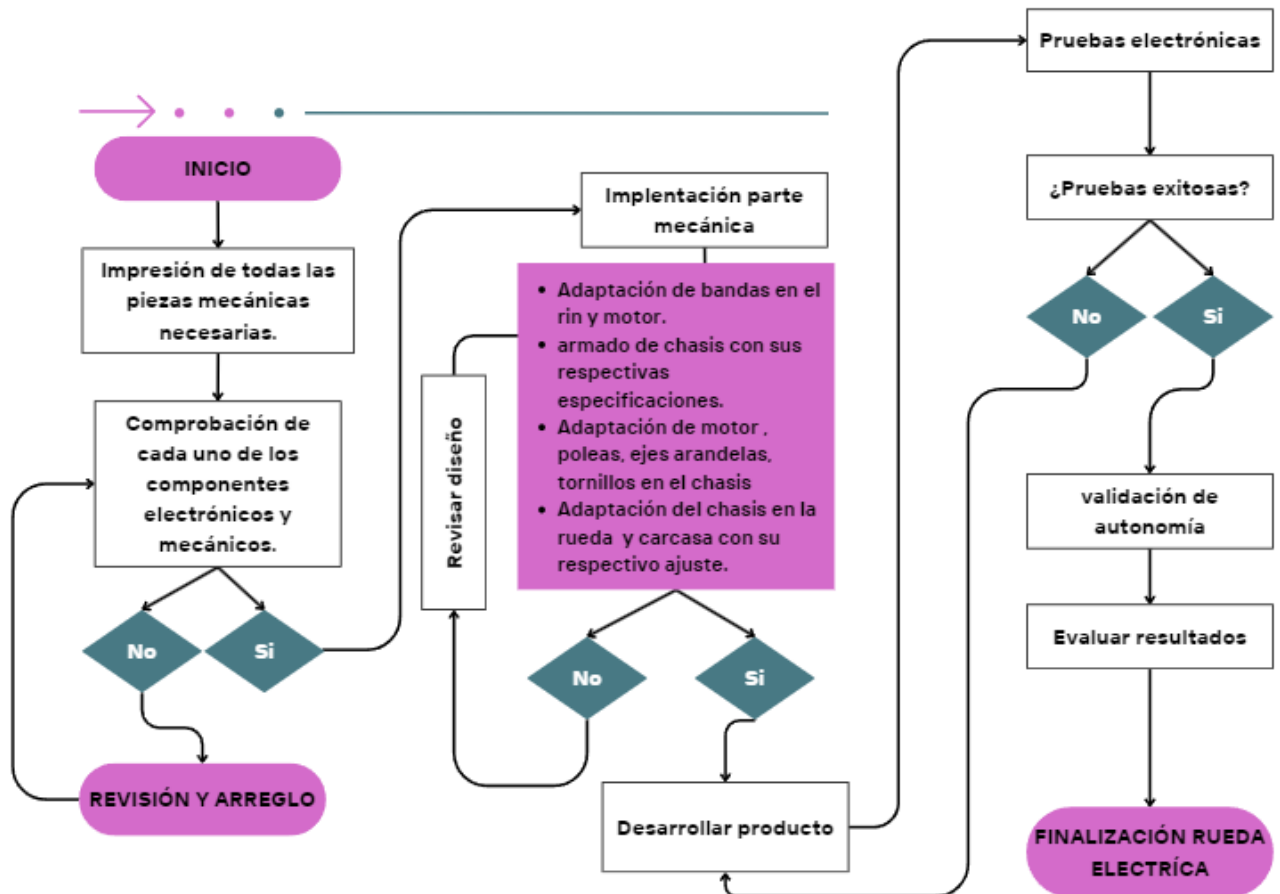


Figura 5.2. Diagrama de flujo preensamble rueda eléctrica

5.2.6. Diagrama de flujo preensamble Electrolinera.

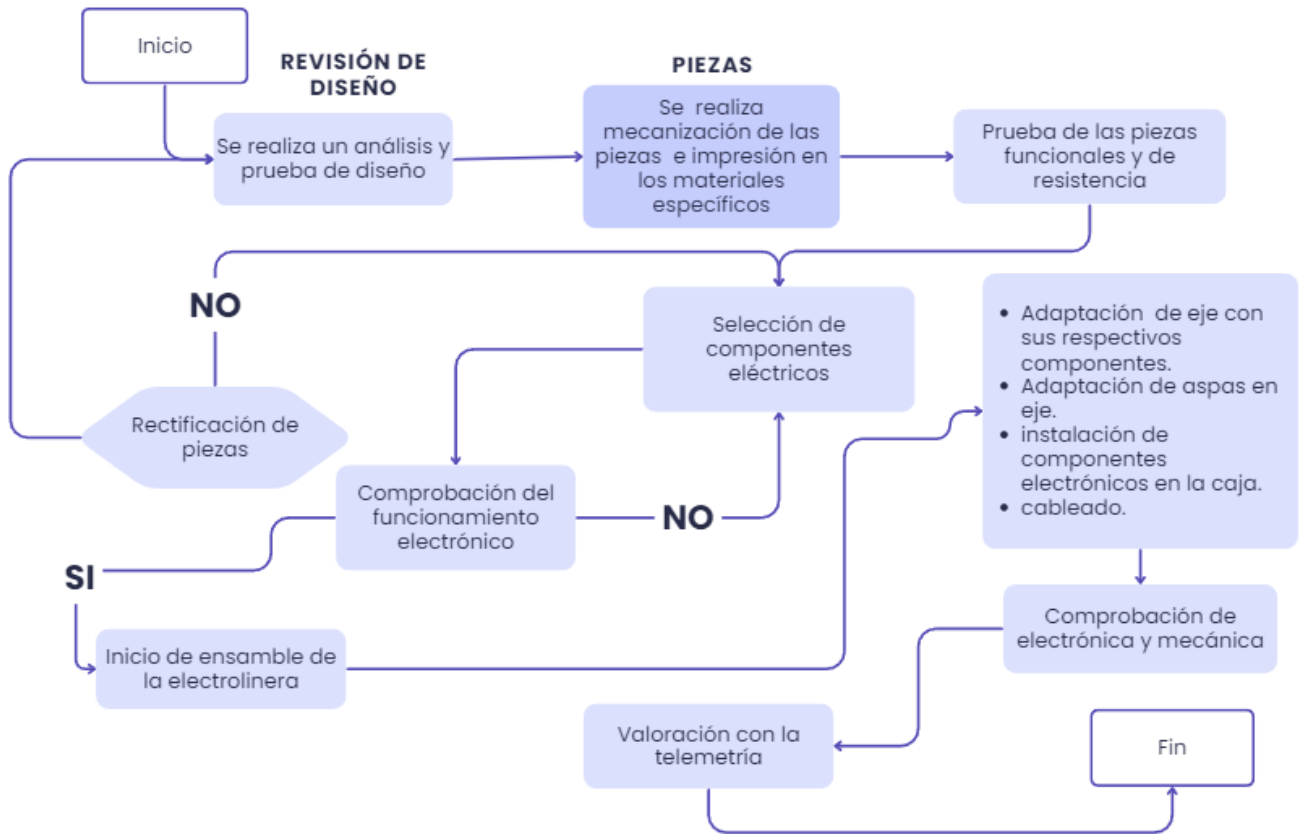


Figura 5.3. Diagrama de flujo preensamble electrolinera

5.3. Detalle del producto.

5.3.1. Detalle de planos Mecánicos.

Las normas más comunes que se aplican a los planos mecánicos incluyen la norma ANSI/ASME Y14.5, que establece estándares para la representación y dimensionamiento de objetos en dibujos técnicos, a continuación, se presenta algunas características que deben llevar un plano mecánico.

- **Vistas principales:** La norma especifica la necesidad de incluir vistas principales que representen el objeto desde diferentes ángulos (vistas frontal, lateral, superior, etc.), asegurando una comprensión completa de su geometría.

- Vistas desplegadas o de sección: Cuando sea necesario, se deben agregar vistas desplegadas o secciones para mostrar detalles internos o características específicas del objeto que no son visibles en las vistas principales.
- Dimensionamiento y tolerancias: La norma detalla cómo deben dimensionarse todas las partes del objeto, incluidas las dimensiones lineales, angulares y geométricas.
- Símbolos y convenciones de representación: La norma establece los símbolos y las convenciones de representación que deben utilizarse en el plano para indicar características como roscas, superficies tratadas, soldaduras, etc.
- Listas de materiales y especificaciones: Se recomienda incluir una lista detallada de todos los componentes y materiales utilizados en la fabricación del objeto, así como especificaciones adicionales relevantes para su producción y ensamblaje.
- Notas y especificaciones adicionales: Es común agregar notas y especificaciones adicionales en el plano para proporcionar detalles importantes sobre el diseño, la fabricación o el ensamblaje del objeto, asegurando una interpretación precisa por parte de los fabricantes y usuarios.

5.3.2. Detalle de planos Electrónicos.

Para la realización de un plano se debe tener en cuenta la normativa IEC 61082, la cual establece pautas específicas para diferentes aspectos de la documentación de planos eléctricos. Estos planos suelen contener información detallada sobre la disposición y conexión de componentes eléctricos en un sistema o dispositivo, a continuación, se presenta algunas características que llevan los planos realizados con esta normativa.

- Diagrama de circuito: Representan visualmente la disposición y la conexión de los componentes eléctricos en un circuito, mostrando la dirección del flujo de corriente, las conexiones entre los elementos y los dispositivos de control.
- Esquemas de cableado: Detallan cómo se interconectan los diferentes elementos eléctricos mediante cables, mostrando la ruta de los conductores y las conexiones entre los puntos de conexión.
- Listas de materiales (BOM): Enumeran todos los componentes eléctricos utilizados en el sistema, incluyendo detalles como números de parte, descripciones y cantidades necesarias.
- Diagramas de conexión: Describen cómo se conectan los dispositivos eléctricos entre sí, indicando los puntos de conexión y los tipos de cables o conexiones necesarios.

5.4. Creación del sistema de monitoreo.

5.4.1. Rueda Eléctrica.

5.4.1.1. Caracterización de las variables.

En la figura 5.4, se puede observar las variables que se emplearán en el código, junto con una breve explicación de cada una.

```
//-----
//                               INICIALIZACION DE VARIABLES
//-----

//Conseguidos mediante la Eeprom
float SocEeprom = 0;           // Valor del SOC [%] guardado en la Eeprom
float eneEeprom = 0;           // Valor de la energía [Wh] guardado en la Eeprom
float IniSoc;                  // Valor del soc [%] en el primer inicio

//Conseguidos mediante librerías
unsigned long tiempo_inicial;  // Tiempo inicial de la muestra [mS]
unsigned long tiempo_final;    // Tiempo final de la muestra [mS]
unsigned long tiempo_muestra;  // Tiempo de la muestra [mS]
TinyGPSPlus gps;              // Creamos un objeto TinyGPS++

//Conseguidos mediante sensores
float CorrientePromedioCarga, CorrientePromedioDescarga; // Valor de la corriente en [A]
float voltajeBateria;        // Voltaje de la batería [v]
float Fx0C, Fx1C, Fx0D, Fx1D; // Puntos de corriente [A] integral metodo trapezoidal

//Conseguidos mediante el GPS
float velocidadActual;        // Velocidad [Km/h]
float velocidadAnterior;      // Velocidad [Km/h]

//Conseguidos mediante el usuario
float Cnominal = 10.4;        // Capacidad nominal de la batería [Ah]
float SensibilidadC = 0.0464; // Valor de sensibilidad del sensor ACS712
float SensibilidadD = 0.0500; // Valor de sensibilidad del sensor ACS712
double eneBateria = 436.8;    // Energía actual de la batería [Wh]

//Calculados mediante metodos
float IntegralCorrienteCarga, IntegralCorrienteDescarga; // Valor de la capacidad [Ah]
float calculo;                                           // Valor del calculo de la integral de la corriente [Ah]
float Ini_Soc, AnteriorSoc, ActualSoc;                  // Valores del soc en Coulomb Counting
float eneCarga, eneDescarga;                             // Valores de energía [Wh]
double hora = 0.000000;                                  // Tiempo de la muestra en horas [H]
float DistanciaTramo;                                    // Distancia recorrida cada muestra [Km]
int Momento = 0;                                         // Saber si es la primera vez que inicia la aplicación
float GuardarSoc = 0, GuardarEne;                      // Valores a guardar en la Eeprom [%] , [Wh]
```

Figura 5.4. Código de la caracterización de las variables.

5.4.1.2. Caracterización hardware.

En la figura 5.5 se presenta el esquema eléctrico para el sistema de telemetría. En este esquema se incluyen dos sensores de corriente ACS712 de 30A, un GPS NEO 6M, dos divisores de voltaje de 5V a 3,3V utilizando resistencias de 6,8k Ω y 12k Ω , por último, un ESP32.

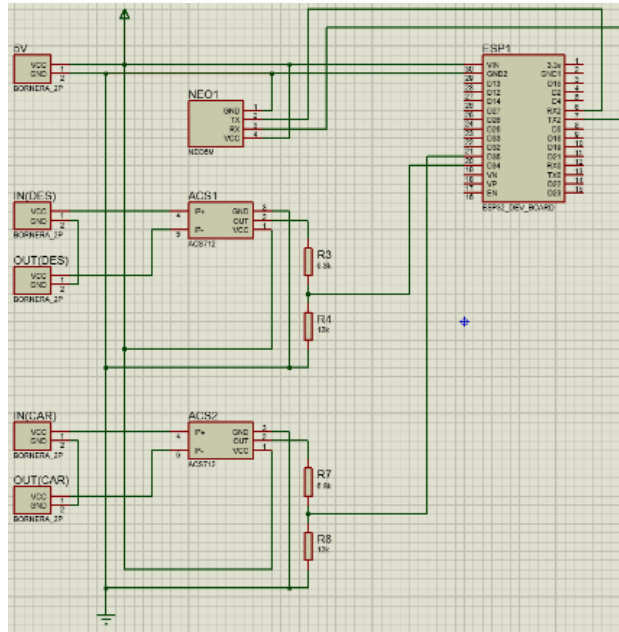


Figura 5.5. Implementación del Hardware.

5.4.1.3. Creación circuito impreso.

En la figura 5.6 se muestra el diseño del circuito impreso. Las conexiones indicadas entre los círculos se realizarán mediante cables calibre 14 y los caminos mostrados entre estos son únicamente a modo explicativo.

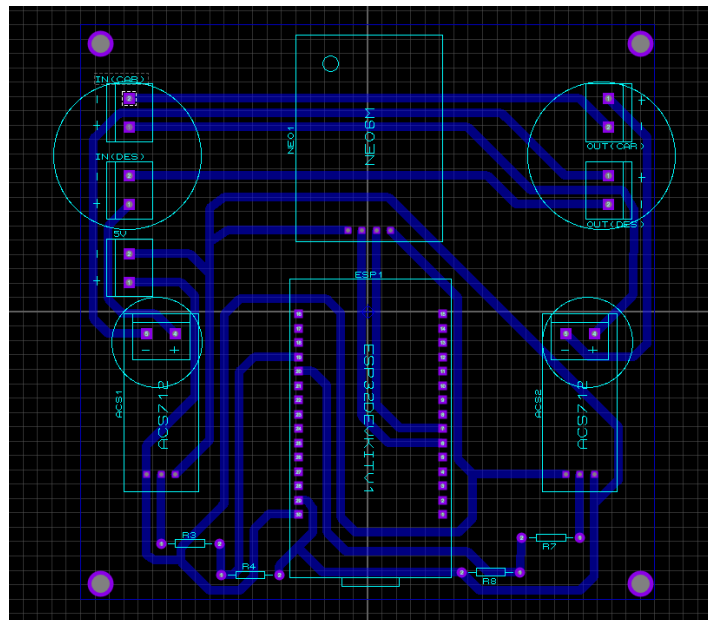


Figura 5.6. Circuito impreso.

5.4.1.4. Diagrama de flujo del software.

En la primera parte del programa, se recopila la información del último estado de carga (SOC) y de la energía de la batería almacenada previamente en la memoria EEPROM. Posteriormente, se procede a actualizar las variables que se visualizan en el panel de control de Arduino Cloud. Finalmente, se verifica si el usuario ha activado el botón para iniciar el recorrido.

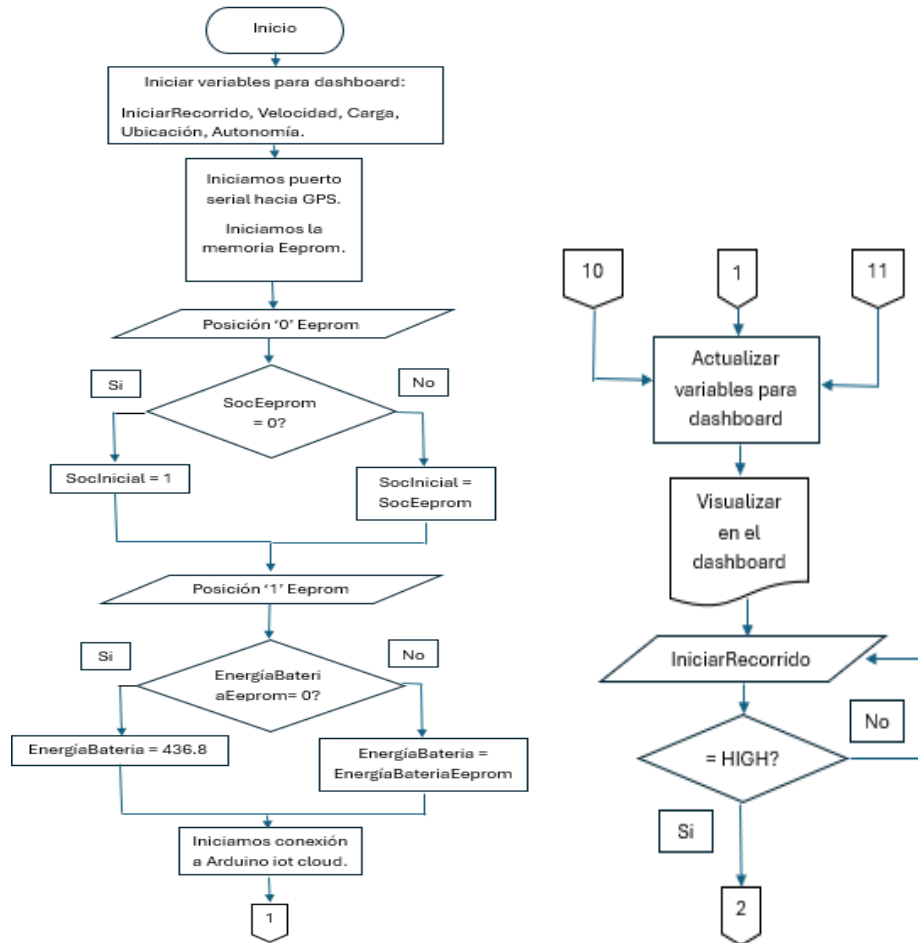


Figura 5.7. Diagrama de flujo sección 1 a 2

En la segunda parte del programa, se maneja el flujo de la sección 2 a 3 y de la sección 4 a 5 teniendo en cuenta la corriente de carga. Por otro lado, en el flujo de la sección 3 a 4 y de la sección 5 a 6, se considera la corriente de descarga. Finalmente, se calcula la energía de la batería y se guarda este dato en la memoria EEPROM.

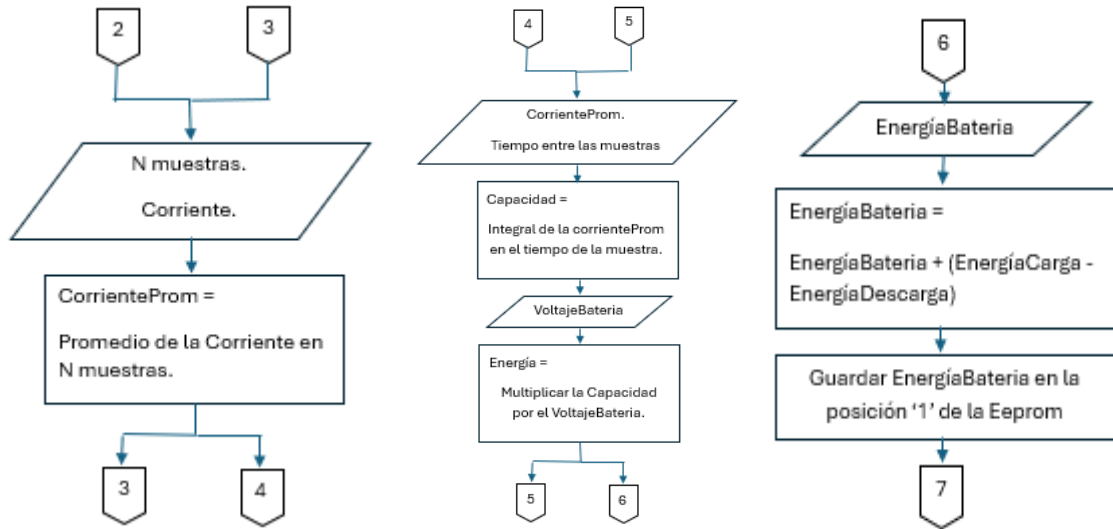


Figura 5.8. Diagrama de flujo sección de 2 a 7.

En la tercera parte del programa, se implementa el método de Coulomb Counting para calcular el estado de carga (SOC) de la batería, y luego se guarda este dato en la memoria EEPROM.

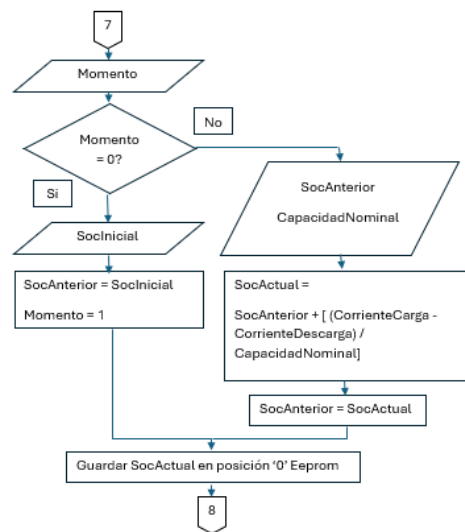


Figura 5.9. Diagrama de flujo sección de 7 a 8.

En la última parte del programa, se recibe la información del GPS para calcular la distancia recorrida entre muestras y, con base en esta información, se calcula la autonomía de la rueda eléctrica. Este cálculo se realiza en cada tramo del recorrido.

