



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**OPTIMIZACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE UN SCOOTER ELÉCTRICO MEDIANTE
LA INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE FRENO REGENERATIVO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: JORGE MARCELO ALMEIDA VELOZ

DANIEL WLADIMIR SIMBAÑA MOROCHO

TUTOR: JHONNY JAVIER BARRERA JARAMILLO

Quito - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jorge Marcelo Almeida Veloz con documento de identificación N° 1721811642 y Daniel Wladimir Simbaña Morocho con documento de identificación N° 1752155257, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 1 de agosto del año 2024

Atentamente,



Jorge Marcelo Almeida Veloz
1721811642



Daniel Wladimir Simbaña Morocho
1752155257

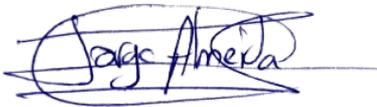
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Jorge Marcelo Almeida Veloz con documento de identificación No. 1721811642 y Daniel Wladimir Simbaña Morocho con documento de identificación No. 1752155257, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Optimización de la autonomía de un scooter eléctrico mediante la integración de un sistema de freno regenerativo”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 1 de agosto del año 2024

Atentamente,



Jorge Marcelo Almeida Veloz

1721811642



Daniel Wladimir Simbaña Morocho

1752155257

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jhonny Javier Barrera Jaramillo Docente con documento de identificación N° 1400378475, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: OPTIMIZACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE UN SCOOTER ELÉCTRICO MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE FRENO REGENERATIVO, realizado por Jorge Marcelo Almeida Veloz con documento de identificación N° 1721811642 y por Daniel Wladimir Simbaña Morocho con documento de identificación N° 1752155257, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 1 de agosto del año 2024

Atentamente,



Ing. Jhonny Javier Barrera Jaramillo MsC.

1400378475

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto, especialmente, a Dios, quien me ha dado la vida y la fortaleza para terminar este trabajo de titulación.

A mi madre y a mis abuelitos, por su apoyo incondicional y por todo su amor y cariño. Gracias, Norma, Ruperto y Rosa, por confiar en mí y por hacer de mí una mejor persona a través de sus consejos y enseñanzas. Los quiero mucho y los admiro.

También se lo dedico con mucho respeto al resto de mi familia, amigos y tutor de tesis, por su apoyo constante y por estar siempre a mi lado.

Jorge Almeida

Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia, enamorada y amigos. Principalmente, a mi madre María, hermano Alan y abuelita Filomena que me han brindado su apoyo incondicional, estuvieron en los momentos malos y en los buenos. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza, guiarme con su sabiduría y por creer en mí.

Me han enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño. Todo esto con una enorme dosis de amor y sin pedir nada a cambio.

También quiero dedicarles este trabajo a nuestros compañeros de grupo, a quienes dedico un profundo agradecimiento por su esfuerzo colaborativo y dedicación en la realización de este proyecto. Con materiales económicos, hemos trabajado incansablemente para optimizar la autonomía de un scooter eléctrico, buscando economizar tiempo y recursos.

Daniel Simbaña

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, así como a sus ingenieros y maestros, quienes han tenido la paciencia para guiarme por el camino correcto, han hecho de mí una persona culta y, sobre todo, me han inculcado principios y valores. Toda su enseñanza y aprendizaje los aplicaré en mi vida profesional para ser un gran aporte a la sociedad.

Jorge Almeida

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la carrera de Ingeniería Automotriz, por brindarme la oportunidad de formarme académicamente en un entorno de excelencia y dedicación.

Agradezco especialmente a mis respetados maestros y tutor de tesis cuya paciencia y guía han sido fundamentales para mi desarrollo académico y personal. Han no solo impartido conocimientos, sino que también han inculcado en mí principios y valores que llevaré como un legado en mi carrera profesional. Todo lo aprendido en su enseñanza será aplicado en mi vida profesional, aspirando a ser un aporte significativo para la sociedad.

Este logro no hubiera sido posible sin el apoyo y la dedicación de cada uno de ustedes. Estaré eternamente agradecido por su influencia positiva en mi formación.