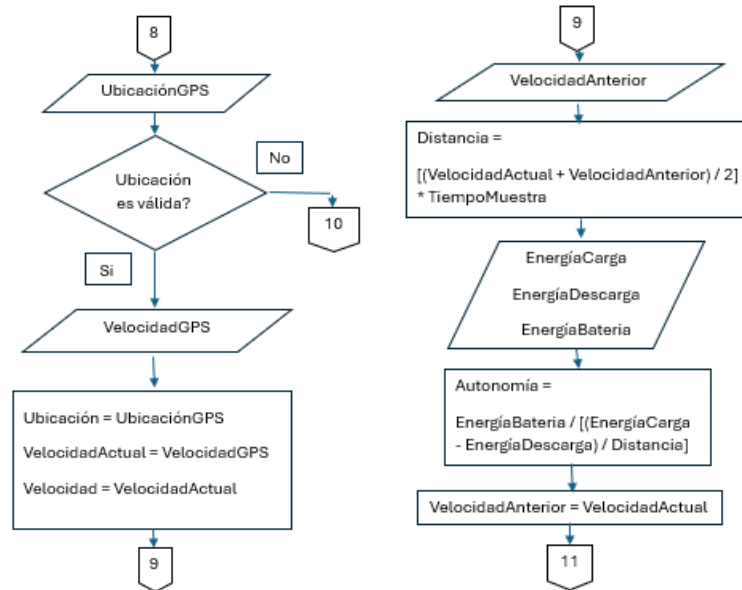


Figura 5.10. Diagrama de flujo sección de 8 a 11.

5.4.2. Electrolinera.

5.4.2.1. Caracterización de las variables.

En la figura 5.11, se puede observar las variables que se emplearán en el código, junto con una breve explicación de cada una.

```

//-----
//                               INICIALIZACION DE VARIABLES
//-----

//Conseguidos mediante el usuario
float SensibilidadA=0.0681;           // Valor de sensibilidad del sensor ACS712
float SensibilidadD=0.0500;           // Valor de sensibilidad del sensor ACS712
float Cnominal = 300;                 // capacidad nominal de la bateria [Ah]

//Conseguidos mediante sensores
float CorrientePromedioCarga, CorrientePromedioDescarga; // Valor de la corriente en [A]
float Voltaje;                       // Voltaje de la bateria [V]
float Fx0C, Fx1C, Fx0D, Fx1D;        // Puntos de corriente [A] integral metodo trapezoidal

//Conseguidos mediante librerias
unsigned long tiempoFinal;            // Tiempo final de la muestra [mS]
unsigned long tiempoInicial;          // Tiempo inicial de la muestra [mS]
unsigned long dx;                     // Tiempo de la muestra [H]

//Conseguidos mediante la Eeprom
float IniSoc;                         // Valor del soc [%] en el primer inicio
float SocEeprom = 0;                 // Valor del SOC [%] guardado en la Eeprom

//Calculados mediante metodos
float CorrienteBateria;               // Valor de la corriente promedio [A]
float calculo;                        // Valor del calculo de la integral de la corriente [Ah]
float AnteriorSoc, ActualSoc;         // Valores del soc en Coulomb counting
int Momento = 0;                     // Saber si es la primera vez que inicia la aplicacion
float IntegralCorrienteCarga, IntegralCorrienteDescarga; // Valor de la capacidad [Ah]
float GuardarSoc;                    // Valor a guardar en la Eeprom [%]
  
```

Figura 5.11. Código de la caracterización de las variables.

5.4.2.2. Caracterización hardware.

En la figura 5.12 se presenta el esquema eléctrico para el sistema de telemetría. Este incluye dos sensores de corriente ACS712 de 30A, dos divisores de voltaje de 5V a 3,3V utilizando resistencias de $6,8k\ \Omega$ y $12k\ \Omega$, un módulo MAX7219 de matriz LED 8x8 y por último, un ESP32.

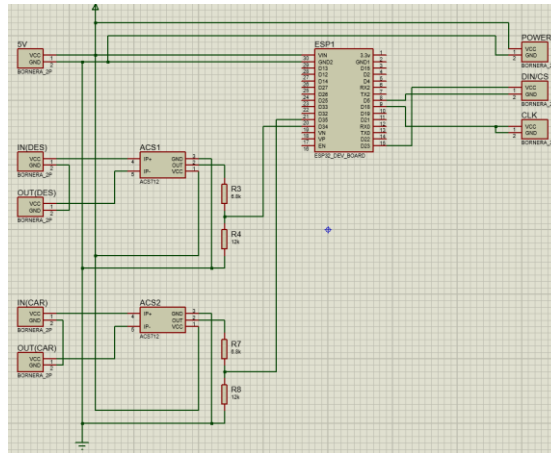


Figura 5.12. Caracterización del hardware

5.4.2.3. Creación circuito impreso.

En la figura 5.13 se muestra el diseño del circuito impreso. Las conexiones indicadas entre los círculos se realizarán mediante cables calibre 14 y los caminos mostrados entre estos son únicamente a modo explicativo.

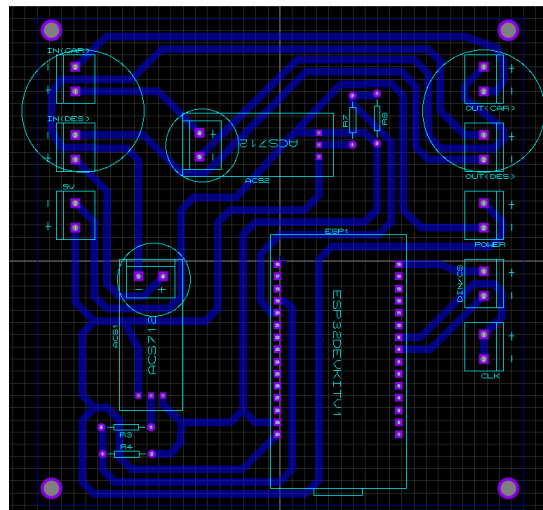


Figura 5.13. Circuito impreso

5.4.2.4. Diagrama de flujo del software.

En la primera parte del programa, se recopila la información del último valor de SOC almacenado en la memoria EEPROM.

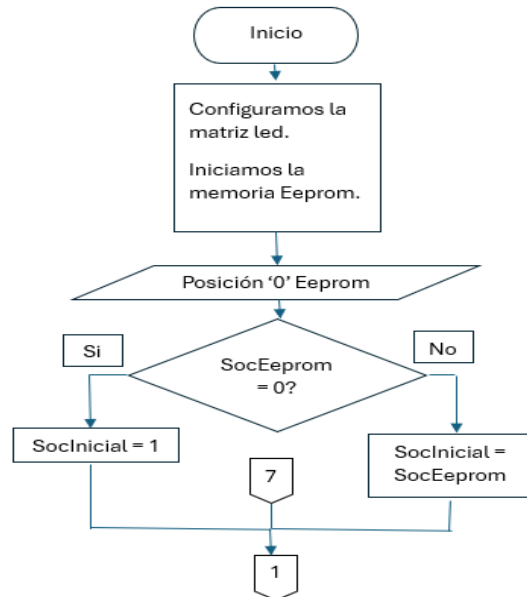


Figura 5.14. Diagrama de flujo sección 1.

En la segunda parte del programa, se maneja el flujo desde la sección 1 hasta la sección 2 y desde la sección 3 hasta la sección 4, teniendo en cuenta la corriente de carga. Por otro lado, en el flujo desde la sección 2 hasta la sección 3 y desde la sección 4 hasta la sección 5, se considera la corriente de descarga. Finalmente, se calcula la capacidad en ambos casos.

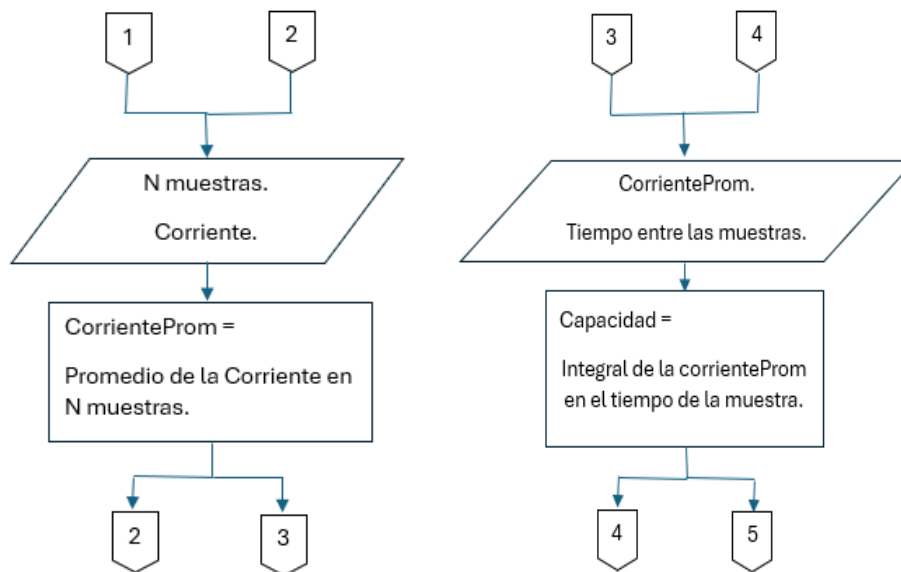


Figura 5.15. Diagrama de flujo sección de 2 a 5.

En la tercera parte del programa, se implementa el método de Coulomb Counting para calcular el SOC de la batería. Luego, este dato se guarda en la memoria EEPROM y se visualiza en la matriz LED.

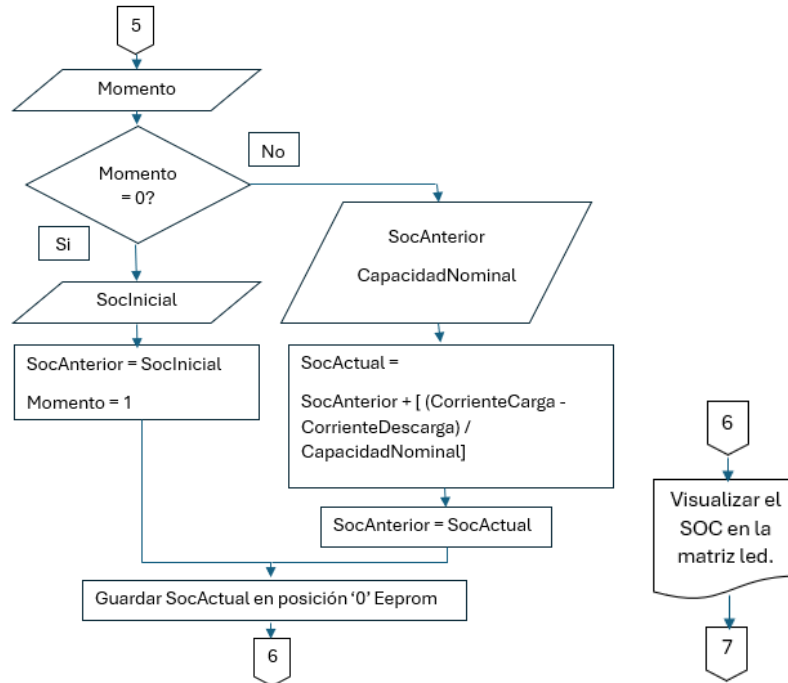


Figura 5.16. Diagrama de flujo sección de 5 a 7.

5.5. Ruta de prueba.

La ruta en donde se probará la rueda está ubicada en la ciudad de Bogotá D.C. En una zona poco transitada, la ruta cuenta con una pendiente máxima de 32% y una mínima de -32%. Las siguientes imágenes hacen referencia a la ruta y al perfil de elevación, dichas imágenes fueron suministradas por la aplicación de Google Earth Pro.

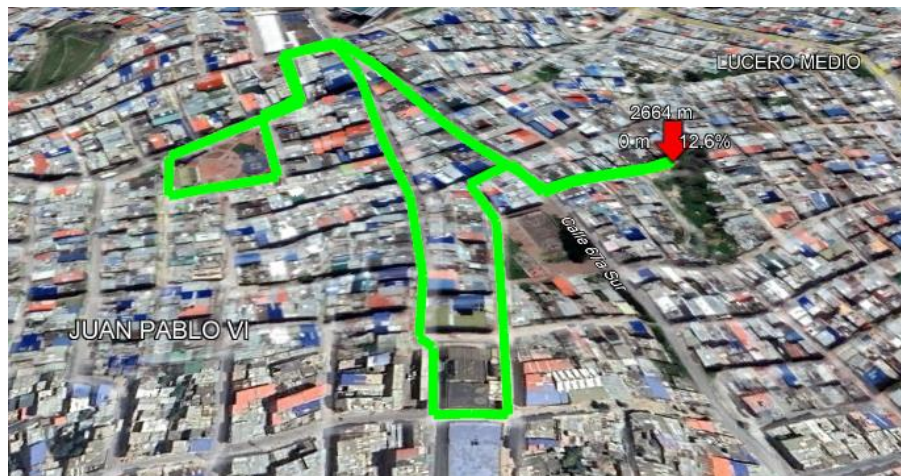


Figura 5.17. Ruta de prueba.

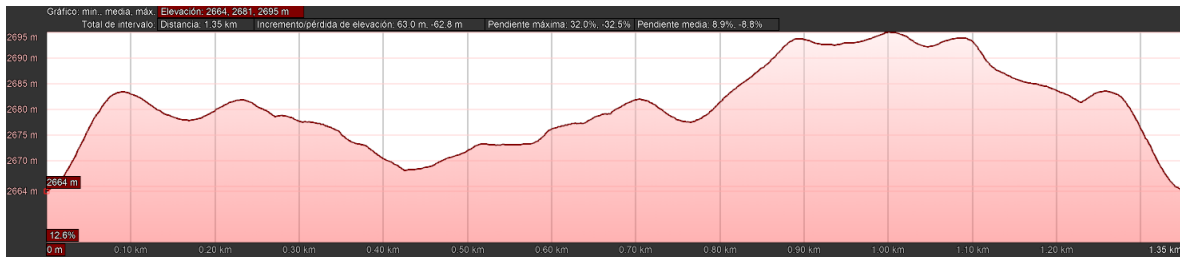


Figura 5.18. Perfil de elevación.

5.5.1. Visualización del histórico de datos.

Al usuario se le mostrará un dashboard con la siguiente información: Iniciar Ruta, Autonomía, Velocidad, Carga, Ubicación. En el cual podrá descargar el histórico de datos en formato CSV en un tiempo de 24h (tiempo de retención de datos de la versión gratuita de Arduino iot cloud). A fin de poder comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación, se creará un dashboard con la siguiente información: Distancia, Altitud, Energía consumida, Soc, Autonomía. Dicha información se guardará en un histórico de datos y se visualizará mediante gráficas.

5.6. Validación del producto.

Para la validación del producto se realiza en ensamble de la electrolinera y de la rueda eléctrica, teniendo en cuenta los diagramas de flujo y los planos propuesto, una vez ensamblado el producto se realiza una prueba de funcionamiento tanto a la electrolinera como la rueda eléctrica, en condiciones establecidas.

5.7. Validación autonomía.

Se llevará a cabo un análisis que compara la energía consumida, la topografía del terreno y la autonomía proporcionada por el sistema de telemetría de la rueda eléctrica. Este estudio permitirá entender cómo estos factores interactúan entre sí y cómo influyen en el rendimiento global del vehículo eléctrico.

6. Resultados y Discusión

En este apartado se presenta la explicación de los resultados alcanzados durante el estudio y ejecución del sistema, siguiendo una secuencia de acciones que se detallan a continuación.

6.1. Obtención de la información.

6.1.1. Descripción de vigilancia tecnológica.

Gracias a la generación de palabras claves y las herramientas de búsquedas especializadas se lograron encontrar más de 27 artículos científicos, en el cual fueron organizados en una matriz de vigilancia tecnológica, en donde fue tabulada por los siguientes ítems: Palabra o Frase, Buscador, Producto/Servicio, Título de artículo, Autores, Años, Resumen con sus propias palabras, esta búsqueda aporta al proyecto características de funcionamiento, arquitectura, desarrollo e implementación, tanto para el desarrollo de la telemetría, rueda eléctrica y electrolinera; resaltando las principales características como lo son los arreglos de baterías y la implementación de BMS, siendo uno de los factores más importantes a la hora de diseñar un sistema eléctrico, también se aporta en análisis de esfuerzo que debe tener una pieza, conclusiones del aporte del producto y link.

Tabla 6.1. Resultados Vigilancia tecnológica. Fuente: Autores.

<i>Rueda Eléctrica</i>	<i>Electrolinera</i>	<i>Telemetría</i>
Diseño de arreglo de baterías.	Funcionamiento de un alternador.	Arduino IOT
Funcionamiento y programación de BMS.	Formula y principio de Weibull.	Características del SOC
Características de los Motores Brushless.	Aerogenerador Savonius.	Vehículos eléctricos.
Análisis de diseño mecánico.	Aerogenerador Darrieus.	Conexión GPS

6.1.2. Bocetos de diseños

Después de haber realizado una investigación exhaustiva, se elabora bocetos, teniendo en cuenta la información encontrada anterior, por otra parte, los bocetos son el punto inicial para poder realizar los cálculos mecánicos y electrónicos, ya que se puede empezar a desarrollar análisis sobre las fuerzas impuestas.

Boceto 1**Figura 6.1. Boceto 1 de la rueda eléctrica.****Boceto 2****Figura 6.2. Boceto 2 de la rueda eléctrica.****6.1.3. Tomas de decisiones.**

Teniendo en cuenta las principales características obtenidas por la vigilancia tecnología, se pone en cuestión los 2 bocetos realizados, revisando los siguientes parámetros: componentes a utilizar, la ubicación de cada uno de ellos, arquitectura de la rueda, diseño estructural, diseño eléctrico. Dado este análisis realizado se toma la decisión de elegir el boceto número 2, en donde se resalta la ubicación de las baterías, el motor y la implementación de bandas listas y poleas, ya que no requieren un menor mantenimiento.

6.1.4. Análisis mecánico de la rueda eléctrica

6.1.4.1. Cálculo de fuerzas y reacciones.

Para la realización del análisis de fuerzas, se debe hacer un diagrama de fuerzas en donde sobre el boceto seleccionado, en donde se colocan todas las fuerzas teniendo también las condiciones del suelo.

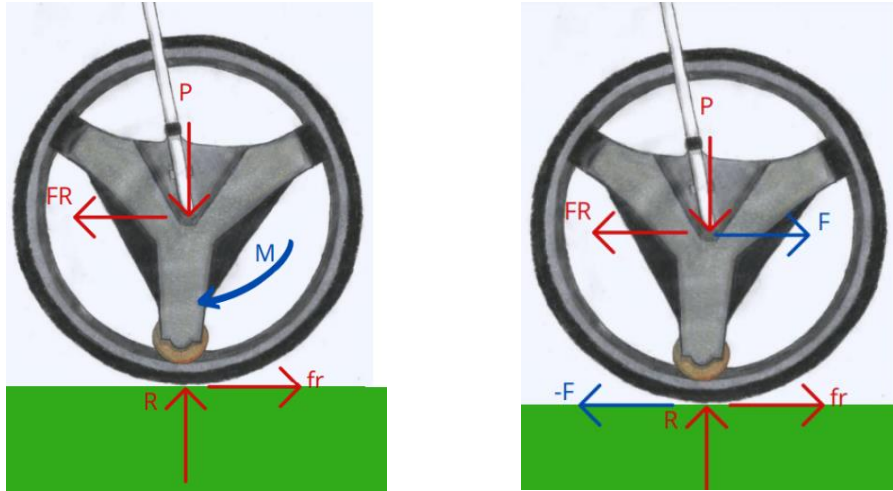


Figura 6.3. Cálculo de fuerzas y reacciones de la rueda eléctrica.

Se diseña a partir de las ecuaciones ya nombradas, las fuerzas analizadas.

$$\sum F_x = 0 \quad (6.1)$$

$$F + f_r - FR - F = 0 \quad (6.2)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (6.3)$$

$$R - P = 0 \quad (6.4)$$

$$\sum M_z = 0 \quad (6.5)$$

$$F * r - fr * r = 0 \quad (6.6)$$

Se analiza del sistema:

- Si $F > fr_{max} \rightarrow Patina$

$FR > fr \rightarrow Patina, no se desplaza, no avanza$

$FR < fr \rightarrow Patina, se desplaza, avanza$

- Si $F < fr_{max} \rightarrow No Patina$

$FR > fr \rightarrow No Patina, no avanza$

$FR < fr \rightarrow No Patina, avanza$

6.1.4.2. Determinación de las condiciones de equilibrio mediante cálculos.

A. Equilibrio cargas verticales: $W_b = R_t + R_d$

Donde:

W_b = El peso total de la bicicleta, aplicada en su punto de equilibrio.

R_t = Fuerza de reacción en la rueda posterior.

R_d = Fuerza de reacción en la rueda delantera.

B. Equilibrio de las cargas verticales: $R_T * T = R_d * d$

Sobre la bicicleta actúan su propio peso W, M_g, b , que se supone concentrado en su centro de gravedad G_b , y las reacciones R_T y R_d que se encuentran en el punto de contacto de las ruedas con el pavimento. La suma de estas reacciones iguala el peso total W_b de la bicicleta. Al requerir que los momentos de las acciones y reacciones sean iguales en relación con el centro de gravedad G_b , obtenemos la segunda ecuación de equilibrio. Por lo tanto, se tienen dos incógnitas, las reacciones de apoyo R_T y R_d , y dos ecuaciones que permiten calcularlas.

6.1.4.3. Toma de decisión kit eléctrico.

Al obtener los cálculos mecánicos de la rueda se procede a realizar la búsqueda de 3 kits eléctricos, teniendo en cuenta los siguientes parámetros de búsqueda.

- Motor eléctrico.
- Peso del motor.
- Velocidad máxima.
- Controlador.
- Modos de manejo.

Tabla 6.2. Especificaciones Kit Electrico_1. Fuente: Autores.

<i>KIT_1</i>	
<i>Motor eléctrico.</i>	300W
<i>Peso del motor.</i>	3Kg
<i>Velocidad máxima.</i>	25-30 Km/h
<i>Controlador.</i>	si
<i>Modos de manejo.</i>	2 modos de manejo

Tabla 6.3. Especificaciones Kit Electrico_2. Fuente: Autores.

<i>KIT_2</i>	
<i>Motor eléctrico.</i>	350W
<i>Peso del motor.</i>	3,5Kg
<i>Velocidad máxima.</i>	20-25 Km/h
<i>Controlador.</i>	si
<i>Modos de manejo.</i>	no

Tabla 6.4. Especificaciones Kit Electrico_2. Fuente: Autores.

<i>KIT_3</i>	
<i>Motor eléctrico.</i>	350W
<i>Peso del motor.</i>	2,5Kg
<i>Velocidad máxima.</i>	30-40 Km/h
<i>Controlador.</i>	Si
<i>Modos de manejo.</i>	3 Modos de manejo

Para la toma de decisiones del Kit eléctrico se utiliza la herramienta superDesiccions, la cual ayuda definir que kit eléctrico es mejor, teniendo en cuenta los parámetros ubicados en el software. Para comenzar se debe hacer un proceso de analítico jerárquico (AHP), gracias a este proceso se logra definir un objetivo a cumplir, se definen los criterios de evaluación y por último se definen las alternativas de toma de decisión, como se puede observar en la siguiente figura.



Figura 6.4. Proceso Analítico Jerárquico.

Una vez finalizado el proceso jerárquico se procede a evaluar cada uno de los criterios propuestos, realizando una comparación entre cada uno, dando un mayor o menor valor al criterio como se muestra en la figura 6.5.

Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct																			
Comparisons wrt "Seleccionar kit eléctrico" node in "Criterios" cluster																			
Potencia_M is strongly more important than Demás Componentes																			
1. Demás Compon~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
2. Demás Compon~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
3. Demás Compon~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
4. Demás Compon~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
5. Potencia_M	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
6. Potencia_M	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
7. Potencia_M	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
8. Precio	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
9. Precio	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
10. Velocidad Ma~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5

Figura 6.5. Toma de decisiones.

Después de realizar el respectivo proceso de evaluación de los criterios, el software da unos resultados tanto gráficos como numéricos, en donde se logra ver la diferencia entre cada uno de los kits eléctricos; como se puede observar en la figura 6.6 el kit 3 tiene un resultado mayor, siendo la mejor opción según el software, por otra parte se debe tener en cuenta que ningún resultado debe tener un grado de inconsistencia menor a 1, si esta condición no se cumple se debe realizar otra vez un análisis sobre las preguntas.

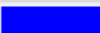
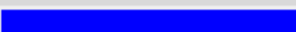
Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Kit1		0.601258	0.309592	0.150992
Kit2		0.340843	0.175502	0.085595
Kit3		1.000000	0.514906	0.251127

Figura 6.6. Gráfico de resultados.

Por último, se grafican los datos obtenidos, en donde se logra ver de una mejor manera el comportamiento de los datos según lo evaluado, en donde en el eje x se obtiene el valor del parámetro y en eje Y muestra la sensibilidad ANP. Gracias al software se logra tomar la mejor decisión eligiendo el kit eléctrico número 3.

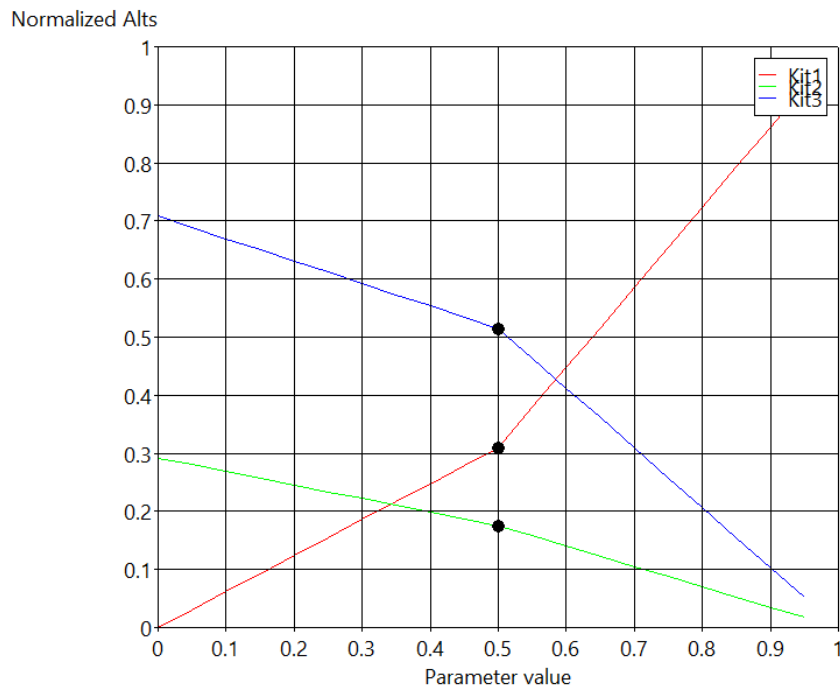


Figura 6.7. Gráfico ANP Sensitivity.

6.1.5. Diseño de la electrolinera.

6.1.5.1. Localización y parametrización.

La Universidad Santo Tomás está situada en el área de Chapinero en la ciudad de Bogotá, con coordenadas de $4^{\circ} 37' 48.000''$ de latitud norte y $74^{\circ} 3' 36.000''$ de longitud oeste, a una altitud de 2099,7 metros sobre el nivel del mar. En la figura 6.8 se muestra la vista satelital de la institución obtenida a través de la aplicación de Google Maps.



Figura 6.8. Localización de la Universidad Santo Tomás.

6.1.5.2. Cálculo de la velocidad el viento.

Se analiza la velocidad del viento en el edificio principal de la Universidad Santo Tomás, ya que esta es la variable clave para determinar los parámetros pertinentes del diseño. Para ello, se consultan las bases de datos oficiales de la NASA y el IDEAM para obtener la velocidad y dirección del viento a 10 m/s durante todos los días de los años 2015 al 2021.

Con estos datos, se calcula la velocidad media mensual para cada año y se examina el mes con los datos más críticos para establecer los parámetros de diseño más seguros para el aerogenerador. Durante la recopilación de datos, se observa que la velocidad del viento oscila entre 1 m/s y 3 m/s, con julio como el mes de máxima velocidad y noviembre como el de mínima velocidad. Además, se identifica el año 2021 como el más irregular, por lo que se decide realizar el análisis de viento para este año.

Además de los datos satelitales de la NASA y el IDEAM, se instalará una estación meteorológica en la universidad para realizar mediciones y verificar la velocidad del viento con un anemómetro de rotación, así como la dirección del viento con una veleta. Se observa que la velocidad del viento es baja durante la noche y aumenta gradualmente después del amanecer, alcanzando su punto máximo entre las 12 y las 16 horas solares.

La figura 6.9 muestra la rosa de vientos definida por los parámetros esenciales del viento, que son la velocidad y la dirección. Este diagrama permite visualizar los patrones de frecuencia de ocurrencia. En la sección verde se encuentran las velocidades inferiores a 4 m/s, en la amarilla las velocidades moderadas entre 4 m/s y en la roja las magnitudes superiores a 7 m/s.

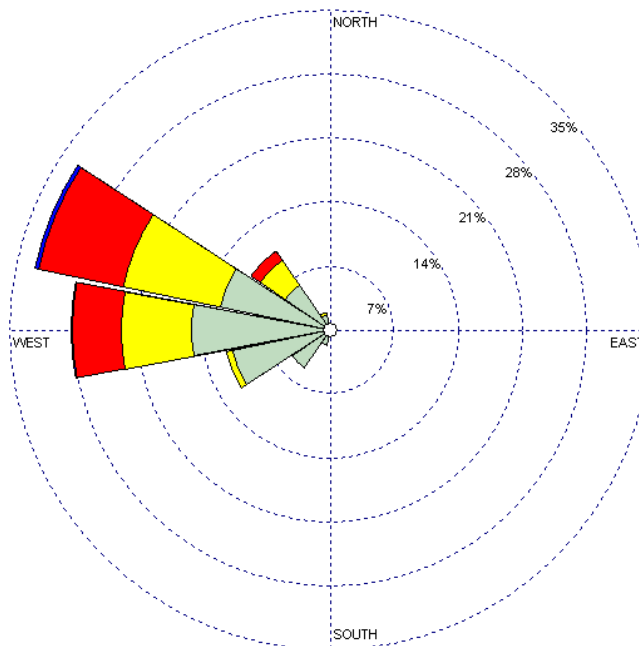


Figura 6.9. Rosa de los vientos

En la figura 6.10 y 6.11 se resumen los datos a partir del programa **WR PLOT** con la distribución de frecuencias del viento anual y la rosa de vientos en vista satelital. Se observa una constante del 60 % con una velocidad menor de 4 m/s, y otro porcentaje de 40 % con una velocidad mayor a 4 m/s.

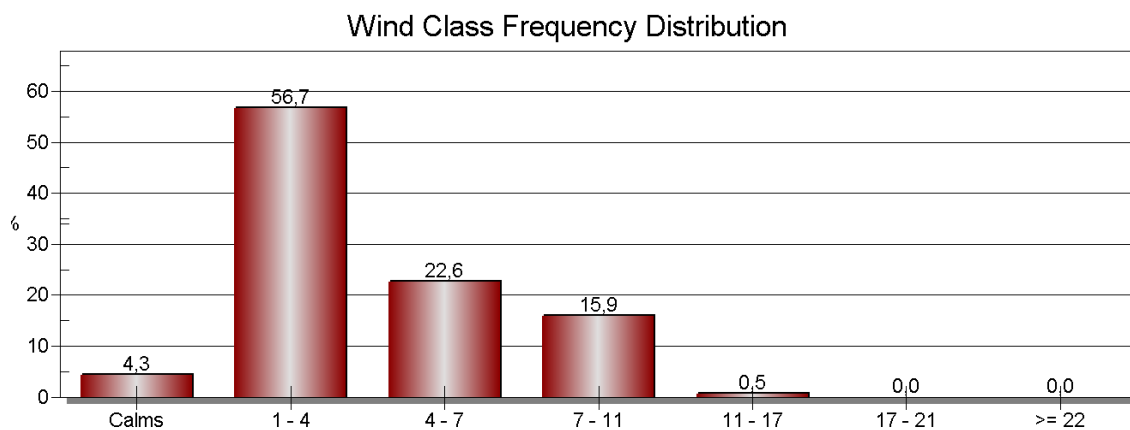


Figura 6.10. Distribución de frecuencia de vientos

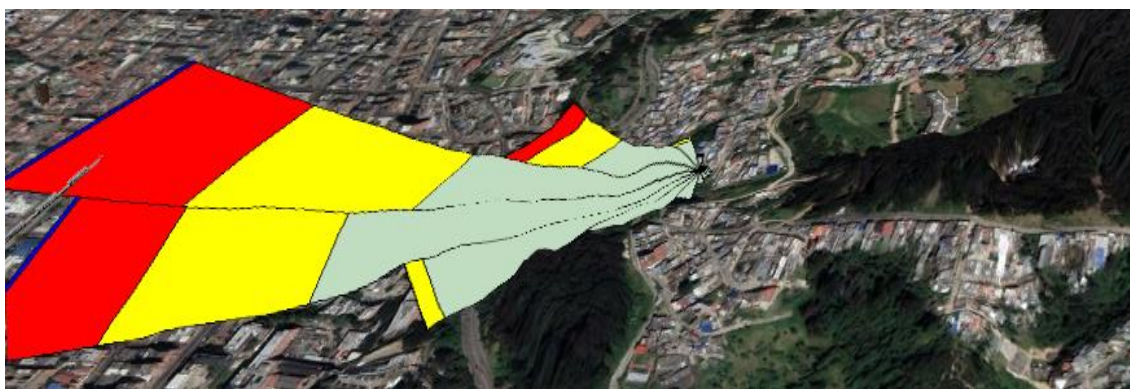


Figura 6.11. Rosa de vientos en Google Earth.

6.1.5.3. Cálculo perfil de elevación.

El perfil de elevación proporciona la altitud del punto de referencia sobre el nivel del mar y nos facilita el cálculo de la densidad del sitio. Esta medida es crucial para determinar el potencial eólico. En la figura 6.12 se muestra que el perfil de elevación de la zona varía entre 2572 y 3304 metros sobre el nivel del mar.

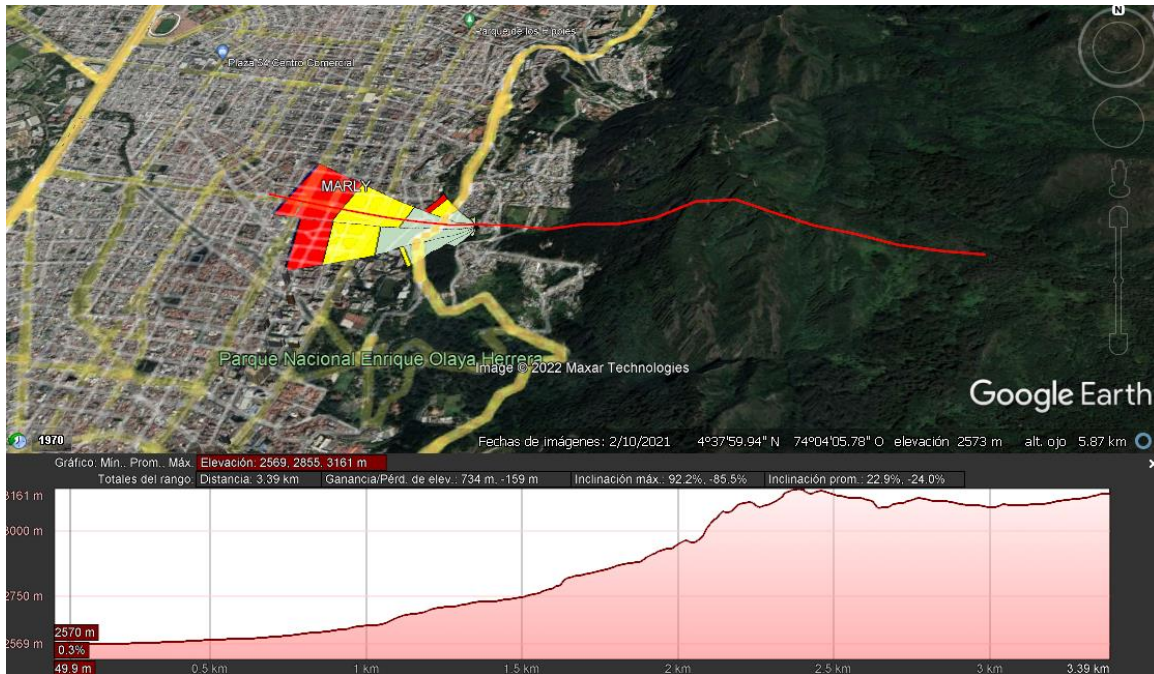


Figura 6.12. Perfil elevación de zona.

Se emplea el promedio de la elevación proporcionada por Google Maps para calcular, utilizando la ecuación 1, la densidad del sitio. En este caso, se toma una altitud de 2855 metros sobre el nivel del mar y se asume una temperatura promedio de 18°C para la ciudad capital de Colombia. Al sustituir estos valores en la ecuación 5.3, se obtiene el siguiente resultado:

$$\rho_{Lugar} = 0,86 \frac{Km}{m^3} \quad (6.7)$$

6.1.5.4. Análisis estadístico de Weibull con los datos de la NASA.

Se extraen los datos de velocidad y dirección del viento, así como de la precipitación, del mapa de la NASA utilizando las coordenadas latitud 4,63 N y longitud -74,06 W a una velocidad del viento a 10 m. Estos datos se descargan en formato CSV, abarcando el período desde el 1 de enero de 2015 hasta el 31 de diciembre de 2021.

Posteriormente, se realiza un análisis de la velocidad media del viento y se selecciona el año 2021 como punto de partida para la investigación. Luego, se calcula el promedio mensual de la velocidad del viento para este año, como se ilustra en la siguiente imagen. Además, se determinan los demás parámetros necesarios para obtener la distribución de Weibull.

	i	Vel _i	V-δ	Rango Mediana	Distr Normal	Aprox. Mediana Bernard	Programa		X=Ln(V-δ)	Y=Ln(-Ln(1-F(V-δ)))
Enero	1	2.12	2.12	5.613%	6.860%	5.65%	29.13%	764.42	0.7530	-2.85
Febrero	2	1.84	1.84	13.598%	7.599%	13.71%	82.01%	710.12	0.6116	-1.92
Marzo	3	1.79	1.79	21.669%	8.398%	21.77%	60.15%	657.83	0.5798	-1.41
Abril	4	2.21	2.21	29.758%	9.258%	29.84%	82.01%	607.53	0.7952	-1.04
Mayo	5	2.34	2.34	37.853%	10.181%	37.90%	60.15%	559.23	0.8504	-0.74
Junio	6	2.38	2.38	45.951%	11.170%	45.97%	53.80%	512.94	0.8686	-0.49
Julio	7	2.91	2.91	54.049%	12.226%	54.03%	82.01%	468.64	1.0676	-0.25
Agosto	8	2.41	2.41	62.147%	13.350%	62.10%	60.15%	426.35	0.8793	-0.03
Septiembre	9	2.31	2.31	70.242%	14.543%	70.16%	86.08%	386.05	0.8374	0.19
Octubre	10	2.01	2.01	78.331%	15.805%	78.23%	4.83%	347.75	0.6957	0.42
Noviembre	11	1.87	1.87	86.402%	17.138%	86.29%	82.01%	311.46	0.6254	0.69
Diciembre	12	1.76	1.76	94.387%	18.540%	94.35%	29.13%	277.16	0.5637	1.06

Figura 6.13. Datos del viento obtenidos del portal de la NASA.

El factor de forma y el factor de escala se determinan a partir de la aproximación de la ecuación de la recta. Los datos mensuales de velocidad del viento se obtienen de la figura 6.13, siendo aproximados y luego linealizados como se observa en la figura 6.14. La pendiente de la recta es de 7,78 y el intercepto es de -6,46.

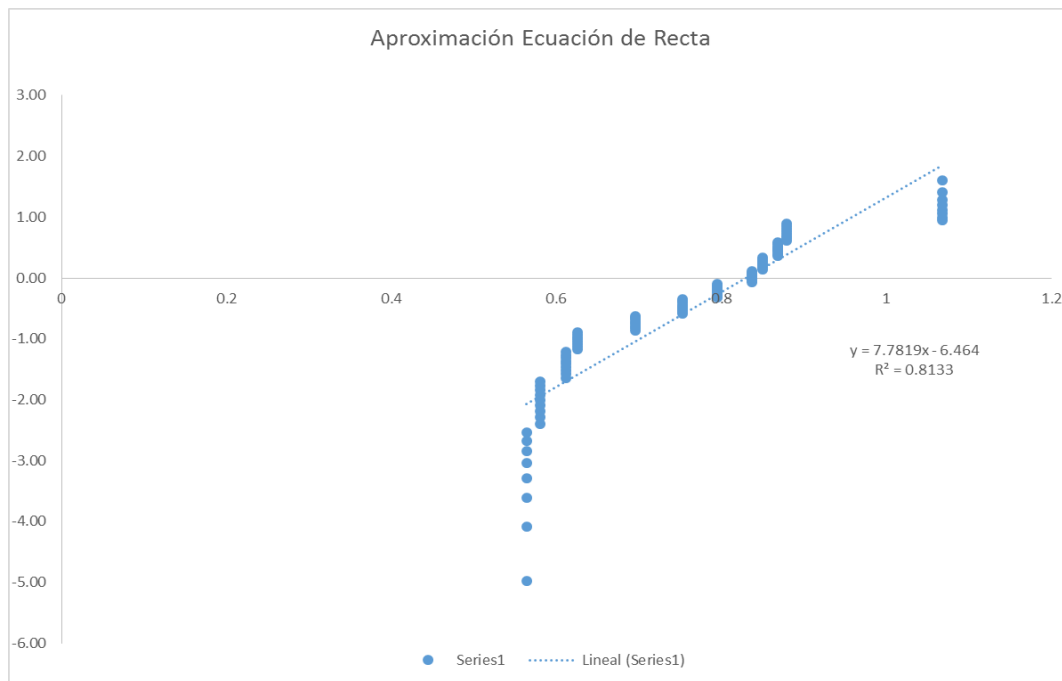


Figura 6.14. Aproximación a una recta.

En la figura 6.15 se representa gráficamente la densidad de probabilidad de Weibull junto con su frecuencia correspondiente. Se nota que la mayoría de los datos se concentran entre 1,5 m/s y 3 m/s.

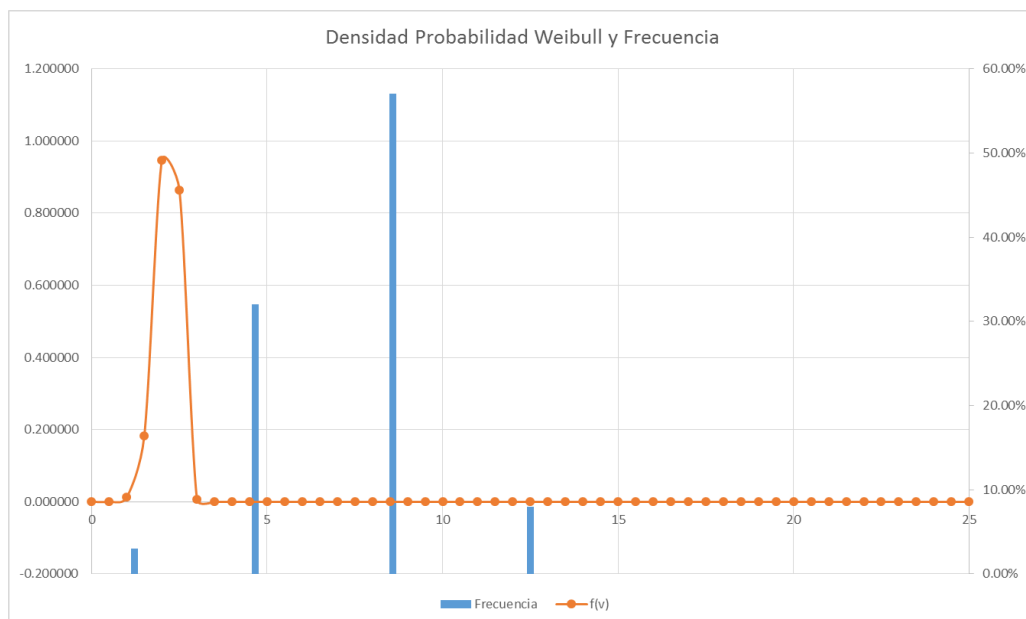


Figura 6.15. Densidad probabilidad de Weibull y frecuencia de datos de la NASA.

Finalmente, en la figura 6.16 se obtienen los valores correspondientes de la distribución de Weibull aplicados a los datos de la NASA:

Parámetros	
k	7.78
Intercepto	-6.44
c	2.43
R2	0.81

Figura 6.16. Parámetros de la probabilidad de Weibull.

6.1.5.5. Análisis estadístico de Weibull con los datos de IDEAM.

Obtener los datos del IDEAM presentó cierta dificultad, ya que no se lograron obtener los datos exactos de las coordenadas de la Universidad Santo Tomás. Sin embargo, se encontraron registros de una estación cercana a las inmediaciones de la institución educativa. Por lo tanto, se solicitó información con las siguientes especificaciones: desde el 1 de enero de 2015 hasta el 31 de diciembre de 2021, descargando en formato CSV todos los datos relacionados con la velocidad del viento a 10 m, la dirección del viento a 10 m y la precipitación del lugar.

Posteriormente, se analizó la velocidad media del viento y se seleccionó el año 2021 como base de estudio para la investigación, como se detalla en el capítulo anterior. Se llevó a cabo un promedio mensual de velocidad del viento de este año, además de calcular los demás parámetros necesarios para determinar la distribución de Weibull.

	i	Vel	V-5	Rango Mediana	Distr Normal	Aprox. Mediana Bernard	Programa		X=Ln(V-5)	Y=Ln(-Ln(1-F(V-5)))
Enero	1	2.39	2.39	5.613%	38.590%	5.65%	29.13%	29.09	0.8717	-2.85
Febrero	2	1.82	1.82	13.598%	40.662%	13.71%	82.01%	19.30	0.6003	-1.92
Marzo	3	1.92	1.92	21.669%	42.761%	21.77%	60.15%	11.51	0.6536	-1.41
Abril	4	1.67	1.67	29.758%	44.880%	29.84%	82.01%	5.73	0.5124	-1.04
Mayo	5	1.88	1.88	37.853%	47.014%	37.90%	60.15%	1.94	0.6330	-0.74
Junio	6	2.37	2.37	45.951%	49.157%	45.97%	53.80%	0.15	0.8622	-0.49
Julio	7	2.38	2.38	54.049%	51.302%	54.03%	82.01%	0.37	0.8690	-0.25
Agosto	8	2.41	2.41	62.147%	53.443%	62.10%	60.15%	2.58	0.8795	-0.03
Septiembre	9	1.93	1.93	70.242%	55.574%	70.16%	86.08%	6.80	0.6584	0.19
Octubre	10	1.82	1.82	78.331%	57.690%	78.23%	4.83%	13.01	0.6007	0.42
Noviembre	11	1.55	1.55	86.402%	59.783%	86.29%	82.01%	21.22	0.4398	0.69
Diciembre	12	1.94	1.94	94.387%	61.849%	94.35%	29.13%	31.44	0.6641	1.06

Figura 6.17. Datos de la IDEAM.

Los valores del factor de forma y de escala se determinan mediante la aproximación de la ecuación de la recta. Los datos mensuales de velocidad del viento de la imagen 6.17 se aproximan y se linealizan como se presenta en la figura 6.18, con una pendiente de 7,81 y un intercepto de -5,89.

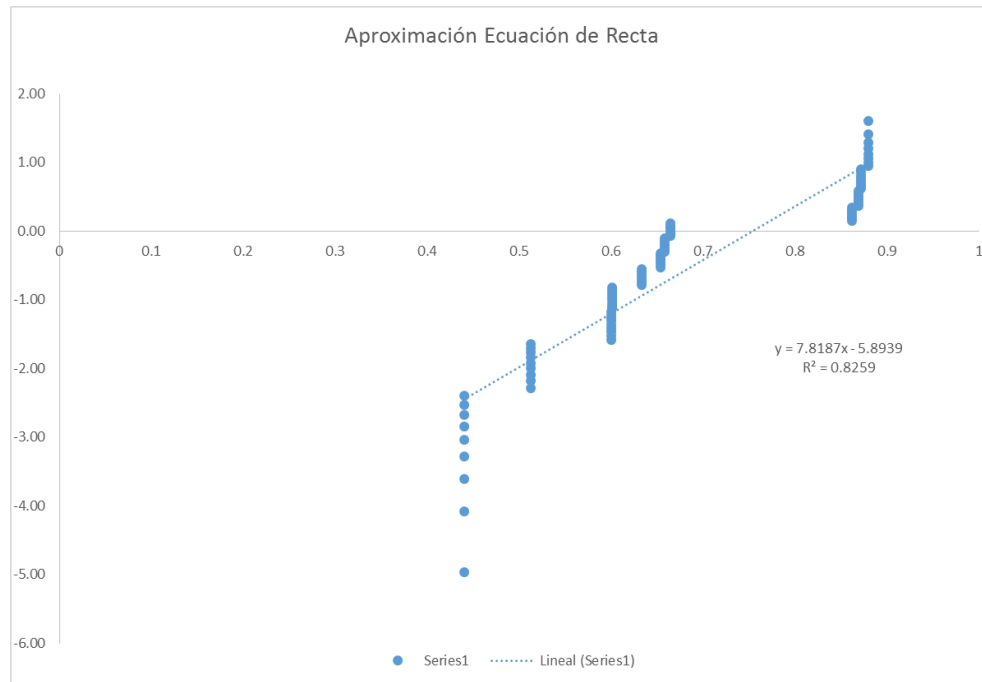


Figura 6.18. Aproximación a una recta de los datos del IDEAM

En la Figura 6.19 se representa la densidad de probabilidad de Weibull junto con su respectiva frecuencia. Se destaca que la mayor concentración de datos se encuentra en el rango de 1,5 m/s a 3 m/s.

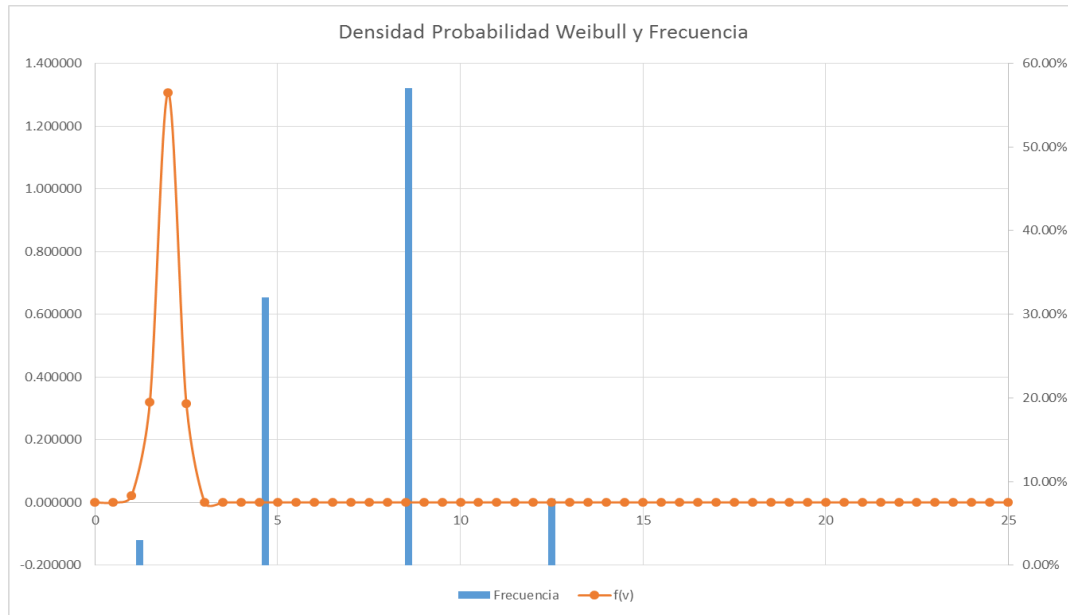


Figura 6.19. Densidad probabilidad de Weibull y frecuencia de datos del IDEAM.

Finalmente, en la imagen 6.20 se obtienen los valores correspondientes de la distribución de Weibull aplicados a los datos de la NASA:

Parámetros	
k	7.81
Intercepto	-5.89
c	2.24
R2	0.83

Figura 6.20. Parámetros de la probabilidad de Weibull

6.2. Arquitectura y especificaciones del producto

A continuación, se detallan los cálculos realizados para el desarrollo de la rueda eléctrica y la electrolinera, junto con los diseños a nivel de sistema.

6.2.1. Cálculos mecánicos de la rueda eléctrica.

Se efectúa una evaluación integral de las fuerzas que inciden sobre la rueda de la bicicleta. Los análisis de tensiones y deformaciones desempeñan un papel crucial en el diseño mecánico, al prever el comportamiento de la estructura y los materiales ante distintos tipos de cargas. La siguiente figura ilustra una visión general de las fuerzas que afectan la rueda de la bicicleta:

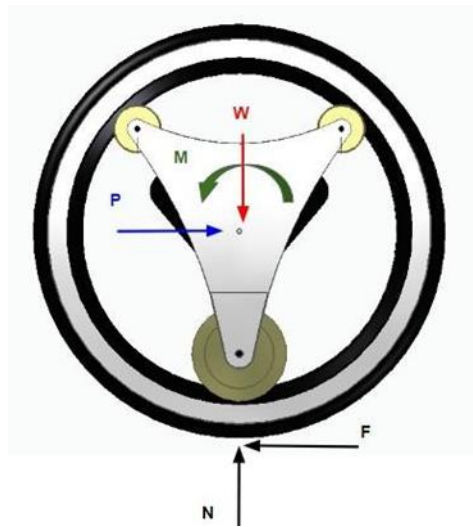


Figura 6.21. Diagrama cuerpo libre de la rueda eléctrica.

De lo anterior se conoce el valor de W , que es igual a:

$$W = m * a \quad (6.8)$$

Donde m es la masa que supondrá la suma de 90 Kg y 10 Kg y a es la aceleración que es de $9,81 \text{ m/s}^2$, el valor de la fuerza es:

$$4 \text{ Celdas} = 100 \text{ kg} * 9,81 \text{ ms}^2 \quad (6.9)$$

$$W = 981 \text{ N} \quad (6.10)$$

Por otro lado, se sabe que F es la fuerza de rozamiento que viene definida por la siguiente expresión:

$$F_r = \mu * N \quad (6.11)$$

Para el coeficiente de fricción se asumirá un valor para cuando es estático (μ_K) igual a 0,25 y un valor para cuando es dinámico (μ_s) igual a 0,3.

6.2.2. Cálculos eléctricos de la rueda eléctrica.

El caso en específico se tiene previsto implementar un arreglo de baterías litio por las características mencionadas, el arreglo de baterías para un motor Brushless de 350W este tipo de motor funciona a una tensión de 36V, y según lo analizado se necesita un corriente de 10A para el correcto funcionamiento de el diseño.

Se planea configurar un arreglo de baterías con celdas individuales que tienen un voltaje de 3,6V y una capacidad de 2500mAh. Teniendo en cuenta los valores de voltaje y corriente de cada celda, se proceden a realizar los siguientes cálculos. Para formar el arreglo de baterías, primero se busca alcanzar el voltaje requerido, en este caso, 36V. Para lograrlo, se aplica la siguiente ecuación:

$$10 \text{ Celdas} = \frac{36V}{3,6V} \quad (6.12)$$

Después de haber calculado el voltaje del arreglo de baterías, lo siguiente es calcular las celdas necesarias para obtener las corrientes requeridas.

Corrientes de la celda

$$4 \text{ Celdas} = \frac{10Ah}{2500mAh} \quad (6.13)$$

Al obtener los cálculos tanto del voltaje como de corriente se puede formar el arreglo de baterías, el nombre de este arreglo seria **10S4P**, en donde se tienen 10 celdas en serie y 4 en paralelo utilizando este tipo de baterías.

6.2.3. Cálculos mecánicos de la electrolinera.

Al calcular y dimensionar el rotor, es crucial conocer primero la velocidad del viento con la que se diseñará y se realizarán todos los cálculos. Para elegir esta velocidad de diseño del aerogenerador, se tendrán en cuenta los datos analizados mediante la distribución de probabilidad de Weibull en el capítulo 3. Se selecciona una velocidad promedio del viento de trabajo de 2,5 m/s a 10 m de altura en la Universidad Santo Tomás.

Esta velocidad de diseño se elige por ser intermedia entre la máxima y la mínima registradas. Aunque no ocurra con frecuencia, considerando la frecuencia de esta velocidad junto con las frecuencias de velocidades cercanas, se observa que el porcentaje de incidencia de tales vientos es considerablemente alto según el estudio de probabilidad de Weibull.

Usando la ecuación 5.10, se determina la potencia del viento que se busca aprovechar por unidad de área:

$$\frac{P_v}{A} = 7,42 \frac{W}{m^2}$$

De la ecuación anterior se obtiene la potencia por unidad de área del viento que se busca aprovechar, a partir de la cual se puede deducir el coeficiente Betz máximo, dependiendo del tipo de aerogenerador, como se indica en la siguiente ecuación despejada.

$$\frac{P_{aero}}{A} = C_p \times \frac{P_v}{A}$$

Remplazando por el valor del C_p correspondiente se obtiene:

$$\frac{P_{aero}}{A} = 4,4 \frac{W}{m^2}$$

Se realiza un proceso de cálculo considerando las pérdidas con un factor de 0,95 para ambos componentes, ya que es necesario tener en cuenta los rendimientos del generador eléctrico y del sistema de transmisión para obtener la potencia final por unidad de área barrida.

$$\frac{P_{elec}}{A} = n_e \times n_m \times \frac{P_{aero}}{A}$$

Remplazando:

$$\frac{P_{elec}}{A} = 3,97 \frac{W}{m^2}$$

Por consiguiente, basándonos en el cálculo previo de la máxima potencia extraíble del viento en la Universidad Santo Tomás por metro cuadrado de área efectiva barrida, se obtiene 3.97 W. Además, se asume un valor conservador de 24 horas como la duración diaria del viento. Por lo tanto, la energía máxima que se puede extraer por unidad de área será:

$$\frac{E_{m\acute{a}x}}{A} = t_o \times \frac{P_{elec}}{A}$$

Remplazando:

$$\frac{E_{m\acute{a}x}}{A} = 95,28 \frac{Wh}{m^2}$$

Por otro lado, la demanda de energía diaria en Wh según el estudio de consumo es de:

$$E_{requerida} = 300 Wh$$

Entonces igualando las dos ecuaciones anteriores se obtiene el área efectiva de barrido del rotor (A):

$$A = \frac{E_{requerida}}{E_{m\acute{a}x}}$$

Para los rotores tipo Savonius el área previamente obtenida es el área de barrido del rotor por lo que A es la ecuación 1.1.

$$A = 3,14 m^2$$

A continuación, en la figura 6.22 se presenta el CAD del perfil del aerogenerador.

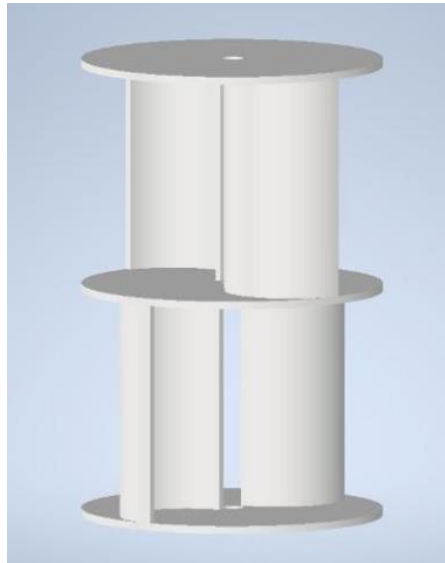


Figura 6.22. Modelo principal del rotor Savonius

La tabla 6.5 presenta una tabla de los principales parámetros constructivos con influencia directa en el funcionamiento del rotor de eje vertical Savonius.

Tabla 6.5. Parámetros de Construcción. Fuente: Autores.

<i>No</i>	<i>Parámetros de diseño rotor</i>	<i>Símbolo/relación</i>
1	Diámetro de rotor.	(D_r)
2	Altura rotor.	(D_r)
3	Área del rotor.	$A_r = (D_r)(H_r)$
4	Diámetro de la placa final.	(D_p)
5	Diámetro del eje.	(d_s)
6	Diámetro de la hoja.	(d_b)
7	Espacio entre cuchillas.	(b_g)
8	Relación de aspecto.	$a = \frac{H_r}{D_r}$
9	Relación de superposición.	$\beta = \frac{b_g}{d_s}$

Remplazando el área por las respectivas ecuaciones de la tabla 6.5, se obtienen los siguientes resultados para el aerogenerador de tipo Savonius:

$$H_r = 2,5 \text{ m}$$

$$D_p = 1,375 \text{ m}$$

$$D_r = 1,25 \text{ m}$$

$$d_b = 0,68 \text{ m}$$

$$b_g = 0,11 \text{ m}$$

Para el diseño del rotor tipo Darreius – H se realiza el mismo procedimiento que el diseño del rotor Savonius pero para potencia del viento se utiliza el coeficiente de potencia con un valor de $C_p = 0,32$ experimental obtenido de tablas y gráficos.

Para el rotor Darreius el área previamente obtenida es el área de barrido del rotor.

$$A = 4,97 \text{ m}^2$$

Por otro parte, también se considera que sea de 4 aspas el aerogenerador Darreius para tener un mayor coeficiente aerodinámico y que sean las aspas igual de largas al rotor Savonius. El perfil NASA a tener en cuenta para las aspas de este rotor fue el siguiente:

Se llevaron a cabo comprobaciones mediante un análisis de FlowSimulation en SolidWorks, en el cual se evaluó el comportamiento del perfil NACA 4412 bajo una velocidad de viento de 12 m/s, una presión atmosférica elevada y una temperatura de 18°C. Se examinaron aspectos como la distribución de presiones sobre el perfil, la velocidad del viento, la presión dinámica, la intensidad acústica y la distribución de temperatura.

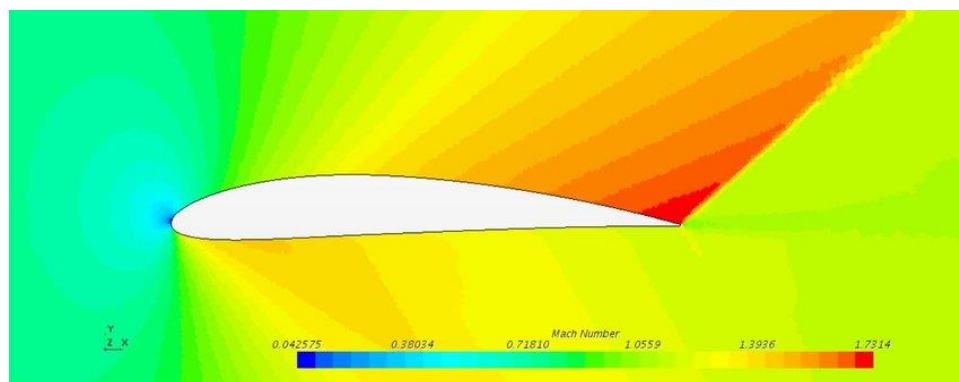


Figura 6.23. Perfil Nasa 4412

6.2.4. Caracterización de componentes de la electrolinera.

Una vez terminado el diseño mecánico de la electrolinera el siguiente paso es determinar y seleccionar los componentes electrónicos y eléctricos a utilizar teniendo en cuenta los cálculos anteriormente realizados.

- **Determinación de la tensión nominal del sistema**

Normalmente, al determinar la potencia de un sistema, se recurre a tensiones estándar como 12 V, 24 V, 48 V o 120 V. En este caso específico, se ha optado por una tensión nominal de 12V/24 V porque la potencia del aerogenerador es menor a 1,5 kW[63].

- **Generador eléctrico**

Para la selección del alternador se tuvo en consideración los cálculos mecánicos anteriormente realizados, a partir de la velocidad de viento y para cubrir la demanda del sistema eléctrico, es necesario que el mínimo de rpms sea de 1000 – y máximo 3500 rpm, y la potencia de 250 W mínimo a máximo 300 W. Otro dato importante es que el diseño del sistema eléctrico es de 12V. Para este caso en específico se buscó un alternador que suministrara una corriente máxima de 30A, con unas rpms superiores a 1500.

En la tabla 6.6 se detallan las especificaciones del alternador para la generación de energía eléctrica. De acuerdo con el sistema de transmisión, la velocidad de rotación máxima del alternador es de 2274 rpm, lo que resulta en una corriente máxima de 20A, una potencia máxima de salida de 300W, y una eficiencia del motor del 55%.

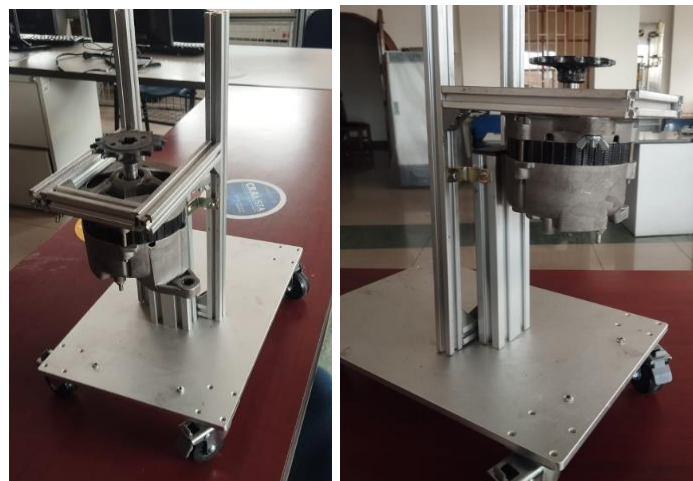


Figura 6.24. Generador eléctrico

Tabla 6.6. Especificaciones del generador eléctrico. Fuente: Autores.

Descripción	Valor
Potencia	300 W
Voltaje	12V
RPM	1500

- **Baterías**

Una vez definido el diseño del aerogenerador se procede a la selección de las baterías para el sistema de carga del aerogenerador, teniendo en cuenta que actualmente en el mercado existen diferentes tipos de baterías, se evalúan las propuestas de distintas baterías comerciales más utilizadas para el sistema de carga en un aerogenerador, como se muestra en la siguiente tabla de comparación.

Tabla 6.7. Tabla de comparación de baterías. Fuente: Autores.

TIPO DE BATERIAS	¿QUE SON?	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Baterías de plomo-ácido	Son las baterías más antiguas y ampliamente utilizadas. Tienen un diseño de celdas con placas de plomo sumergidas en ácido sulfúrico. Se utilizan en automóviles, sistemas de respaldo de energía, carros de golf, entre otros	➤ Bajo costo ➤ Pueden llegar a entregar una alta corriente.	➤ Peso elevado ➤ Ciclos de vida limitado ➤ Carga lenta
Baterías de iones de litio (Li-ion)	Son populares debido a su alta densidad de energía, peso ligero y bajo índice de autodescarga. Se utilizan en teléfonos móviles, Computadoras portátiles, vehículos eléctricos, drones y muchos otros dispositivos electrónicos.	➤ Tienen un mayor ciclo de vida. ➤ Mayor eficiencia energética	➤ Presentan un costo mas alto. ➤ Riesgo de inflación o daños. ➤ Necesitan sistema de disipación térmica.

Baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd)	Han sido ampliamente utilizadas en el pasado, pero su uso ha disminuido debido al contenido de cadmio, un metal tóxico. Aún se utilizan en algunas aplicaciones, como herramientas eléctricas y equipos médicos.	➤ Alta densidad de energía ➤ Son adaptables a cualquier tipo de espacio que se necesite.	➤ Son sensibles a daños por cargas y descargas inadecuadas. ➤ Cualquier daño físico generan un inflación en la baterías.
Baterías de níquel-metal hidruro (Ni-MH)	Son una alternativa más segura y respetuosa con el medio ambiente a las baterías de Ni-Cd. Tienen una mayor capacidad y se utilizan en híbridos enchufables, cámaras digitales y otros dispositivos electrónicos.	➤ Menor costo a comparación de las baterías	➤ No suelen muy eficientes.
Baterías de Polímero de litio (Li-Po)	Son similares a las baterías de iones de litio, pero tienen una forma y estructura más flexible y delgada. Se utilizan en dispositivos electrónicos portátiles, drones y vehículos eléctricos.	• Suelen ser baterías flexibles, lo cual ayuda hacer implementada en cualquier sistema. • Peso ligero	➤ No tienen una gran eficiencia. ➤ Sensibles a sobrecargas inesperadas.

Al haber realizado una comparación de los distintos tipos de baterías, teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas se selecciona una batería plomo-acido de marca Mteck (MT123000).



Figura 6.25. . Banco de baterías.

$$C_{nb} = 300 \text{ Ah}$$

$$C_{\max} C = 16 \text{ A}$$

$$C_{\max} D = 4 \text{ A}$$

Tabla 6.8. Especificaciones de la batería. Fuente: Autores.

Descripción	Valor
Capacidad	300Ah
Resistencia interna	3,5 ohm
Masa	73Kg
Voltaje	12V

- **Inversor**

Para la selección del inversor se consideró principalmente la potencia necesaria para el cargador de la rueda eléctrica, teniendo en cuenta este parámetro se selecciona un inversor el cual tiene una tensión de 12V y una salida máxima de 300W, el cual se muestra a continuación.