Daniel Simbaña

CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
PROBLEMA	4
Objetivo General.	7
Objetivos Específicos.	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
Sistema de freno regenerativo	7
Función del sistema de freno regenerativo	8
Aspectos del funcionamiento del freno regenerativo	9
Ventajas y desventajas de los frenos regenerativos	9
Componentes mecánicos	10
Electromovilidad	10
CAPÍTULO I	13
ANÁLISIS SITUACIONAL	13
1.1 Mercado latinoamericano de scooters eléctricos	13
1.2 Ventajas en el uso de Scooter Eléctricos:	13
1.3 Situación del mercado de los scooters eléctricos en el Ecuador:	14
1.4 Clasificación de Vehículos L1 y L3 Ecuador	16
1.5 Normativa uso vehículos L1 y L3 en Ecuador	16
1.6 Muestreo y recopilación de datos	17
1.6.1. Análisis e interpretación de las encuestas.....	17
1.6.2. Análisis general de la encuesta	22
1.7 Beneficios directos de la implementación del proyecto:	23
CAPÍTULO II.....	24
DISEÑO DEL PROYECTO	24
2.1 Selección del equipamiento y los dispositivos:	24
2.1.1 Scooter BX10	24
2.1.2 Motor EléctricoSin Escobillas	25
2.1.3 Controladora	26
2.1.4 Baterías de plomo ácido:	27
2.2 Diseño y configuración del Sistema:	29
2.3 Optimización del rendimiento:	30
2.4 Operación del sistema de freno regenerativo	31
2.5 Cálculo la eficiencia de un sistema de freno regenerativo	31
CAPÍTULO III	32
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE FRENO REGENERATIVO EN EL SCOOTER.....	33
3.1 Integración de tecnología de freno regenerativo en el scooter eléctrico	33
3.1.1 Componentes del sistema de freno regenerativo	33
3.2 Pasos de instalación del sistema de freno regenerativo	34
3.2.1 Desmontaje del motor eléctrico del Scooter.....	34