Figura 6.26. Inversor

A continuación, se presentan las especificaciones del inversor seleccionado para la generación de energía eléctrica. En la tabla siguiente se detallan las características específicas de este dispositivo:

Tabla 6.9. Especificaciones del Inversor. Fuente: Autores.

Especificaciones del Inversor	
Voltaje de entrada DC	12 V
Voltaje de salida AC	110 V
Potencia	300 W

6.3. Desarrollo del producto.

6.3.1. Análisis de esfuerzos

Se lleva a cabo un análisis de elementos finitos durante la fase de diseño de una rueda eléctrica para validar su diseño correspondiente. Este método computarizado sirve para prever la reacción de un objeto ante fuerzas, vibraciones, calor, flujo de fluidos y otros efectos físicos del mundo real. La simulación de elementos finitos permite verificar si la rueda eléctrica se romperá, desgastará o funcionará como se espera. En este proceso, se obtuvieron modelos geométricos 3D de la rueda eléctrica y se determinaron las fuerzas ejercidas, así como los momentos generados durante la fase de diseño del ciclo. Se establecieron las condiciones de contorno, los puntos de aplicación de fuerzas, momentos y apoyos fijos para el desarrollo de las simulaciones. Posteriormente, se llevaron a cabo las simulaciones durante la fase de diseño y se identificaron los posibles puntos de máximo esfuerzo según los resultados obtenidos con el programa FEI. El objetivo es realizar un análisis de esfuerzos mecánicos para el diseño de una rueda de bicicleta eléctrica de bajo costo y alta eficiencia energética, que permita convertir bicicletas estándar en bicicletas asistidas eléctricamente. Este estudio se basará en las respectivas simulaciones por elementos finitos. Se presentarán las ecuaciones de análisis mecánico, así como las simulaciones de rendimiento de elementos finitos realizadas en el programa ANSYS.

Se presenta el método de análisis finito, esta técnica se basa en dividir el cuerpo de la estructura en una serie de subdominios no vinculados entre sí denominados «elementos finitos». A esta serie de puntos representativos se les llama «nodos», y al conjunto de nodos considerando sus uniones se les llama "malla".

Los cálculos de ANSYS se realizan sobre una malla de programa para calcular un conjunto de variables desconocidas en cada nodo, el número de ecuaciones de dicho sistema de estudio será el mismo número de nodos. A continuación, se realiza el análisis de las piezas diseñadas, teniendo en cuenta sus principales características, ya que cada pieza debe ser sometida a varias pruebas de esfuerzo, por otro lado, se debe tener en cuenta el material a utilizar e implementar.

- **Propiedades del modelo**

Se diseña una pieza que es el cuerpo central de la rueda, el análisis estático de este componente es muy importante porque es el que recibe el peso, además de que su centro de gravedad está en él.



Figura 6.27. Modelo CAD.

Las propiedades volumétricas de este modelo son:

Tabla 6.10. Descripción de Modelo. Fuente: Autores.

Descripción	Valor
Masa	0,77364 Kg
Volumen	0,000286534 m ³
Densidad	2,700 Kg/m ³
Peso	7,58168 N

La pieza de estudio presenta propiedades adecuadas para un análisis dinámico debido a su geometría liviana, atribuida al material utilizado en su diseño, que es acero 1060. Los aceros de grado 1060 son aceros estructurales de uso general en ingeniería, reconocidos por su alta resistencia al desgaste. Estos aceros se fabrican conforme a normativas como ASTM A510/A510M, ASTM A713/A713M, SAE J403 y otros documentos reglamentarios. En ingeniería mecánica, el acero 1060 se emplea comúnmente en componentes automotrices que requieren una alta resistencia al desgaste, como ejes, semiejes, pistones, engranajes, discos de embrague, así como en ruedas sólidas de ferrocarril.

- **Propiedades del material.**

El material utilizado para el análisis de elementos finitos de la pieza es aleación 1060, con un modelo tipo isotrópico elástico lineal y un criterio de error por defecto de tensión máxima de von Mises. Las propiedades que presenta son las siguientes:

Tabla 6.11. Descripción de material. Fuente: Autores.

Descripción	Valor
Límite de elasticidad	$2,75742 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
Límite de tensión	$6,8935 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
Módulo de elasticidad	$6,9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
Radio de Poisson	0,33
Densidad	$2,700 \text{ Kg/m}^3$
Módulo de cortante	$2,7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
Coefficiente de expansión térmica	$2,4 \times 10^{-5} \text{ /Kelvin}$

Para entender el comportamiento de este material en el diseño de la pieza mecánica, es importante conocer las propiedades del material. El límite elástico o límite elástico es el esfuerzo máximo que un material elastoplástico puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes. Si se aplican esfuerzos superiores a este límite, el material sufre un comportamiento plástico con deformaciones permanentes y no recupera espontáneamente su forma original al retirar las cargas. En general, un material sometido a esfuerzos por debajo de su límite elástico se deforma temporalmente de acuerdo con la ley de Hooke. Si bien la tensión última en la tensión máxima es cuando un material puede soportar la tensión antes de que su sección transversal se contraiga significativamente, la tensión última generalmente se obtiene realizando una prueba de tracción y registrando la tensión en función de la deformación (o elongación); el punto más alto de la curva tensión-deformación es la tensión última.

El módulo de elasticidad, también conocido como módulo de Young, es un parámetro intrínseco de cada material que indica la relación, dentro del rango elástico del material, entre los incrementos de tensión aplicados en un ensayo de tracción y los incrementos de deformación longitudinal resultantes por unidad de longitud. La relación de Poisson es una constante elástica que proporciona una medida de la contracción transversal de un prisma de material elástico lineal e isotrópico cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza en direcciones perpendiculares al estiramiento. Por otro lado, el coeficiente lineal de expansión térmica (CLTE) describe cómo cambia la longitud de un material en función de la

temperatura. Se define como la pendiente de una secante trazada entre dos puntos en la curva de expansión térmica.

Relación de la tensión máxima en la fibra con la deformación máxima, dentro del límite elástico del diagrama carga-deformación obtenido en un ensayo de flexión. El módulo de flexión es una medida de la rigidez del material durante la etapa inicial del proceso de flexión, aunque en realidad debería llamarse "módulo de elasticidad a la flexión". Es importante entender cada propiedad del material, ya que a partir de estas propiedades definirán el análisis de tensiones por elementos finitos de la pieza a analizar.

- **Cargas y fijaciones**

La resistencia de un material se refiere a su capacidad para resistir una carga aplicada sin experimentar falla o deformación plástica. La resistencia de materiales implica considerar la relación entre las cargas externas aplicadas a un material y la deformación resultante o cambio en sus dimensiones. Al diseñar estructuras y máquinas, es esencial tener en cuenta estos factores para garantizar que el material seleccionado tenga la resistencia adecuada para soportar las cargas o fuerzas aplicadas y mantener su forma original. En resumen, la resistencia de un material se define por su capacidad para soportar una carga aplicada sin fallar o deformarse plásticamente.

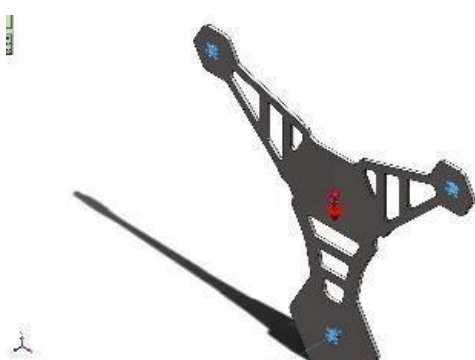
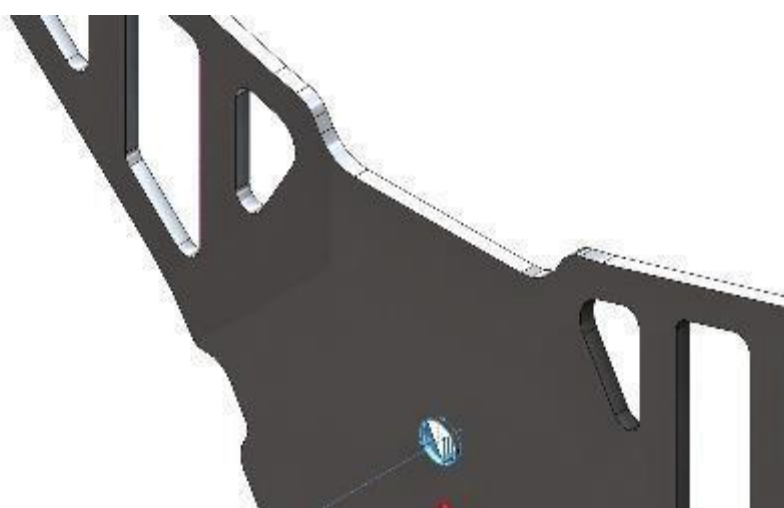
Tabla 6.12. Especificaciones Cargas y fijaciones. Fuente: Autores.

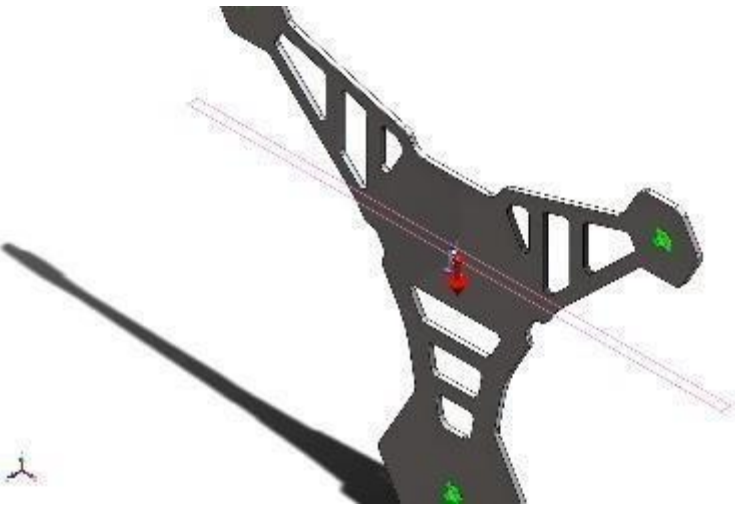
Componente	Fuerza de reacción (N)	Momento de reacción (Nm)
X	$7,86781 \times 10^{-0.6}$	0
Y	507,589	0
Z	$5,72205 \times 10^{-0.6}$	0
Resultante	507,589	0

Las fuerzas de reacción en la pieza para cada eje son diferentes, tanto en X como en Z son casi nulas, esto se debe a que la dirección de carga del peso está orientada hacia abajo del eje Y, también se observa que no hay momentos de reacción. generada ya que no hay fuerzas perpendiculares desplazadas que produzcan esfuerzos en el miembro.

A continuación, se muestran los modelos de simulación para el análisis de elementos finitos en la pieza central de la rueda eléctrica:

Tabla 6.13. Especificaciones del chasis. Fuente: Autores.

<i>Abrazadera fija</i> 	Entities: 3 face(s) Type: Fixed Geometry
<i>Fuerza</i> 	Entities: 1 face(s) Reference: Edge< 1 > Type: Apply Force Values: 500 Units: N

Gravedad 	Reference: Plant Values: 0–9,81 Units: ms²/
--	--

- **Información de la malla**

El objetivo principal de una malla de elementos finitos es aproximar la geometría adecuada del cuerpo que se está modelando, representando todas las características de la geometría de la parte significativa de la solución. El preprocesador FEM utiliza un eficiente generador automático de mallas de elementos finitos, que permite al usuario controlar varios modos de generación de mallas para obtener mallas de la calidad deseada en diferentes modelos. En el análisis FEM, los elementos finitos tetraédricos volumétricos y los elementos finitos triangulares de superficie se utilizan en mallas de elementos finitos que, en teoría, permiten la aproximación con la precisión requerida. Sin embargo, existen varias recomendaciones preliminares sobre la adecuación de los modelos de cálculo con elementos finitos.

Tabla 6.14. Detallado. Fuente: Autores.

Descripción	Valor
Tipo de la malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos de alta calidad	16 puntos
Tamaño máximo de elemento	10,7339 mm
Tamaño mínimo de elemento	3,06682 mm
Calidad de la malla	Elementos cuadráticos de alto orden

La calidad de una solución en el modelado de elementos finitos puede verse influenciada por la forma de los elementos. Los mejores resultados se obtienen cuando los elementos

(tetraedros y triángulos) que constituyen la malla del modelo son lo más cercanos posibles a formas equiláteras. Esto es especialmente crítico en el caso de los elementos tetraédricos. Por el contrario, si la malla del modelo contiene elementos con bordes de tamaños muy variables, es probable que la precisión de los resultados del modelado se vea comprometida. En tales situaciones, es recomendable minimizar la cantidad de estos elementos problemáticos utilizando las opciones disponibles en el generador de mallas de elementos finitos.

- **Fuerzas de reacción**

Una fuerza de reacción es una fuerza que actúa en dirección opuesta a una fuerza de acción. La fricción es la fuerza de reacción resultante de la interacción de la superficie y la adherencia durante el deslizamiento. Las fuerzas de reacción y el momento de reacción suelen ser el resultado de las acciones de las fuerzas aplicadas.

Cuando las fuerzas de reacción exceden las fuerzas de acción, puede ocurrir la falla de la estructura, lo que lleva a fracturas y corrosión.

Tabla 6.15. Descripción de las Fuerzas. Fuente: Autores.

Componente	Fuerza de reacción (N)
X	$7,86781 \times 10^{-0,6}$
Y	507,589
Z	$5,72205 \times 10^{-0,6}$
Resultante	507,589

Las fuerzas de reacción en la pieza para cada eje son diferentes, tanto en X como en Z son casi nulas, esto se debe a que la dirección de carga del peso está orientada hacia abajo del eje Y, también se observa que no hay momentos de reacción. generada ya que no hay fuerzas perpendiculares desplazadas que produzcan esfuerzos en el miembro.

- **Momentos de reacción**

Cuando un cuerpo está sometido a un sistema de fuerzas, que la resultante de todas las fuerzas y el momento resultante son cero, entonces el cuerpo está en equilibrio. Esto, físicamente, significa que el cuerpo, a menos que tenga un movimiento rectilíneo uniforme, no se trasladará ni rotará bajo la acción de ese sistema de fuerzas.

Las posibilidades de movimiento que tiene un cuerpo, o los grados de libertad, son seis: tres de traslación, en las direcciones x, y, z, y tres de rotación, alrededor de los mismos ejes. Como en general los cuerpos que son objeto de estudio en ingeniería se encuentran unidos, apoyados, en contacto unos con otros, las posibilidades de movimiento en traslación y rotación son menores, es decir, los grados de libertad disminuyen. Es, entonces, importante saber qué tipo de restricción ofrecen los apoyos, uniones o contactos que tiene el cuerpo bajo

análisis. Las restricciones a las que está sometido un cuerpo se manifiestan físicamente por fuerzas o pares (momentos) que impiden la traslación o la rotación respectivamente y se conocen como reacciones.

Tabla 6.16. Descripción del Momento. Fuente: Autores.

Componente	Momento de reacción (Nm)
X	0
Y	0
Z	0
Resultante	0

Las fuerzas de reacción en la pieza para cada eje son diferentes, tanto en X como en Z son casi nulas, esto se debe a que la dirección de carga del peso está orientada hacia abajo del eje Y, también se observa que no hay momentos de reacción. generada ya que no hay fuerzas perpendiculares desplazadas que produzcan esfuerzos en el miembro.

- **Fuerzas de cuerpo libre**

El diagrama de cuerpo libre es una representación gráfica comúnmente utilizada por físicos e ingenieros para analizar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo libre. Se considera un caso elemental particular de un diagrama de fuerzas. Aunque en español se suele emplear la expresión "diagrama de fuerzas" como sinónimo de "diagrama de cuerpo libre", lo más preciso sería referirse a él como "diagrama de fuerzas sobre cuerpo libre" o "diagrama de fuerzas de sistema aislado". Estos diagramas son una herramienta esencial para identificar las fuerzas desconocidas presentes en las ecuaciones de movimiento del cuerpo, facilitando así la resolución de problemas. Además, son útiles para el análisis de las fuerzas internas que actúan sobre estructuras.

Tabla 6.17. Descripción Fuerza de reacción. Fuente: Autores.

Componente	Fuerza de reacción (N)
X	$7,591 \times 10^{-0,6}$
Y	4,833
Z	$4,904 \times 10^{-0,6}$
Resultante	4,833

Para el diagrama de cuerpo libre, las fuerzas de reacción en la pieza para cada eje son diferentes, tanto en X como en Z son casi cero, esto se debe a que la dirección de la carga del peso está orientada hacia el eje Y.

- **Momentos de cuerpo libre**

El diagrama de cuerpo libre es la representación gráfica utilizada para Un diagrama de cuerpo libre es una herramienta utilizada para resolver problemas de ingeniería mecánica. Como sugiere el nombre, el propósito del diagrama es "liberar" el cuerpo de todos los demás objetos y superficies a su alrededor para que pueda estudiarse de forma aislada. También atraeremos cualquier fuerza o momento que actúe sobre el cuerpo, incluidas aquellas fuerzas y momentos ejercidos por los cuerpos y superficies circundantes que eliminamos.

Tabla 6.18. Resultante Momento reaccion. Fuente: Autores.

Componente	Momentos de reacción (Nm)
X	0
Y	0
Z	0
Resultante	$1 \times 10^{-33} \text{ Nm}$

Se observa que para el diagrama de cuerpo libre no existen momentos de reacción para ningún eje y esto se debe a que no existen fuerzas perpendiculares desplazadas que produzcan esfuerzos en la pieza.

Análisis de estático de esfuerzos

- **Análisis estático de esfuerzo por Von Mises**

Los análisis de tensión estática son uno de los tipos más comunes de análisis estructural de elementos finitos. El componente o conjunto se somete a una serie de condiciones de carga y los resultados que surgen de la tensión, la deformación y el estiramiento se analizan para determinar la probabilidad de que ocurra una falla de diseño. El estrés de Von Mises es una cantidad física proporcional a la energía de distorsión. En Ingeniería Estructural se utiliza en el contexto de Teorías de Falla como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles.

La energía de Von Mises se puede calcular fácilmente a partir de las tensiones principales del tensor de tensión en un punto de un sólido deformable.



Figura 6.28. Análisis estático por Von Mises

Tabla 6.19. Descripción Momento Min y Max. Fuente: Autores.

Min	Max
5.002,100 N/m ²	10.206.144.000 N/m ²
Node: 844	Node: 1111

Con base en las teorías de falla de Von Mises, se puede observar que el material dúctil que utilizamos y la geometría del diseño es ideal porque soportará los esfuerzos a los que serán sometidos para el valor mínimo y máximo, incluso las partes geométricas con mayor resistencia crítica.

- **Análisis estático de desplazamientos por desplazamientos resultantes**

La teoría lineal dice que debemos suponer pequeños desplazamientos y que las áreas normales a las áreas de contacto no cambian de dirección durante la carga; Por lo tanto, la carga completa se aplica en un solo paso, sin embargo, esto puede conducir a resultados inexactos.

La solución de pequeño desplazamiento supone que la rigidez no cambia durante la carga, a diferencia de una solución de gran desplazamiento que supone que la rigidez cambia durante la carga, por lo que la carga se aplicará paso a paso y la rigidez se actualizará para cada paso de la solución.

La solución de desplazamiento grande requiere un poco más de tiempo y recursos que la solución de desplazamiento pequeño, pero ofrece resultados más precisos. Esta solución es

necesaria cuando la deformación adquirida altera significativamente la rigidez, es decir, la capacidad de la estructura para resistir cargas.

Cuando se activa la opción de grandes desplazamientos, el estudio estático se resuelve como una carga escalonada y se irá actualizando la geometría en cada paso. Cabe señalar que la solución de gran desplazamiento no funciona con soldaduras por puntos y conectores de apoyo, así como con mallas de vigas o mallas mixtas que incluyen vigas, cargas de masa remotas y opciones para calcular fuerzas de cuerpo libre en el diálogo estático.

El análisis de grandes desplazamientos en estructuras de láminas permite discretizar desplazamientos y rotaciones arbitrariamente grandes en una estructura mediante el uso de elementos de láminas. Se ha utilizado el enfoque corrotacional.

Un solo elemento puede estar sujeto a desplazamientos y rotaciones arbitrariamente grandes como un cuerpo rígido, pero la verdadera deformación (deformación que finalmente genera tensiones) es pequeña dentro de un elemento. Las relaciones geométricas interiores de los elementos siguen siendo lineales. La no linealidad geométrica se trata a nivel de estructura.

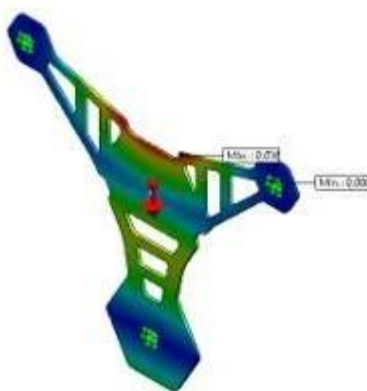


Figura 6.29. Análisis estático por desplazamientos resultantes

Tabla 6.20. Descripción de esfuerzo Mínimo y Máximo. Fuente: Autores.

Min	Max
0,000 mm	0,036 mm
Node: 960	Node: 4092

Con base en teorías de desplazamiento, se puede apreciar que el material dúctil que utilizamos y la geometría del diseño es ideal porque soportará los esfuerzos de desplazamiento a los que serán sometidos, incluso piezas con geometrías más críticas.

- **Análisis estático de desplazamiento por deformación unitaria**

Deformación como el cambio de longitud por unidad de longitud (deformación normal) o como el cambio de ángulo entre dos líneas en materiales que inicialmente eran perpendiculares entre sí (deformación de corte).

La deformación unitaria normal es una cantidad adimensional, ya que es un cociente entre longitudes, sin embargo, se acostumbra, como práctica común, utilizar una relación entre unidades de longitud (micrómetro/metro, m/m), en el caso de deformación unitaria agudo, se mide en grados o radianes.

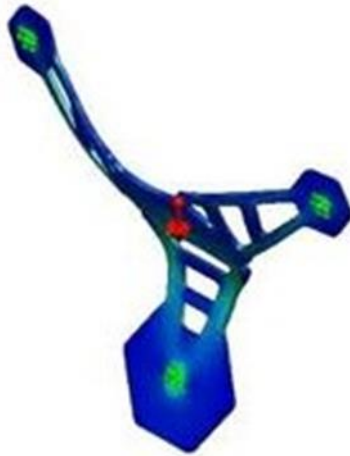


Figura 6.30. Análisis estático de desplazamiento por deformación unitaria

Tabla 6.21. Especificaciones Análisis estático. Fuente: Autores.

Min	Max
$6,464 \times 10^{-8} \text{ N}$	$1,060 \times 10^{-4} \text{ N}$
Node: 4328	Node: 5723

De las teorías de los desplazamientos por deformación se observa que el material dúctil que utilizamos y la geometría del diseño es la idónea porque soportará los esfuerzos de desplazamiento a los que estarán sometidas, incluso las piezas con geometrías más críticas.

- **Análisis estático por factor de seguridad**

Todos los diseños mecánicos están conceptualizados para que trabajen dentro de la zona elástica del material, es decir, una vez eliminadas las condiciones a las que está sometido, volverá a su forma original. Para asegurar esto, los diseñadores mundiales acuñaron el término factor de seguridad, que no es más que la división entre el límite elástico dado por la curva del material y el esfuerzo calculado y dado por las condiciones a las que se somete nuestro diseño, en este caso, para problemas de análisis estático dentro de Solidworks Simulation, la tensión de Von Misses es lo que se tendrá en cuenta como la tensión calculada, que no es más que una de las muchas teorías de falla de materiales.

Como ves, la gráfica del factor de seguridad es muy útil para validar nuestros modelos dentro de SolidWorks y saber si es necesario modificar nuestro modelo dentro de SolidWorks para hacerlo más resistente. En general, las principales formas de mejorar su FS son: cambiar el material por uno con mayor límite elástico o hacer su geometría más gruesa.



Figura 6.31. Análisis estático por factor de seguridad

Tabla 6.22. Análisis estático factor de seguridad. Fuente: Autores.

Min	Max
5.002,100 N/m ²	10.206.144.000 N/m ²
Node: 844	Node: 1111

A partir de las teorías del factor de seguridad se define un diseño óptimo, se debe establecer un factor de seguridad mayor a 1, en el análisis de elementos finitos resultó que el valor mínimo del factor de seguridad de la parte mecánica es 2.7, por lo tanto, el material dúctil que utilizamos y la geometría del diseño es ideal porque soportará todos los esfuerzos que se generen a los que serán sometidos, incluso piezas con geometrías más críticas.

6.3.2. CAD de la Rueda Eléctrica.

A continuación, se presenta el CAD de la rueda eléctrica teniendo en cuenta el análisis realizado anteriormente.

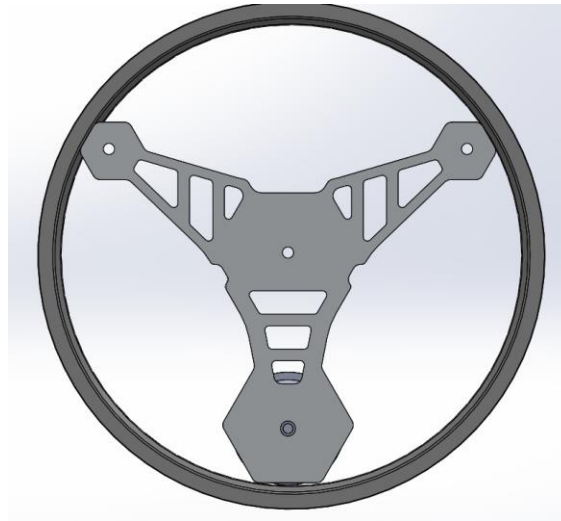


Figura 6.32. CAD de la rueda eléctrica.

6.3.3. Planos de la Rueda Eléctrica

Después de haber realizado el CAD de rueda se procede a realizar los planos tanto mecánicos como eléctricos cada uno cumpliendo sus respectivas normas, esto se presentan en los anexos 1, 2.

6.3.4. CAD de la Electrolinera.

A partir de las especificaciones técnicas y los cálculos de diseño calculados anteriormente, se realiza el CAD final de la electrolinera como se observa en la figura 6.37.

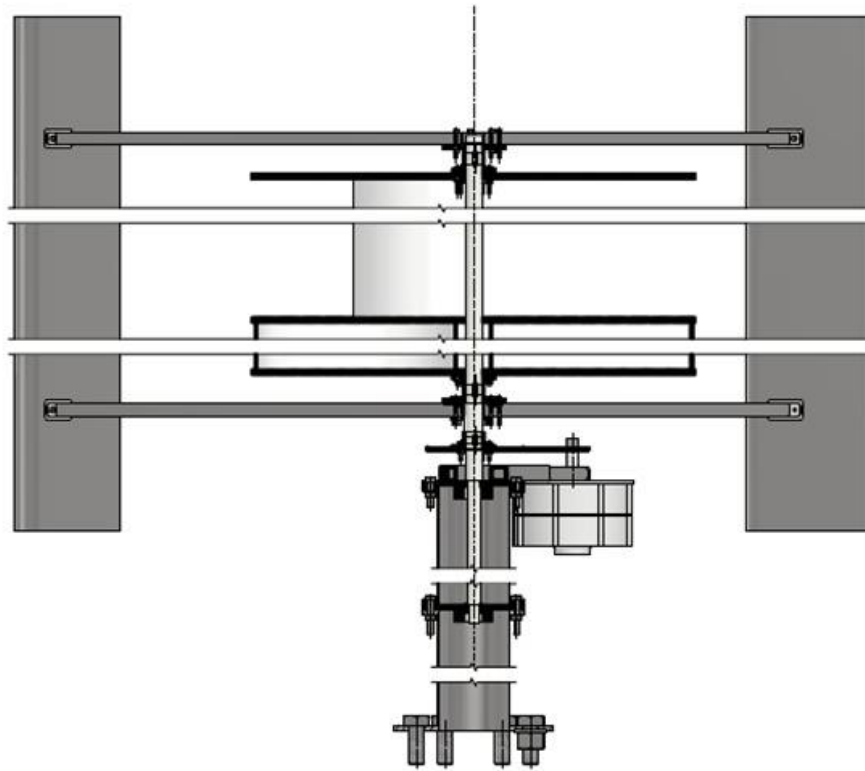


Figura 6.33. CAD de la electrolinera en Solidworks.

6.3.5. Planos de la Electrolinera.

Se presentan los planos respectivos con el detalle de su geometría, tolerancias, materiales de cada pieza y también el ensamble de su conjunto, por otra parte, se presenta el plano eléctrico de la Electrolinera, estos se presentan en los anexos 3, 4.

6.3.6. Consideración Ambiental de proyecto.

La matriz de Leopold facilita una comprensión más profunda de cómo un proyecto puede afectar al medio ambiente, lo que permite tomar decisiones fundamentadas para reducir los impactos negativos y potenciar los positivos. Además, favorece la comunicación con los involucrados y la evaluación de la viabilidad ambiental a largo plazo del proyecto.

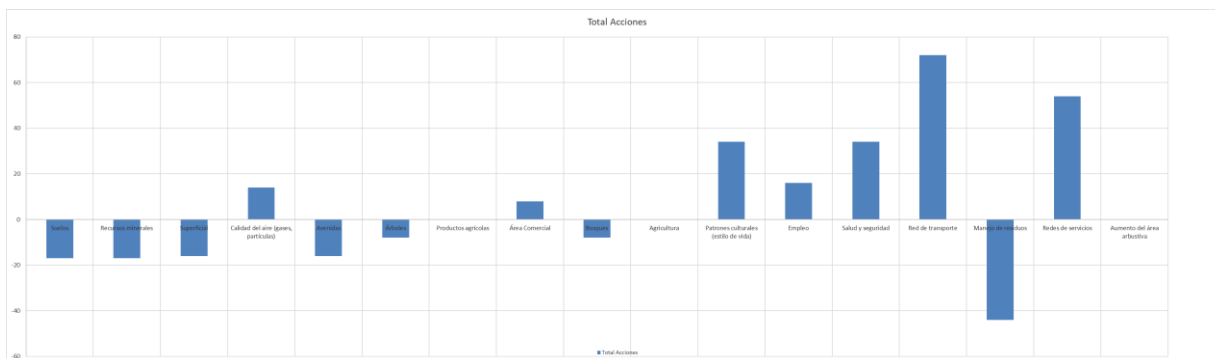


Figura 6.34. Gráfica matriz de Leopold

Tras realizar la evaluación ambiental utilizando la matriz de Leopold la cual se puede observar en la figura 6.34 y en la tabla 6.23, se ha determinado que, el proyecto obtiene un resultado positivo con una puntuación de impacto de 106. Esta calificación refleja el impacto favorable del proyecto en el medio ambiente, especialmente en lo que respecta a la calidad del aire, patrones culturales, salud y seguridad, red de transporte. Teniendo en cuenta la tabla de calificación de la matriz, el producto presenta una calificación positiva muy importante, la matriz completa se puede observar en el anexo 5.

Tabla 6.23. Calificación Positiva Matriz de Leopold Fuente: Autores.

Valoración			Total Acciones		
FACTORES AMBIENTALES	A. Características físicas y químicas	1. Tierra	Suelos	-17	
			Recursos minerales	-17	
		2. Agua	Superficial	-16	
			3. Atmósfera	Calidad del aire (gases, partículas)	14
		4. Procesos		Avenidas	-16
	B. Condiciones biológicas		1. Flora	Árboles	-8
		Productos agrícolas		0	
		C. Factores culturales	1. Uso de la tierra	Área Comercial	8
				Bosques	-8
				Agricultura	0
	2. Aspectos culturales		Patrones culturales (estilo de vida)	34	
			Empleo	16	
			Salud y seguridad	34	
	3. Facilidades y actividades humanas		Red de transporte	72	
			Manejo de residuos	-44	
			Redes de servicios	54	
	Relaciones Ecológicas		Aumento del área arbustiva	0	
			TOTAL	106	

6.4. Validación del producto

6.4.1. Electrolinera.

Para la realización del ensamble del aerogenerador instala los rodamientos a eje principal, considerando la ubicación determinada para cada uno de los rodamientos; para este caso en específico se necesita fueron necesario 3 rodamientos (6004-C3, marca koyo), por otra parte se hizo la instalación del piñón salida de numeración 4-28 (marca casarella), además se instaló las bases de las aspas laterales y por último el eje principal fue colocado en una base de hierro; como se muestra en la siguiente figura.



Figura 6.35. Eje principal del aerogenerador

Para continuar con el ensamble del aerogenerador se verifica que las piezas impresas no presenten ninguna irregularidad como lo son aspas, rotor, entre otros. Después se revisa que no se presenten alguna imperfección, la cual genere fallos en la estructura, por otra parte, se realiza un preensamble de las partes mecánicas como se puede ver en siguiente figura.



Figura 6.36. Aspas Savonius Aerogenerador

Para finalizar el ensamble mecánico se colocan las partes del aerogenerador savonius y darrieus, en eje principal, teniendo en cuenta la ubicación de cada una de las piezas se realiza el ensamble realizando el ajuste correcto de las piezas como se logra ver en la siguiente figura.



Figura 6.37. Aerogenerador Final

Luego se revisan los componentes eléctricos seleccionados para la electrolinera, donde se prueban voltajes de cada componente y su correcto funcionamiento. Tras verificar cada componente, se conecta todo el sistema eléctrico desde el plano propuesto, donde se validó el funcionamiento correcto del sistema considerando cada modo de manejo. Terminado este paso se procede a realizar la adaptación de los componentes tanto mecánicos como eléctricos.

Tabla 6.24. comprobación de componentes Electrolinera. Fuente: Autores.

<i>Punto de verificación.</i>	<i>Voltios de cada componente</i>	<i>Funcionamiento.</i>
<i>Saida del alternador</i>	18,8V	Correcto
<i>Salida del regulador.</i>	14,5V	Correcto
<i>Voltaje de baterías.</i>	12,2V	Correcto
<i>Voltaje de salida inversor.</i>	120VAC	Correcto
<i>Salida del medidor.</i>	5V	Correcto

El siguiente paso es realizar toda la adaptación eléctrica y mecánico para cada componente, con el fin que cada uno de ellos quede totalmente sujetado y asegurado en una caja de conexiones, a continuación, en la siguiente imagen se muestra en conjunto todo el montaje de la electrolinera.

**Figura 6.38. Prototipo Electrolinera**

Luego de realizar toda la construcción del prototipo de la Electrolinera, se realizan las respectivas pruebas de funcionamiento con un anemómetro para mirar la generación de energía eléctrica y observar su error de velocidad respecto al anemómetro. A continuación,

en la siguiente gráfica se realiza la comparación lineal del prototipo y el anemómetro, a continuación, se presenta una tabla de datos mostrados el error en diferentes velocidades.

Tabla 6.25. Comprobación Electrolinera VS Anemómetro. Fuente: Autores.

<i>Velocidad Anemómetro (km /h)</i>	<i>Velocidad de prototipo (km /h)</i>	<i>Error (%)</i>	<i>Velocidad (m/s)</i>	<i>Potencia mecánica (W).</i>	<i>Potencia del viento (W).</i>
5	2,27	54,7%	0,63	0,02	0,00
10	7,23	27,7%	2,01	0,80	0,07
15	11,57	22,9%	3,21	3,27	0,29
20	17,37	13,2%	4,82	11,05	0,98
25	20,45	18,2%	5,68	18,06	1,60
30	25,91	13,6%	7,20	36,72	3,25

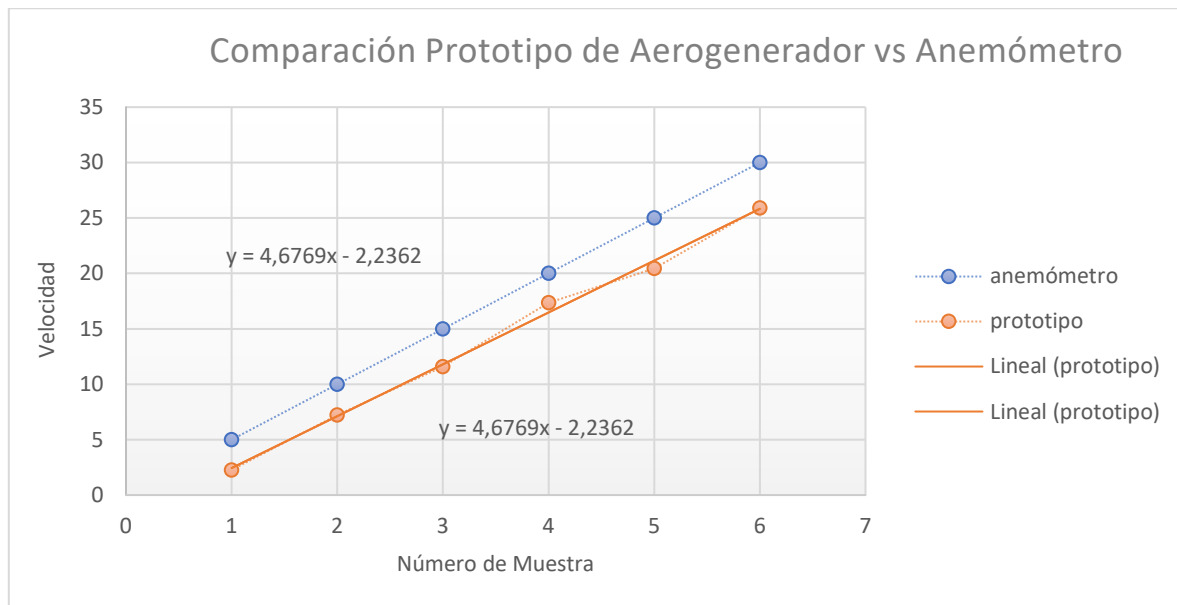


Figura 6.39. Comparación de velocidades del aerogenerador VS anemómetro

En el anterior gráfico se compara la velocidad del viento registrada por un anemómetro tradicional (marca Vortex) y la obtenida por prototipo de aerogenerador. Se observa que las velocidades medidas por el prototipo son consistentemente mayores que las del anemómetro, lo que puede atribuirse a la diferencia en altura de ambos dispositivos. Siendo el prototipo

más alto, es de esperar que capture vientos con mayor velocidad debido a la menor interferencia del terreno circundante. En el plano técnico, ambas líneas que representan las mediciones siguen patrones aproximadamente paralelos, indicando una relación similar entre la velocidad del viento y el número de muestras analizadas en cada caso. Al analizar las ecuaciones de las rectas que mejor se ajustan a los datos, encontramos que la del anemómetro es $y = 4,6769x - 2,2362$, mientras que la del prototipo es $y = 5,007x - 2,4964$. Esto significa que, por cada unidad que aumenta el número de muestra, la velocidad del viento medida por el anemómetro crece en 4,6769 unidades, mientras que en el prototipo lo hace en 5,007 unidades, reforzando la tendencia de mayor velocidad en el dispositivo de mayor altura. Si bien este análisis inicial parece indicar que el prototipo de aerogenerador funciona de manera adecuada, pero presenta cierto margen de error, debido a temas mecánicos.

En la siguiente imagen se observa el circuito impreso implementado en la electrolinera, donde se evidencia el estado de carga de la batería mediante la matriz led.

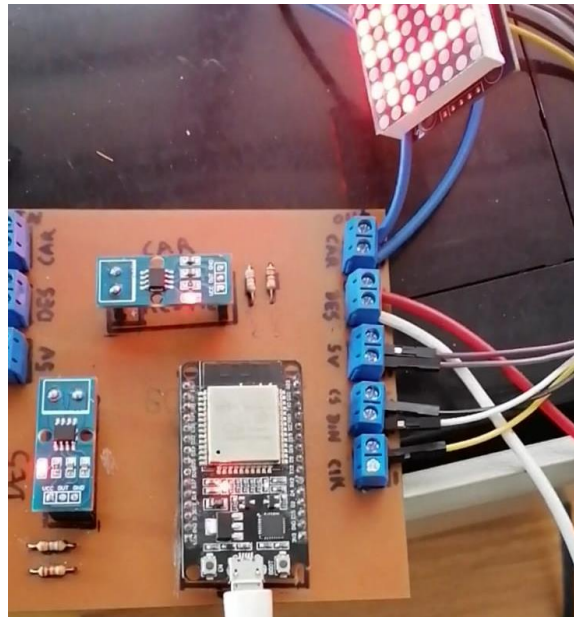


Figura 6.40. Circuito impreso aerogenerador

El circuito impreso está ubicado dentro de un gabinete metálico impermeable, en donde también se encuentra ubicada la batería y el inversor. La salida de dicho inversor está conectada a dos tomas de corriente ubicadas en el lateral del gabinete.

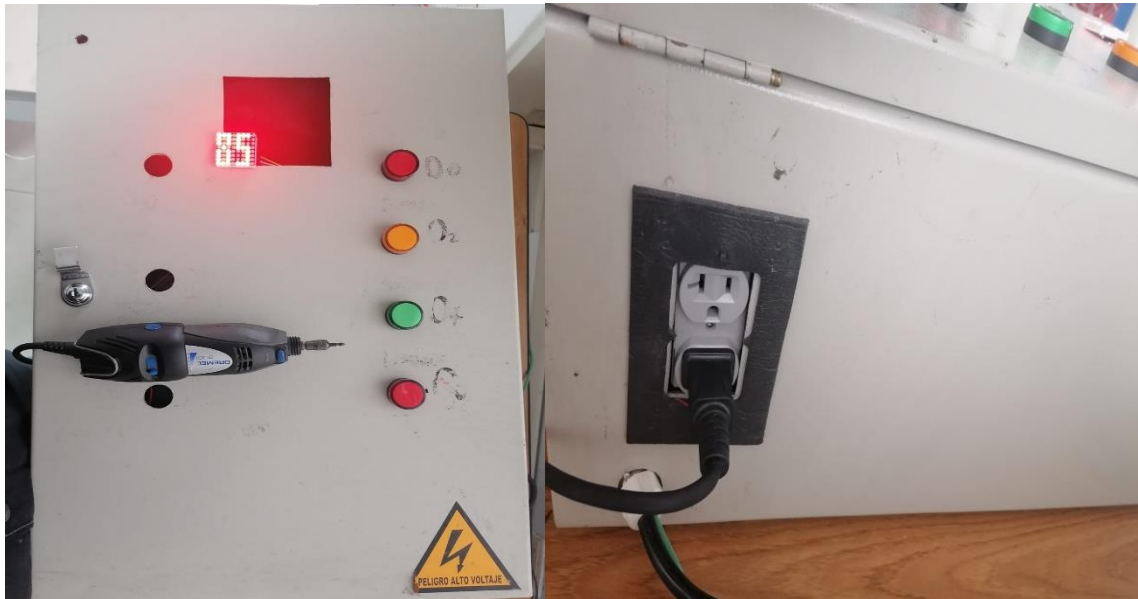


Figura 6.41. Gabinete metálico

La prueba del sistema de telemetría se realiza cargando la batería con la electrolinera por 7h, la corriente de aire fue suministrada por una turbina en un laboratorio cerrado, debido a esto se consigue una corriente constante de carga de 2,5 A a, luego de esto se carga mediante una fuente de voltaje por 4h, la cual nos suministra una corriente de aproximadamente 3A. Por último, se deja descargando la batería por medio del uso de un taladro y una lámpara. Los datos de la prueba se pueden ver en las Figuras 6.42, 6.43, 6.44.

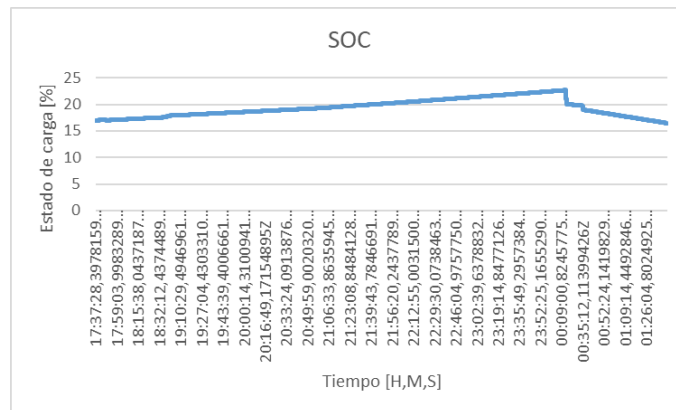


Figura 6.42. Gráfica Soc

Mediante la gráfica 6.42 y 6.43, se puede estimar que, el tiempo que se demoraría la batería para estar cargada al 100 % de su capacidad mediante el uso de la electrolinera, sería de 140h, esto debido a que, en 7h de carga el Soc de la batería aumento un 5%.

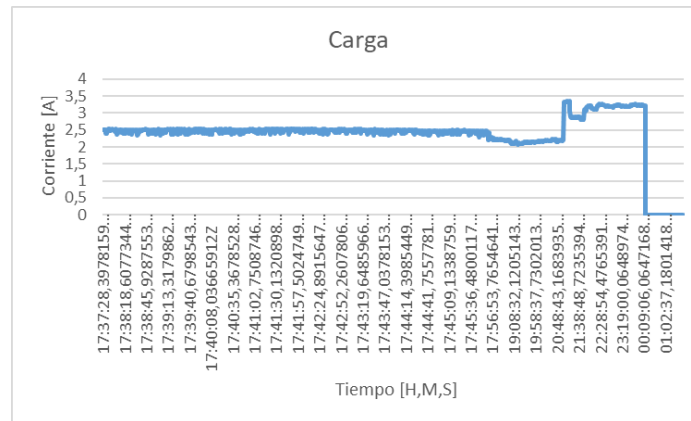


Figura 6.43. Gráfica corriente carga

Por otra parte, como se puede observar en la figura 6.44, la batería solo se demoró en descargarse aproximadamente 1h, aunque se descargó con una carga que le exigía una corriente de 7A.