3.2.2 Instalación del motor con freno regenerativo	35
3.2.3 Desmontaje de la controladora antigua e instalación del nuevo controlador	37
3.2.4 Conexión de la controladora a las baterías:	38
3.2.5 Instalación de la pantalla digital	39
3.2.6 Verificación final de la instalación:	40
3.3 Mantenimiento y seguridad	41
CAPÍTULO IV.....	42
PRUEBAS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	42
4.1. Definición y preparación de las pruebas.....	42
4.2. Pruebas realizadas	42
4.2.1 Prueba #1: Trayecto corto.....	42
4.2.2 Prueba #2: Trayecto medio	45
4.2.3 Prueba #3: Trayecto largo.....	48
4.3. Resumen de las pruebas realizadas.....	51
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	55
ANEXOS.....	59
ANEXO 1: Formato de la encuesta aplicada.....	59
ANEXO 2. Modelamiento del motor regenerador para la instalación en el scooter.	60
ANEXO 2.1. Modelamiento del motor regenerador para la instalación en el scooter.	61
ANEXO 3: Flujogramas de ensamble del motorSin Escobillas de freno regenerativo.....	62
ANEXO 3.1: Flujogramas de ensamble del motorSin Escobillas de freno regenerativo....	63
ANEXO 4: Ensamble del motorSin Escobillas de freno regenerativo.....	64
ANEXO 5: Data sheet controladora del motor regenerativo.....	65
ANEXO 5.1: Data sheet conexiones de la controladora del motor regenerativo	66
ANEXO 6: Instalación de la controladora del motor renegerativo	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mercado de Scooters eléctricos	74
Figura 1.2: Uso diario de un scooter	76
Figura 1.3: Distancias de uso	78
Figura 1.4: Tiempo de carga del scooter	79
Figura 1.5: Aceptación para optimizar autonomía de scooter	80
Figura 1.6: Conocimiento de los sistemas de freno regenerativo	81
Figura 2.1: Scooter eléctrico BX10	83
Figura 2.2: MotorSin Escobillas Scooter BX10	85
Figura 2.3: Controladora	86
Figura 2.4: Diagrama eléctrico de la controladora	86
Figura 2.5: Batería de Plomo Ácido	87
Figura 2.6: Diagrama eléctrico de la conexión de los componentes del Scooter	88
Figura 3.1: Motor regenerador sin escobillas	93
Figura 3.2: Desmontaje del motor eléctrico del scooter	94
Figura 3.4: Ensamblaje del motor regenerador	95
Figura 3.6: Controlador del freno regenerativo	98
Figura 3.7: Instalación del controlador en el scooter	99
Figura 3.9: Baterías de plomo	101
Figura 3.10: Pantalla digital del estado de carga	102
Figura 3.11: Scooter con el freno regenerativo instalado	103
Figura 4.1: Ruta de la Prueba #1	105
Figura 4.2: Recorrido de la prueba #2	107
Figura 4.3: Recorrido de la prueba #3	109
Figura 4.4: Desgaste de la batería por prueba	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Uso diario de un vehículo eléctrico (Scooter)	17
Tabla 1.2: Tipos de recorrido diarios	18
Tabla 1.3: Tiempo de carga del scooter	19
Tabla 1.4: Aceptación para optimizar autonomía de scooter	20
Tabla 1.5: Conocimiento de los sistemas de freno regenerativo	21
Tabla 2.1: Características del scooter BX10	25
Tabla 2.2: Características de la controladora	26
Tabla 2.3: Características de las baterías de plomo	28
Tabla 3.1: Componentes necesarios para la implementación del freno regenerativo.	34
Tabla 3.2: Ficha técnica del motor Sin Escobillas tipo regenerador	36
Tabla 3.3: Ficha técnica de la nueva controladora.	37
Tabla 3.4: Ficha técnica de la Pantalla LCD	39
Tabla 4.1: Resultados de la prueba #1 (Peso combinado: 110 Kg)	43
Tabla 4.2: Resultados de la prueba #1 (Peso combinado: 130 Kg)	44
Tabla 4.3: Resultados de la prueba #2 (Peso combinado: 110 Kg)	46
Tabla 4.4: Resultados de la prueba #2 (Peso combinado: 130 Kg)	46
Tabla 4.5: Resultados de la prueba #3 (Peso combinado: 110 Kg)	49
Tabla 4.6: Resultados de la prueba #3 (Peso combinado: 130 Kg)	49
Tabla 2.4: Resumen de las pruebas con sus respectivos datos	52

RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo implementar un sistema de freno regenerativo en un scooter para aprovechar los ciclos de frenado para recuperar la energía de la batería y optimizar la autonomía del vehículo. Este tema es de gran relevancia ya que se suma a las propuestas para fomentar una movilidad eléctrica usando la energía cinética del vehículo que normalmente se desperdicia durante la desaceleración. La metodología utilizada en el estudio fue cuantitativa y experimental. Se recabó información a través de una encuesta entre varios usuarios para comprender de una mejor forma las necesidades y expectativas respecto al sistema de freno regenerativo. Posteriormente, se analizaron las características técnicas del motor original del scooter para determinar la mejor opción en cuanto a los componentes de reemplazo para implementar un motor regenerador sin tener que modificar la estructura ni alterar otros componentes del vehículo.

Las pruebas realizadas se concentraron en recorridos con rutas cortas, medias y largas en las que procedió a medir el desgaste de la batería al utilizar el scooter con el motor original y con el motor regenerador. Posteriormente se realizó un análisis comparativo, en el cual se consideraron parámetros clave tales como: la distancia recorrida, el tiempo de duración, la carga combinada (peso del scooter y del conductor), el desgaste de la batería, la velocidad promedio y la velocidad máxima.

Los resultados obtenidos permitieron evaluar el desempeño del sistema de freno regenerativo implementado, confirmando su factibilidad por cuanto permitió mejorar la eficiencia energética y la autonomía del scooter eléctrico.

Palabras Claves: Freno regenerativo, scooter, electromovilidad

ABSTRACT

The objective of this degree project is to implement a regenerative braking system in a scooter to take advantage of the braking cycles to recover battery energy and optimize the vehicle's autonomy. This topic is of great relevance since it adds to the proposals to promote electric mobility using the kinetic energy of the vehicle that is normally wasted during deceleration. The methodology used in the study was quantitative and experimental. Information was collected through a survey among several users to better understand the needs and expectations regarding the regenerative braking system. Subsequently, the technical characteristics of the original scooter engine were analyzed to determine the best option in terms of replacement components to implement a regenerative engine without having to modify the structure or alter other components of the vehicle.

The tests carried out focused on routes with short, medium and long routes in which the battery wear was measured when using the scooter with the original motor and with the regenerating motor. Subsequently, a comparative analysis was carried out, in which key parameters were considered such as: distance traveled, duration time, combined load (weight of scooter and driver), battery wear, average speed and speed. maximum.

The results obtained allowed us to evaluate the performance of the implemented regenerative braking system, confirming its feasibility as it allowed us to improve the energy efficiency and autonomy of the electric scooter.

Keywords: Regenerative brake, scooter, electromobility

INTRODUCCIÓN

Los vehículos eléctricos, tipo scooter, representan actualmente una importante solución de movilidad que ha ganado notable popularidad en áreas urbanas debido a su bajo impacto ambiental y eficiencia energética. No obstante, existe una oportunidad significativa para mejorar aún más su eficiencia mediante la modificación del motor eléctrico a un motor generador, lo cual permite recuperar y reutilizar la energía cinética durante la desaceleración y frenado.

Este proyecto se fundamenta en el análisis y la implementación de un sistema de regeneración de la carga en las baterías de los scooters eléctricos, con el objetivo de optimizar su autonomía operativa. Esto es particularmente relevante como una alternativa de movilidad en la ciudad de Quito, donde el transporte enfrenta múltiples desafíos, incluida la limitada autonomía de los scooters eléctricos actuales.

El estudio se centra en el funcionamiento de un sistema de freno regenerativo, adaptado a un scooter eléctrico de bajo costo, utilizando parámetros adecuados para mejorar su autonomía, eficiencia y rentabilidad a través del ahorro en los ciclos de carga. Este enfoque no solo tiene implicaciones prácticas para scooters eléctricos, sino que también puede ser aplicable a vehículos eléctricos con características similares, aportando tanto en el ámbito teórico como experimental.

Durante la implementación del freno regenerativo, se analizará la variación de la relación de transmisión para observar su efecto en indicadores claves como la autonomía, la recuperación de energía y la eficiencia. Los resultados preliminares han demostrado que la incorporación de este tipo de frenado optimiza la autonomía del scooter eléctrico, mejorando así su aprovechamiento para la movilidad eléctrica sin presentar inconvenientes significativos durante su operación.

Por lo tanto, es esencial contar con los equipos adecuados y proceder con una implementación para mejorar significativamente el rendimiento del scooter modificado. Esto traerá numerosos beneficios para los usuarios, incluyendo una mayor eficiencia y la capacidad de llegar a su destino en menor tiempo, lo cual refuerza la efectividad de los scooters eléctricos como un medio de transporte urbano viable y sostenible.

PROBLEMA

En la actualidad, existe un gran interés con respecto a la movilidad eléctrica en el Distrito Metropolitano de Quito, considerándola una alternativa de transporte más ágil y rápida debido a la gran cantidad de tráfico que se genera en la ciudad, especialmente en las zonas céntricas. Montiel (2023) destaca que, en los últimos años, ya sea por costo, impacto ambiental o bienestar humano, los autos eléctricos se han posicionado como una alternativa eficaz a los motores de combustión interna. Además, la rápida disminución del rendimiento de los vehículos con motor de combustión interna y el crecimiento en la adopción de vehículos eléctricos, combinados con beneficios económicos y ambientales, han impulsado a más usuarios hacia la movilidad eléctrica, creando nuevas oportunidades de desarrollo e innovación.