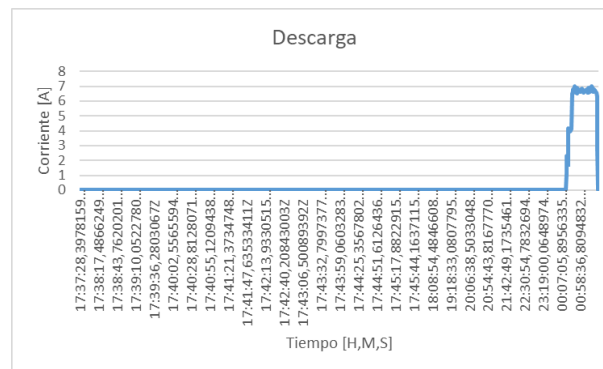


Figura 6.44. Gráfica corriente descarga.

6.4.2. Rueda Eléctrica.

Para la validación de la rueda eléctrica se empieza realizando una comprobación de las piezas impresas en los materiales específicos, revisando detalladamente que no presenten alguna figura o imperfección, la cual genere fallos en la estructura, por otra parte, se realiza un preensamble de las partes mecánicas como se puede ver en siguiente figura.



Figura 6.45. Preensamble



Figura 6.46. Preensamble Chasis

Para continuar se realiza una revisión de los componentes del kit eléctrico selecciono anteriormente, en donde se prueban voltajes de cada uno de los componentes y su correcto funcionamiento, Al realizar una verificación detallada de cada uno de los componentes, se conecta todo el sistema eléctrico siguiendo el plano propuesto, en donde se validó el funcionamiento correcto del sistema teniendo en cuenta cada uno de los modos de manejo.

Terminado este paso se procede a realizar la adaptación de los componentes tanto mecánicos como eléctricos.

Tabla 6.26. comprobación de componentes Rueda Electrica. Fuente: Autores.

<i>Punto de verificación.</i>	<i>Voltios de cada componente</i>	<i>Funcionamiento.</i>
<i>Saida del motor</i>	36V	Correcto
<i>Salida del controlador.</i>	5V	Correcto
<i>Voltaje de baterías.</i>	43,4V	Correcto
<i>Salida del Display</i>	5V	Correcto
<i>Acelerador.</i>	5V	Correcto

En primera instancia realizamos la adaptación de las bandas tanto en el motor como el rin de la reda a través de unos tornillos especiales y unos sujetadores, por otra parte se coloca la llanta al rin realizando el ajuste previo con el fin de no tener problemas futuros, como se logra ver en las siguientes Figuras.

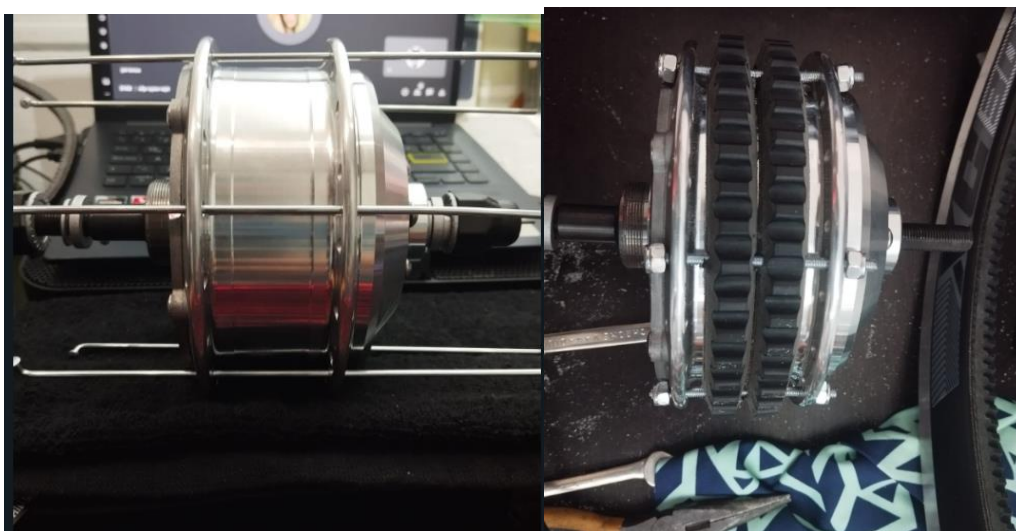


Figura 6.47. Adaptación Motor



Figura 6.48. Llanta adaptada

El siguiente paso es realizar toda la adaptación eléctrica dentro de la carcasa en donde se tienen lugares específicos para cada componente, con el fin de que cada uno de ellos quede totalmente sujetado y asegurado, por otra parte se realiza las respectivas conexiones eléctricas teniendo en cuenta la ubicación de cada uno de los cables y sensores como se puede ver en la siguiente figura.



Figura 6.49. Conexiones Eléctricas.

Para continuar con el ensamble de la rueda eléctrica, se incorpora la carcasa al chasis, sellándola completamente, con el fin de aislar los componentes electrónicos del agua y de suciedad ya que de esta manera se prolonga la vida útil de los componentes; por otra parte, se realiza el ajuste de las poleas teniendo en cuenta los separadores cada una de las piezas según el plano. Por último, se realiza la adaptación del motor dejándolo en el sentido correcto de giro como se logra ver en la siguiente figura 6.50.



Figura 6.50. Ensamble mecánico y eléctrico.

Por último, se realiza la adaptación del chasis de la rueda con el rin previamente acondicionado, para esta adaptación se debe tener en la posición del motor sobre las bandas, y la banda externa debe quedar centrada en cada una de las poleas ya que se puede desajustarse bandas y no girar.



Figura 6.51. Rueda Final.

En la siguiente figura se puede observar la rueda eléctrica implementada en una bicicleta convencional realizando la adaptación del display, frenos y acelerador, en la cual se realiza el recorrido en la ruta propuesta.



Figura 6.52. Rueda ensamblada en bicicleta convencional.

En la siguiente imagen se puede observar el circuito impreso de la telemetría implementado dentro de la carcasa de la rueda eléctrica.

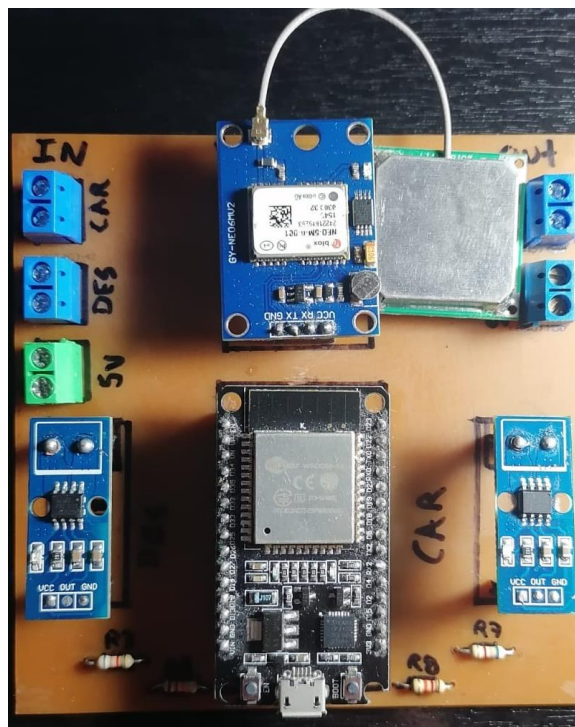


Figura 6.53. Circuito impreso rueda

Mediante el celular, el usuario puede observar la ubicación de la rueda eléctrica, la autonomía, la velocidad, y la carga de la batería, esta información es actualizada cada 18s y el programa empezará a funcionar cuando el usuario deje en ON el botón de iniciar Ruta.

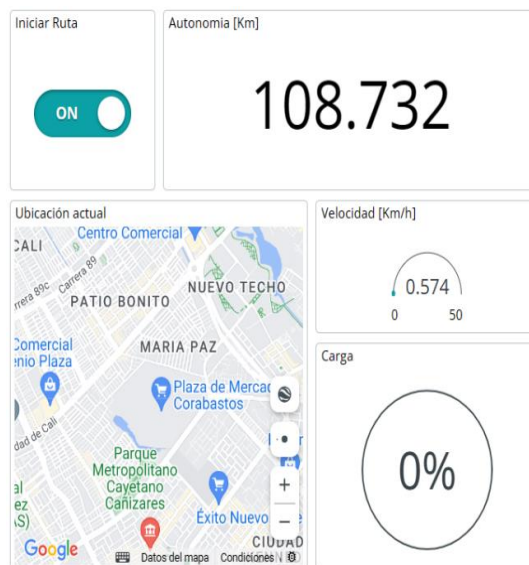


Figura 6.54. Dashboard.

Una vez finalizado el recorrido, se descarga el histórico de datos en formato CSV de los datos que fueron visualizados en el dashboard en cada muestra.

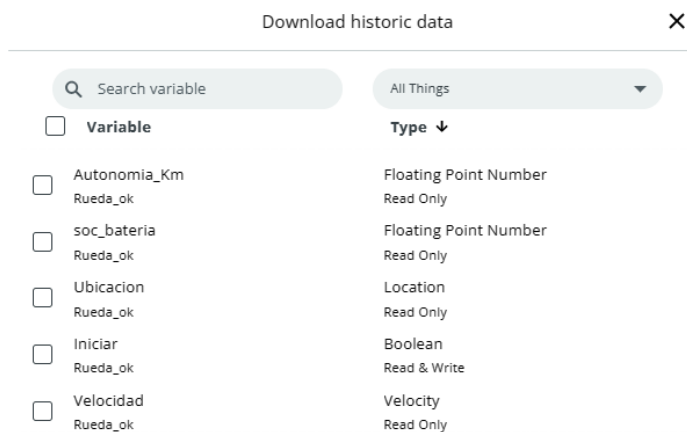


Figura 6.55. Descarga de datos CSV.

El recorrido se realizó en aproximadamente 10 min y recorrió 1,34km, en la siguiente imagen se puede observar la información de la altitud del recorrido suministrada por el sistema de telemetría, destacando la similitud con el perfil de elevación que fue suministrada por Google Earth Pro.

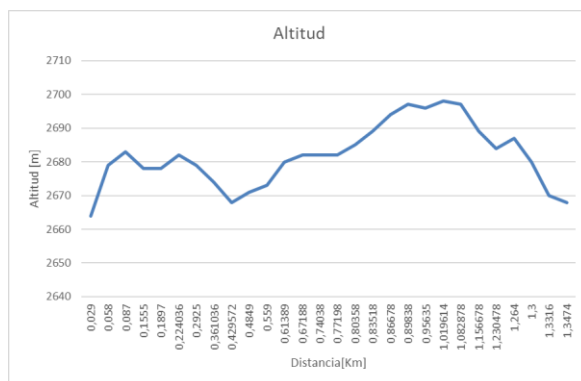


Figura 6.56. Altitud del recorrido

Debido a que fue un recorrido corto, el estado de carga de la batería se disminuyó en un 10%. Este porcentaje puede ser menor en recorridos con terrenos llanos o pendientes de bajada, en la medida que el mayor consumo eléctrico fue en pendientes de subida.

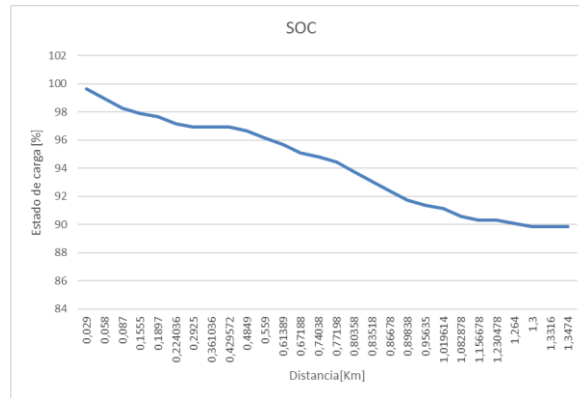


Figura 6.57. Soc

En tramos con pendientes ascendentes pronunciadas, el vehículo requiere una mayor cantidad de energía para contrarrestar la fuerza de la gravedad y mantener una velocidad constante. Por otro lado, en tramos descendentes, la fuerza de la gravedad asiste al vehículo en su movimiento, disminuyendo o evitando así el consumo de energía. Este comportamiento es visible la siguiente gráfica.

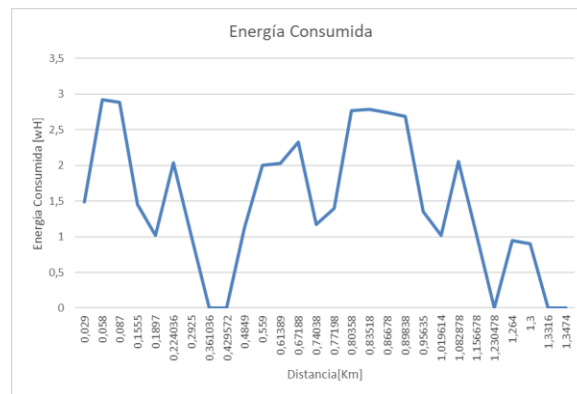


Figura 6.58. Energía consumida

6.5. Validación de la autonomía

Como se puede observar en la figura 6.58, 6.60 y 6.61, la autonomía se comporta de una manera inversa a la energía consumida, debido a que, en tramos con pendientes ascendentes se incrementa el consumo eléctrico, lo que a su vez reduce la autonomía del vehículo. En cambio, en tramos descendentes, se disminuye el consumo eléctrico lo que permite el aumento de la autonomía de la rueda. Por otra parte, en terrenos planos, el consumo de energía tiende a ser más uniforme y predecible en comparación con terrenos con pendientes.

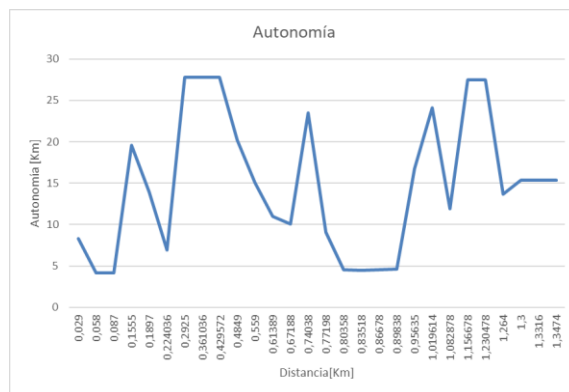


Figura 6.59. Gráfica autonomía

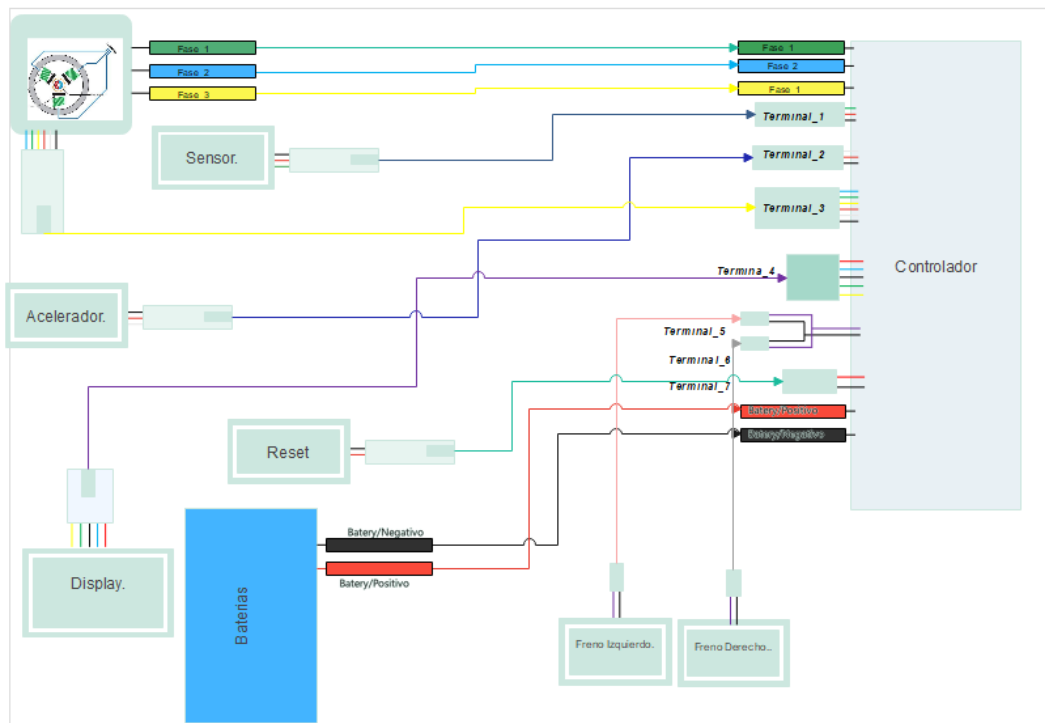
7. Conclusiones y Trabajos futuros

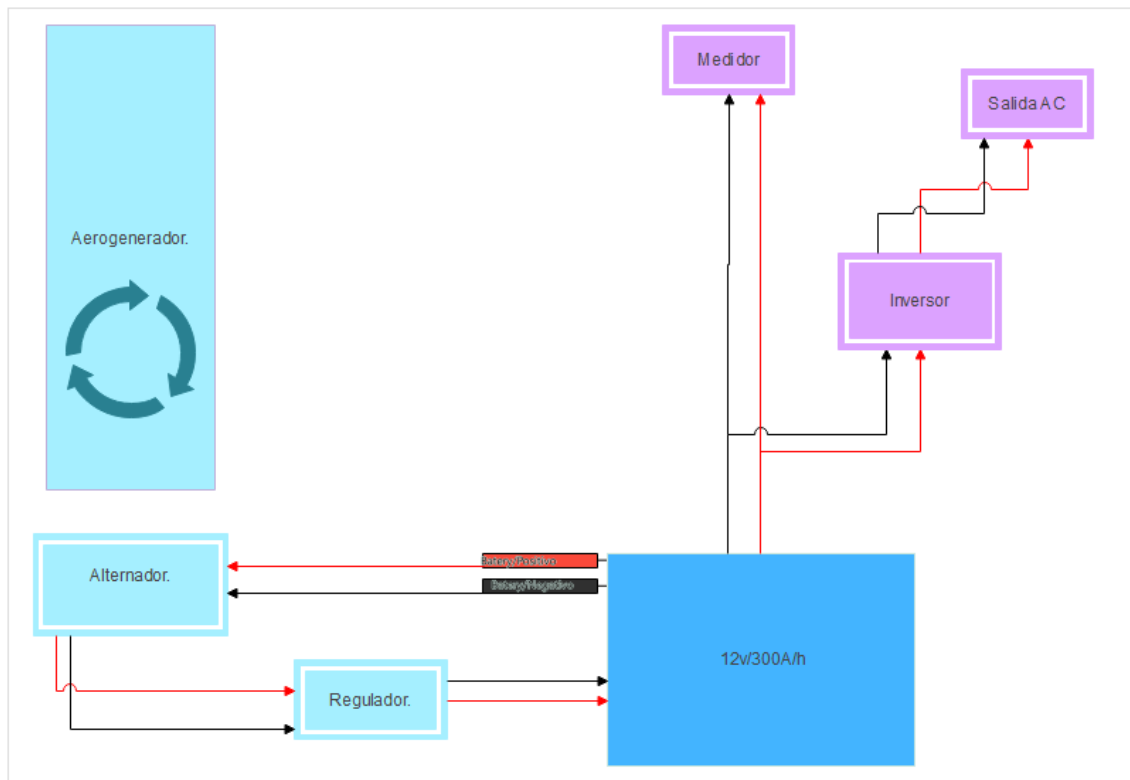
- Gracias al desarrollo del concepto de la rueda eléctrica y la electrolinera establece una base sólida al definir claramente la forma, función y características de cada producto. Este enfoque innovador tiene el potencial de impulsar avances significativos en la movilidad eléctrica, promoviendo la sostenibilidad ambiental, por otra parte, la fase de diseño se ha caracterizado por un enfoque meticuloso, que incluye cálculos matemáticos precisos para la rueda eléctrica, considerando aspectos clave como el peso, la capacidad energética y la densidad de las baterías. Asimismo, se ha realizado un estudio preliminar de las condiciones ambientales para la electrolinera, aprovechando datos de la NASA y estaciones meteorológicas locales, lo que ha permitido un diseño eficiente del aerogenerador de eje vertical.
- El diseño completo de la arquitectura y especificaciones de la rueda y la electrolinera ha sido desarrollado con éxito, incluyendo la geometría, los materiales, las tolerancias y los planos tanto mecánicos como eléctricos. Se ha empleado SolidWorks para modelar la pieza, junto con cálculos y diseño del sistema del chasis y del tren de potencia de la rueda. Asimismo, se ha establecido el sistema de ensamble. Además, se han elaborado diseños geométricos, especificaciones funcionales de cada subsistema y un diagrama de flujo preliminar del proceso para el ensamble final de los productos.
- Los productos han sido desarrollados con éxito mediante la implementación de sus partes, siguiendo el diseño de detalle previamente establecido. Se ha completado la especificación completa de la geometría y se han definido los planos finales del diseño, incluyendo tolerancias, materiales y partes únicas de los productos. Se han establecido las piezas e implementado cada sistema de acuerdo con las especificaciones. Además, se ha realizado una matriz de Leopold para evaluar el impacto ambiental de cada componente con relación con el producto.

- Se logró establecer un sistema de telemetría efectivo para recopilar datos relevantes sobre el rendimiento y el estado de la rueda eléctrica, lo que proporciona una base sólida para análisis y mejoras posteriores en el diseño y funcionamiento del vehículo. Mediante el análisis de los datos recopilados a través de la telemetría, se pudo evaluar de manera precisa y detallada la autonomía de la rueda eléctrica en el escenario de uso, lo que permite mejorar la experiencia del usuario en futuros trabajos.
- La validación exitosa del sistema de movilidad urbana, basada en la evaluación de la rueda eléctrica y su telemetría, demuestra su viabilidad en entornos urbanos reales. Esto respalda la utilidad y la aplicación práctica de la tecnología para abordar desafíos de movilidad en áreas urbanas, como la congestión del tráfico y la contaminación ambiental.
- A futuro, los datos del aerogenerador también deberían ser subidos a la plataforma de Arduino iot cloud, para que el usuario pueda visualizar si la batería con la que va a cargar la rueda si tiene carga suficiente.
- Se recomienda cambiar el GPS si se encuentra en lugares con alta nubosidad, debido a que la condición del clima puede afectar a la conexión de este con el satélite.