De acuerdo con Loaiza (2023) Quito es actualmente la ciudad más congestionada en Ecuador, ocupando el tercer lugar en América del Sur y el puesto número 40 a nivel mundial. Los estudios sobre movilidad indican que los habitantes de Quito pierden alrededor de 70 horas mensuales debido al tráfico, y se alcanza una velocidad promedio de 17.7 km/h en los viajes al centro de la ciudad. Esta situación se agrava debido a que el país no posee una industria automotriz especializada en el diseño y construcción de vehículos eléctricos. Sin embargo, las ventas de vehículos eléctricos e híbridos han aumentado notablemente en los últimos años. En Primicias (2024) se menciona que las ventas de estos vehículos híbridos aumentaron en un 53% en comparación con el año anterior, debido a exenciones fiscales como la ausencia de aranceles de importación, impuesto al valor agregado e impuestos a los consumos especiales.

El problema del tráfico en Quito se debe a varias causas interrelacionadas, entre las que se pueden mencionar el crecimiento urbano desorganizado que ha llevado a una expansión vehicular descontrolada, y sumado a esto, el aumento significativo del número de vehículos privados en circulación. Además, la falta de una infraestructura adecuada para soportar el volumen de tráfico contribuye a los frecuentes embotellamientos y retrasos. La escasez de opciones de transporte público eficientes y accesibles obliga a los ciudadanos a depender de vehículos privados, agravando la congestión (Jaramillo & Espinel, 2022).

Los efectos de este tráfico intenso originan pérdida de tiempo en atascos afecta la productividad de los habitantes y su calidad de vida. Además, el tráfico denso contribuye significativamente a la contaminación ambiental, aumentando las emisiones de CO₂ y otros contaminantes nocivos para la salud. Estos problemas generan un entorno urbano insostenible, con efectos adversos tanto para el medio ambiente como para la salud pública. No obstante de los anterior, García (2023) señala que, a pesar de su popularidad, los scooters eléctricos tienen una desventaja en términos de autonomía, ya que no están diseñados para trayectos largos y no incorporan sistemas de freno regenerativo que permitan aprovechar la energía cinética durante la desaceleración.

La implementación de un sistema de freno regenerativo en scooters eléctricos permitirá optimizar su autonomía al recargar la batería durante la desaceleración, evitando el desperdicio de energía en forma de calor en los discos de freno. Este proyecto es factible y beneficioso, ya que permitirá a los estudiantes y otras personas desplazarse de manera eficiente y económica en la ciudad de Quito, reduciendo la pérdida de tiempo y el consumo de energía.

La integración de un sistema de freno regenerativo en scooters eléctricos en Quito es ideal debido a varias razones técnicas, entre ellas, debido a que las condiciones de tráfico en Quito son extremadamente congestionadas, lo que requiere soluciones de movilidad ágiles que minimicen el tiempo perdido en el tráfico. Los scooters eléctricos, equipados con freno regenerativo, pueden ofrecer una alternativa eficiente en estas condiciones.

Además, los beneficios ambientales son significativos, ya que los scooters eléctricos con freno regenerativo contribuyen a la reducción de emisiones de CO₂, alineándose con las políticas ambientales y los objetivos de sostenibilidad de la ciudad. Así mismo, el freno regenerativo permite aprovechar la energía cinética generada durante la desaceleración, mejorando la autonomía del scooter y reduciendo la necesidad de recargas frecuentes.

La viabilidad económica también es un factor para considerar, ya que la exención de impuestos y aranceles en la importación de vehículos eléctricos y sus componentes hace que la implementación del freno regenerativo sea económicamente viable. Finalmente, la adaptación de tecnologías avanzadas en la movilidad eléctrica fomenta la innovación y puede posicionar a Quito como una ciudad líder en el uso de soluciones tecnológicas para el transporte urbano.

La implementación del sistema de freno regenerativo requiere analizar las características del motor eléctrico del scooter para asegurar una adecuada relación mecánica con la rueda durante la regeneración de energía. Además, se deben utilizar tecnologías avanzadas para controlar y gestionar la energía recuperada, asegurando que se almacene eficientemente en la batería.

Delimitación del problema

La congestión vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito ha alcanzado niveles críticos, afectando la calidad de vida de sus habitantes y generando importantes problemas ambientales. Este proyecto se centra en abordar esta problemática mediante la implementación de sistemas de freno regenerativo en scooters eléctricos, optimizando su autonomía y promoviendo su uso como una alternativa de transporte eficiente y sostenible. Para entender y delimitar adecuadamente el problema, es crucial analizar los siguientes aspectos:

El estudio se centrará en la ciudad de Quito, capital de Ecuador, una de las ciudades más congestionadas de América del Sur. La investigación abarcará las zonas donde se concentra el mayor tráfico, como las rutas clave que conectan las diferentes partes de la ciudad, específicamente alrededor del campus sur de la Universidad Politécnica Salesiana.

La población objetivo incluye principalmente a los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana, así como a los ciudadanos que utilizan scooters eléctricos para desplazarse dentro de la ciudad. Esta población enfrenta diariamente los desafíos del tráfico y puede beneficiarse directamente de la mejora en la autonomía de los scooters eléctricos.

El estudio se llevará a cabo durante un período de seis meses, durante el cual se implementará el sistema de freno regenerativo, realizar las pruebas necesarias y analizar los resultados. Este periodo incluye fases de instalación, prueba, recolección de datos y análisis.

La investigación se enfocará en la viabilidad técnica de integrar sistemas de freno regenerativo en scooters eléctricos., como una alternativa para optimizar el consumo de energía y la menor necesidad de recargas.

Se identificarán los componentes necesarios para realizar el cambio de un motor eléctrico a un motor regenerador, incluyendo la disponibilidad de scooters eléctricos compatibles con

el sistema de freno regenerativo, y se considerarán las limitaciones técnicas que puedan surgir durante la implementación y prueba del sistema.

Objetivo General.

Optimizar la autonomía de un scooter eléctrico tipo ciclomotor, utilizando un sistema de freno regenerativo basado en un motor generador que permita aprovechar la energía cinética del vehículo durante los ciclos de frenado.

Objetivos Específicos.

- Evaluar el estado actual de la autonomía de los scooters eléctricos en condiciones normales de uso y los diferentes factores que afectan a su rendimiento como el terreno, la velocidad y el estilo de conducción.
- Seleccionar los componentes apropiados y los diferentes sistemas para la implementación del sistema de freno regenerativo.
- Adaptar el sistema de freno regenerativo en el vehículo eléctrico, configurando la controladora con los parámetros adecuados para gestionar de forma eficiente el proceso de carga de la batería.
- Realizar pruebas de conducción con el scooter modificado, para evaluar su autonomía y desempeño en diferentes escenarios reales que incluyan pendientes, superficies planas y situaciones de tráfico.
- Analizar los resultados de las pruebas realizadas para determinar la mejora en la eficiencia y autonomía del scooter usando el motor eléctrico original y el motor regenerador de freno regenerativo.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Sistema de freno regenerativo

El sistema de freno regenerativo se basa en el aprovechamiento de la energía cinética de los vehículos durante la desaceleración, lo que permite recargar la batería y evitar la pérdida de energía en forma de calor en los discos de freno. Este sistema, como menciona Chapi y Correa (2021) reduce la velocidad del vehículo al convertir una parte de su energía cinética en energía eléctrica, que se almacena para su uso posterior en un acumulador como un banco

de baterías, dependiendo del sistema de almacenamiento del vehículo. Las máquinas eléctricas reversibles pueden consumir energía eléctrica cuando funcionan como motores y generar energía cuando actúan como generadores, presentando esta característica en gran medida. Por lo tanto, estos motores están compuestos principalmente por los siguientes elementos:

- Estator, que resulta ser la pieza móvil;
- Rotor, que es la pieza rotativa (Vilcahuamán, 2021).

Se puede evidenciar que cuando el flujo de potencia surge del estator al rotor, este proceso es denominado como motor. No obstante, cuando estos flujos de potencia van del rotor al estator, es el denominado generador. Por ende, se toma en cuenta que este sistema radica en el desenvolvimiento de la energía directo a la batería cuando estos desaceleran a los vehículos mientras están en movimiento, entonces el vehículo que utiliza el sistema de frenado regenerativo basado en un motor eléctrico puede generar energía eléctrica adicional al de la carga que comenzó para que así se incremente las distancias recorridas.