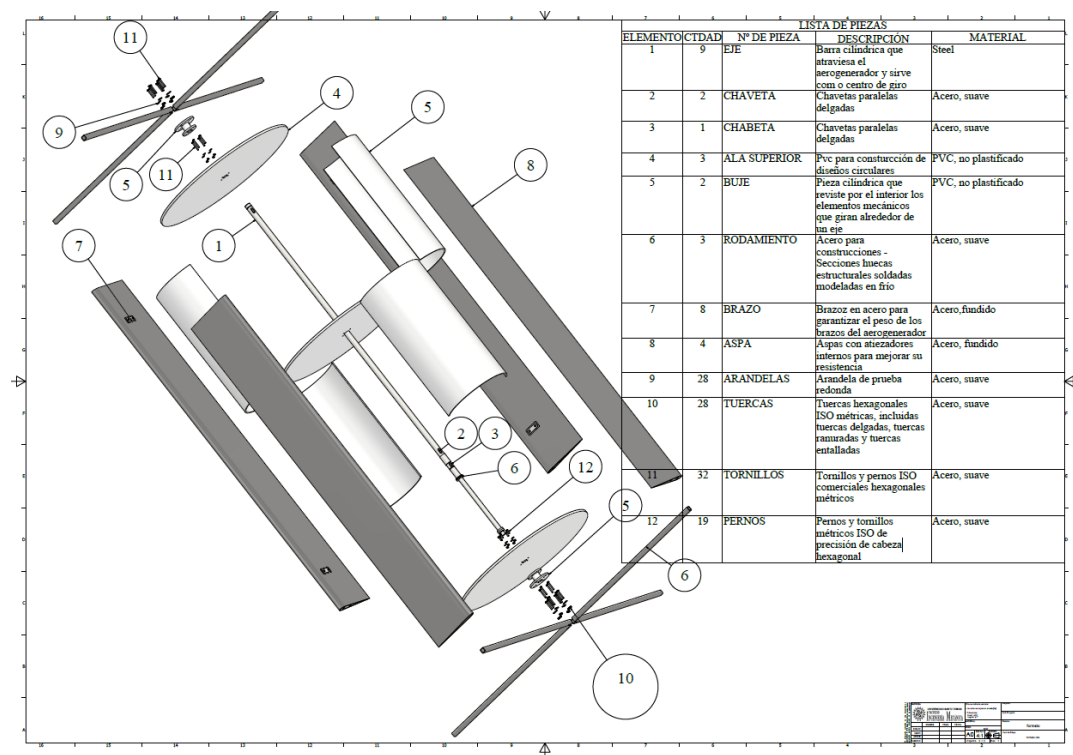
8. Anexos

Anexo 1 Plano eléctrico.



Anexo 3 Plano eléctrico.

Anexo 4 Plano mecanico.



Anexo 5 Matriz Leopold.

		ACCIONES CON POSIBLES EFECTOS													
		1. Materiales					2. Elaboración					3. Uso		4. Recuperación	
</															

[1] Loli, M. G. (n.d.). *Vista de Contaminación del aire por falta de educación ambiental y tasa de mortalidad por COVID-19*. Edu.pe. Retrieved October 7, 2022, from <https://revista.inicc-peru.edu.pe/index.php/delectus/article/view/137/150>

[2] Uribe Vélez, Á., Posada, C. C., Pineda, C. M., Augusto, C., Gómez, B., Técnico, E., Cruz, A. V., Buitrago Gómez, C. A., Mendoza, J., Mier, P., Leal, M. C., Renzoni, G., Pérez, S. J., Acevedo, G., Bonilla Madriñán, M., Lozano, R., Mery, L., Fernanda, C., Diseño, C., ... Ministerio De Ambiente, C. (s/f). *Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*. Gov.co. Recuperado el 13 de septiembre de 2022, de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/04/Politica_de_Preencion_y_Control_de_la_Contaminacion_del_Aire.pdf

[3] de Colombia, M. de S. y. P. S. (s/f). *Minsalud comprometido con la calidad del aire*. Gov.co. Recuperado el 13 de septiembre de 2022, de <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Minsalud-comprometido-con-la-calidad-del-aire.aspx>

[4] Giovanni Avendaño. (2022, febrero 25). *¿SABE CUÁNTOS CARROS HAY EN COLOMBIA A 2022?* Motor Colombia. <https://www.motor.com.co/industria/SABE-CUANTOS-CARROS-HAY-EN-COLOMBIA-A-2022-20220225-0004.html>

[5] Nicolás Estupiñán, (2021), *DIAGNÓSTICO PARA LA POLÍTICA PÚBLICA DE MOVILIDAD MOTORIZADA DE CERO Y BAJAS EMISIONES*, Secretario Distrital de Movilidad.

[6] Vargas-Vargas, W., Femenia-Ribera, C., & Mora-Femenia, G. (s/f). *Contexto de la movilidad en Bogotá -Colombia*. Upv.es. Recuperado el 13 de septiembre de 2022, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/170961/Vargas-VargasFemenia-RiberaMora%20-%20Contexto%20de%20la%20movilidad%20en%20Bogota%20-%20Colombia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[7] Farrow, A., Anhäuser, A., Chen, Y. J., & Cespedes, T. (s/f). *La carga de la contaminación del aire en Bogotá, Colombia 2021*. Greenpeace.org. Recuperado el 31 de agosto de 2022, de <https://www.greenpeace.org/static/planet4-colombia-stateless/2022/05/6521e020-la-carga-de-la-contaminacion-del-aire-en-bogota-colombia-2021.pdf>

[8] Villabriga-Botia, C. (2021). *La bicicleta como método alternativo de transporte, una*

garantía para los derechos colectivos, al medioambiente sano y la movilidad en la ciudad de Bogotá. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Derecho. Bogotá, Colombia

[9]Pico Alvarado, Joselyne Yomaira (2022). Importación de bicicletas eléctricas como solución al problema de movilización y contaminación ambiental en Guayaquil. Guayaquil. ULVR. Facultad de Ciencias Administrativas Carrera de Comercio Exterior. 95 p.

[10]Palacios, M., & Adolfo, F. (2021). *Estudio normativo, económico y ambiental para la adopción de vehículos eléctricos de uso doméstico para Bogotá, Colombia*. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/1479>

[11] De, C., & Eléctrica, I. (s/f). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA*. Edu.ec. Recuperado el 13 de septiembre de 2022, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16376/1/UPS-CT007975.pdf>

[12] (2018). T2018 WORLD AIR QUALITY REPORT, IQAIR.

[13]García Arbeláez, C., G. Vallejo, M. L. Higgings y E. M. Escobar. 2016. El Acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático. 1 ed. WWF-Colombia. Cali, Colombia. 52 pp.

[14] A. Farrow, a. Anhauser, y. Jen chen y t. Céspedes, «la carga de la contaminación del aire en bogotá. Colombia 2021,» greenpeace andino, bogota, 2022.

[15]Andres Núñez. y Juan Ávila(2022). Elaboración de una propuesta que incentive el uso de las bicicletas en Bogotá D.C., basado en un análisis de los problemas actuales de movilidad.

[16]Ramos-Montaña, C. (2020). Vehicular emissions effect on the physiology and health status of five tree species in a Bogotá, Colombia urban forest. *Revista de Biología Tropical*, 68(3), 1001–1015. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i3.40248>

[17]Fernando Rubio,(2017)Importancia Del Uso De La Bicicleta ElÉCtrica Para El Mejoramiento De La Movilidad En La Ciudad De Bogotá,Universidad Militar Nueva Granada Facultad De Estudios A Distancia (Faedis)

- [18] Ciclosfera, P. (2016, junio 8). *El sector de la bicicleta creció un 8,6% en 2015*. Ciclosfera. <https://ciclosfera.com/a/sector-de-la-bicicleta-2015>
- [19] Saavedra Muñoz, M., Alvarez Villa, D. A., & Sánchez Wilches, E. A. (2019). *Diseño, construcción y puesta en marcha de eco-electrolineras*. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5045>
- [20] Otalora, J. C. (2017). *Importancia del uso de la bicicleta eléctrica para el mejoramiento de la movilidad en la ciudad de Bogotá*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/35754>.
- [21] Rodríguez-Camargo, L. A., Sierra-Parada, R. J., & Blanco-Becerra, L. C. (2020). Spatial analysis of PM2.5 concentrations in Bogotá according to the World Health Organization air quality guidelines for cardiopulmonary diseases, 2014-2015. *Biomedica: Revista Del Instituto Nacional de Salud*, 40(1), 137–152. <https://doi.org/10.7705/biomedica.4719>
- [22] Luna, O., & Javier, S. (2016). *Evaluación de una bicicleta eléctrica como alternativa de movilidad en la ciudad de Cuenca*. Universidad del Azuay.
- [23] O. J. J. & A. B. H. Aceveco Castro, «Estimación de emisiones de gei (Co2 y Ch4) generadas durante el transporte de gas natural en Colombia, aplicando metodología ipcc,» Tolima, 2013
- [24] O. D. N. UNIDAS, «ONU HABITAT POR UN MEJOR FUTURO URBANO,» 03 03 2017. [En línea]. Available: <https://onuhabitat.org.mx/index.php/contaminacion-automoviles-y-calidad-del-aire>. [Último acceso: 12 JULIO 2022].
- [25] A. Farrow, A. Anhauser, Y. Jen Chen Y T. Cespedes, «La Carga De La Contaminación Del Aire En Bogotá, Colombia 2021,» Greenpeace Andino, Bogota, 2021
- [26] A. Farrow, A. Anhauser, Y. Jen Chen Y T. Cespedes, «La Carga De La Contaminación Del Aire En Bogotá. Colombia 2021,» Greenpeace Andino, Bogota, 2022.

- [27] E. Alcantara, «Análisis De La Movilidad Urbana Espacio, Medio Ambiente Y Equidad,» Abiril 2010. [En Línea]. Available: [Http://Www.Caf.Com/Media/3155/Analisis_Movilidad_Urbana.Pdf](http://www.caf.com/Media/3155/Analisis_Movilidad_Urbana.Pdf). [Último Acceso: 12 Julio 2022].
- [28] F. Ruiz Murcia Y J. Melo Franco, «Aspectos Metodológicos De La Predicción Climática Mensual De La Precipitación En Colombia,» Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales-Ideam., Bogotá, 2020.
- [29] D. Avila Prats, R. Alesanco Garcia y J. Veliz Alonso, «Hybrid systems with base in the renewable energy for the energy supply to desalination plants,» España, 2011.
- [30] Rodríguez Diego Julián, Gómez Porras Ronyver Alexander, Campos Fajardo Andrés Felipe. (n.d.). *Revista Tecnura*. Retrieved October 7, 2022, from <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/9608/10817>
- [31] F. Jimenez Rubio, «Importancia Del Uso De La Bicicleta Eléctrica Para El Mejoramiento De La Movilidad En La Ciudad De Bogota,» Universidad Militar Nueva Granada, Bogota, 2017.
- [32] Maila, J. E. G., Cisneros, V. A. G., Quille, N. R. C., & Vergara, C. A. C. (2021). La importancia de las características principales de seleccionar un motor para la propulsión de vehículos eléctricos. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 6(9), 999–1025. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8094607>
- [33] *Vista de Baterías de Ion Litio: características y aplicaciones*. (s/f). Utp.ac.pa. Recuperado el 19 de agosto de 2022, de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/2907/4017>

- [34] N. Omar and P. Van Den Bossche, "Assessment of Performance of Lithium Iron Phosphate Oxide , Nickel Manganese Cobalt Oxide and Nickel Cobalt Aluminum Oxide Based cells for Using in Plug-in Battery Electric Vehicle Applications," 2011.
- [35] Emanet, B., & Kiyak, I. (2021). Performance effective battery management system(BMS) design of mini electric vehicles. *2021 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, 744–749.
- [36] Yazici, Muratcan. (2020). A review Study for Rechargeable Li-Ion Battery Packs, Battery Management Systems and Thermal Management of Battery Packs.
- [37] Marín Fernández, E. (2018). *Diseño e implementación de un sistema de gestión de baterías (BMS) para una moto eléctrica de competición*. Industriales.
- [38]](S/f-a). Researchgate.net. Recuperado el 19 de agosto de 2022, de https://www.researchgate.net/profile/Omkar-Bhat/publication/330114646_Introduction_to_IOT/links/5c2e31cf299bf12be3ab21eb/Introduction-to-IOT.pdf
- [39] Mangla, N., Sivananda, G., Kashyap, A., & Vinutha. (2017). A GPS-GSM predicated vehicle tracking system, monitored in a mobile app based on Google Maps. *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, 2916–2919.
- [40] Mohammadi, F., & Rashidzadeh, R. (2021). An overview of IoT-enabled monitoring and control systems for electric vehicles. *IEEE instrumentation & measurement*

magazine, 24(3), 91–97. <https://doi.org/10.1109/mim.2021.9436092>

- [41] Angel, A., Rodriguez, A., John, J., Figueredo, A., Alejandro, J., & García, C. (s/f-a). *Sistema de control y telemetría de datos mediante una aplicación móvil en Android basado en IoT para el monitoreo de datos Data control and telemetry system through an Android mobile application based on IoT for data monitoring*. Revistaespacios.com. Recuperado el 19 de agosto de 2022, de <https://www.revistaespacios.com/a18v39n22/a18v39n22p30.pdf>
- [42] (Real Aragón, S. (2018). IOT – Posicionamiento en mapas de Google empleando bases de datos y coordenadas GPS. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- [43]Crisgar, P. V., Wijaya, P. R., Pakpahan, M. D. F., Syamsuddin, E. Y., & Hasanuddin, M. O. (2021). GPS-based vehicle tracking and theft detection systems using Google cloud IoT core & firebase. *2021 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, 1–6.
- [44]Electrónica, I. (s/f). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA*. Edu.ec. Recuperado el 19 de agosto de 2022, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19703/1/UPS%20-%20TTS228.pdf>
- [45] Torrent Burgues, M., Perat Benalvides, J. I., Blanque Molina, B., & Soriano Almodovar, S. (2015). CARACTERIZACIÓN DE MOTORES DE INDUCCIÓN PARA TRACCIÓN FERROVIARIA A PARTIR DEL CIRCUITO EQUIVALENTE, INCLUYENDO TODAS LAS PÉRDIDAS DEL MOTOR. *Dyna*, 90(3), 87–95. <https://doi.org/10.6036/7179>

- [46] Francisco, D., Barrera, O., Gonzalez, A. L., & Mecánico, M. I. (s/f). *DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN PARA VEHÍCULOS*. Edu.co. Recuperado el 5 de octubre de 2023, de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/61190/12530.pdf?sequence=1>
- [47] Cano-de-la-Cuerda, R., Molero-Sánchez, A., Carratalá-Tejada, M., Alguacil-Diego, I. M., Molina-Rueda, F., Miangolarra-Page, J. C., & Torricelli, D. (2015). Teorías y modelos de control y aprendizaje motor. Aplicaciones clínicas en neurorrehabilitación. *Neurologia (Barcelona, Spain)*, 30(1), 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2011.12.010>
- [48] Carreño Aguillon, E. D. P., Vacca Melo, E. A., & Lugo Ariza, I. (2012). Diseño y fabricación de un vehículo autonomo impulsado por energía solar. *Tecnura*, 16(32), 92–107. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2012000200009
- [49] Ahmed Baba, M., Naoui, M., & Cherkaoui, M. (2023). Fault-tolerant control strategy for hall sensors in BLDC motor drive for electric vehicle applications. *Sustainability*, 15(13), 10430. <https://doi.org/10.3390/su151310430>

- [50] Rodríguez Carrillo, A. M., Ortiz, M. G., & Thomas, J. E. (2020). Baterías de ion litio: presente y futuro. En *Rodríguez Carrillo, Augusto Manuel; Ortiz, Mariela Gisela; Thomas, Jorge Enrique; Baterías de ion litio: presente y futuro; Universidad Nacional de La Plata* (Vol. 165, p. 177). Universidad Nacional de La Plata.
- [51] V. Totev and V. Gueorgiev, "Batteries of Electric Vehicles," 2021 13th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), Varna, Bulgaria, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/BulEF53491.2021.9690824.
- [52] Alarcon Vanegas, W. A., & Sánchez Jaimes, S. (2021). *Características de baterías para instalaciones de sistemas fotovoltaicos aislados en zonas rurales del departamento de Santander Colombia*.
<http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/8311>
- [53] Alarcon Vanegas, W. A., & Sánchez Jaimes, S. (2021). *Características de baterías para instalaciones de sistemas fotovoltaicos aislados en zonas rurales del departamento de Santander Colombia*.
<http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/8311>

- [54] Héctor, B., & Castillo López, L. (s/f). *Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones*. Edu.pe. Recuperado el 5 de octubre de 2023, de <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/3403/IEYT-CAS-LOP-2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [55] Pablo Argos Cobo. (2019). DISEÑO DE CONVERTIDOR CON DOBLADOR DE CORRIENTE Y RECTIFICACIÓN SÍNCRONA PARA LA CARGA DE BATERÍAS LiFePO₄ (Converter design with current-doubler and synchronous rectification for LiFePO₄ battery charging). ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DETELECOMUNICACIÓN. <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/15687/414859.pdf?sequence=1>
- [56] Rodríguez, A., Ortiz, M., & Thomas, J. (s/f). *Baterías de ion litio: presente y futuro*. Edu.ar. Recuperado el 5 de octubre de 2023, de <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/81/35081/a05b0f92e176924a0a8a841528d0df88.pdf>
- [57] Proyecto de Grado Para la Obtención del Título, de I. en M. A. (s/f). *Diseño de una Electrolinera Móvil para Vehículos Tipo M1 Empleando un Cargador Eléctrico de 20 Kw*. Edu.ec. Recuperado el 5 de octubre de 2023, de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/4963/1/T-UIDE-0212.pdf>

[58] de Energía, O. L. (s/f). *Vista de Diseño de una estación de carga solar para vehículos eléctricos en centros comerciales*. Olade.org. Recuperado el 5 de octubre de 2023, de <https://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/164/260>

[59] J.V. Restrepo, D. Tobón, "Desarrollo de estación de carga de vehículos eléctricos", Lámpsakos, no. 19, pp 22-29, 2018 DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.2532>

[60] de Arquitectura, E. (s/f). *UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID*.
Universidadeuropea.com. Recuperado el 5 de octubre de 2023, de
https://titula.universidadeuropea.com/bitstream/handle/20.500.12880/2067/tfg_GonzalezPadron_Joanes.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[61] E.Napoles, R. Gonzalez, "Una itroduccion al análisis de elementos finitos", september 2015: [\(PDF\) Una introducción al Análisis por Elementos Finitos: aplicaciones y ejemplos \(researchgate.net\)](#)

[62] Barrera, M. C., Jurado Pérez, M. I., Razo Hernández, M. I., & González, M. C.
(s/f). *Aerogenerador de eje vertical para aplicaciones In-situ Análisis y modelado de un aerogenerador de eje vertical*. Edu.mx. Recuperado el 5 de octubre de 2023, de
<https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes1/Aerogenerador%20de%20eje%20vertical%20para%20aplicaciones%20In%20Situ.pdf>

[63] Fraire, D. J. (s/f). *DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE EJE VERTICAL PARA USO URBANO DE 3 KW*. Edu.ar. Recuperado el 5 de octubre de 2023, de

https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/4609/Diseño%20de%20un%20aerogenerador%20de%20eje%20vertical%20para%20uso%20urbano%20de%203kw_Fraire.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [64] N.Tarque, G. Camata, "Método de elementos finitos aplicado al estudio de estructuras existentes: caso cargas de gravedad",.: [bing.com/ck/a?!&&p=cd71eef418c26fe5JmldHM9MTcxNDM0ODgwMCZpZ3VpZD0zODY1OWZjNS1lNTk3LTY4OTctMDNkNC04Y2Y4ZTQzODY5ZmUmaW5zaWQ9NTE4Nw&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=38659fc5-e597-689703d48cf8e43869fe&psq=Método+de+elementos+finitos+aplicado+al+estudio+de+estructuras+existentes%3a+casos+de+cargas+de+gravedad+tarque&u=a1aHR0cHM6Ly9yZXZpc3Rhcy5wdWNwLmVkdS5wZS9pbmRleC5waHAvY2l2aWxpe mF0ZS9hcnRpY2xlL2Rvd25sb2FkLzE1MjcyLzE1NzM3&ntb=1](https://www.bing.com/ck/a?!&&p=cd71eef418c26fe5JmldHM9MTcxNDM0ODgwMCZpZ3VpZD0zODY1OWZjNS1lNTk3LTY4OTctMDNkNC04Y2Y4ZTQzODY5ZmUmaW5zaWQ9NTE4Nw&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=38659fc5-e597-689703d48cf8e43869fe&psq=Método+de+elementos+finitos+aplicado+al+estudio+de+estructuras+existentes%3a+casos+de+cargas+de+gravedad+tarque&u=a1aHR0cHM6Ly9yZXZpc3Rhcy5wdWNwLmVkdS5wZS9pbmRleC5waHAvY2l2aWxpe mF0ZS9hcnRpY2xlL2Rvd25sb2FkLzE1MjcyLzE1NzM3&ntb=1)
- [65] Daza Rodríguez, R. (2018). *Implementación de modelos de elementos finitos inelásticos para la simulación del comportamiento de muros de concreto reforzado*. Universidad del Norte.
- [66] R. A. Peña Suesca, A. I. . Santos León, and C. L. . Trujillo Rodríguez, "Análisis para la selección de sistemas de almacenamiento basados en baterías para microrredes eléctricas", *Ing.*, vol. 25, no. 3, pp. 284–304, Oct. 2020.
- [67] Tituaña, A. A. S. (s/f). *Estudio de la incorporación de baterías en sistemas fotovoltaicos*. Diposit.ub.edu. Recuperado el 5 de octubre de 2023, de

https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/101966/1/TFM_MERSE_Alberto%20Santillán.pdf

[68] Introducción, 1. (s/f). *CLASIFICACIÓN DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA SEGÚN SU FORMA DE EXCITACIÓN*. Com.pe. Recuperado el 5 de octubre de 2023, de <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2022/07/ARTICULO-WORD-1.pdf>

[69] Quispe, E. C., & Mantilla, L. F. (s/f). *Motores Eléctricos de Alta Eficiencia Características Electromecánicas, Ventajas y Aplicabilidad*. Unican.es. Recuperado el 5 de octubre de 2023, de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1936/Motores%20el%C3%A9ctricos.pdf?sequence=1>

[70] el MET, L. F. C. I. a. T. (s/f). *Motores eléctricos trifásicos: características constructivas y tipos de arranques*. Com.ar. Recuperado el 5 de octubre de 2023, de https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie332_farina_motores.pdf

[71] Ramos-Paja, C. A., Saavedra-Montes, A. J., & Bastidas-Rodríguez, J. D. (2018). Cargador de baterías fotovoltaico con control por modos deslizantes y limitación de

la derivada de corriente de carga. *TecnoLógicas*, 21(42), 129–145.

<https://doi.org/10.22430/22565337.784>

[72] Ramos-Paja, C. A., Saavedra-Montes, A. J., & Bastidas-Rodríguez, J. D. (2018).

Cargador de baterías fotovoltaico con control por modos deslizantes y limitación de la derivada de corriente de carga. *TecnoLógicas*, 21(42), 129–145.

<https://doi.org/10.22430/22565337.784>

[73] TORE M. UNDELAND Department of Electrical Power Engineering Norwegian

University of Science and Technology

[74] Hernández, A. N. C. (s/f). *ANÁLISIS DE LOS CONVERTIDORES DE*

ELECTRÓNICA DE POTENCIA A TRAVÉS DE UNA INTERFAZ DE MATLAB.

Edu.co. Recuperado el 5 de octubre de 2023, de

<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/897dbbb9-7859-48b2-a1bc-21a6522a7ed1/content>

[75] Castro, A. V. (2019). Fundamentos de internet das coisas - IOT. Brasil.

[76] empresa SITRACK en su ebook denominado "Telemetría la solución a los problemas empresariales"

[77] página oficial de Arduino iot cloud <https://docs.arduino.cc/arduino-cloud/>