Función del sistema de freno regenerativo

La función primordial del sistema de freno regenerativo es el almacenamiento de la energía cinética para poder desacelerar los vehículos o poderlos detener en su totalidad. Está basado en la creación de los giros de los grupos de imanes que se encuentran alrededor de los ejes de espiras.

Según Changoluisa y Erazo, 2023) el sistema de freno regenerativo funciona aprovechando el campo magnético variable generado por el giro de los imanes, lo cual induce un campo eléctrico en las espiras del núcleo. Los imanes, generalmente ubicados junto a las ruedas, y las espiras del estator, conectadas a un circuito hacia una batería, generan una corriente a partir de los movimientos magnéticos. Esta corriente es resultado de la activación del freno en los vehículos, permitiendo que el freno regenerativo recupere gran parte de la energía cinética del frenado y la convierta en energía eléctrica almacenada en las baterías.

Este tipo de frenado ofrece varias ventajas destacables, como la alta factibilidad de instalación, adecuación y operación. Además, evita el desperdicio de energía durante el frenado y aumenta la autonomía de los vehículos eléctricos. Gracias a estas características,

el freno regenerativo no solo mejora la eficiencia energética, sino que también contribuye a una mayor sostenibilidad y rendimiento de los vehículos eléctricos.

Aspectos del funcionamiento del freno regenerativo

Un sistema de freno regenerativo permite recargar las baterías utilizando la potencia de frenado. Durante el frenado regenerativo, la energía cinética, que de otro modo se desperdiciaría, se convierte en energía eléctrica. El proceso de frenado regenerativo depende de las capacidades que posee la batería, por lo cual este no puede ser continuo, ya que al llegar al máximo de su capacidad no debe continuar con el proceso de almacenamiento ya que puede provocar una sobrecarga de energía y causar daños en su operación.

En (Casadei, 2023) se menciona que el sistema de recuperación está constituido principalmente por tres componentes: primero, el motor generador, que se encarga de proporcionar la potencia de frenado del vehículo; en segundo lugar, la batería, que almacena la energía recuperada; y en tercer lugar, la unidad de control, que supervisa y gestiona todo el proceso de recuperación de energía.

El funcionamiento de un sistema de freno regenerativo requiere del uso del mecanismo de frenos convencional, pues este es el que activa el sistema de recuperación de energía y permite acumular los niveles de energía en la batería.

Ventajas y desventajas de los frenos regenerativos

Spencer (2019) da a conocer las siguientes ventajas y desventajas de los frenos regenerativos.

Ventajas:

- No posee pesos adicionales;
- Recupera la energía en el menor tiempo posible;
- Posee autonomía eléctrica;
- Retiene, convierte y reutiliza la energía cinética;
- Reduce los desgastes en los frenos convencionales;
- Las pastillas de freno se usan con menos frecuencia;
- Da un mejor desempeño en el vehículo;

- Mejora la economía del combustible;
- Reduce la contaminación;

Desventajas:

- No puede funcionar cuando la batería está llena;
- Son propensos a fallos totales, cuando están mal implementados;
- El frenado regenerativo puede sentirse diferente al convencional;
- Mantenimientos adicionales;
- Poseen menos fuerza que los discos;
- El rendimiento dependerá de la velocidad (Victoria, 2015).

Componentes mecánicos

Los componentes principales de los frenos regenerativos según (Monroy et al. , 2020) son los siguientes:

- **Máquina eléctrica (ME):** Es un motor de inducción que se usa como generador o como motor. El cual funciona como los motores, de la salida de par que se usa en las tracciones de los vehículos, que se combinan entre sí;
- **Sistema de engrane planetario (SEP):** Es la unión entre las fuentes de las potencias y las tracciones son los sistemas de engranaje planetario. El MCI están conectados a los engranajes solares SEP por medio de los frenos de embrague;
- **Frenos disipativos:** A la vez, son denominados frenos reostáticos, este por medio de las fricciones desaceleradas del vehículo generando calor en los procesos, y enfrían los tambores o discos de freno que disipa la energía térmica que irradia el aire, donde se desperdicia totalmente esa energía (Monroy et al., 2020).

Electromovilidad

La electromovilidad, es la que menciona la utilización de los vehículos eléctricos, donde son entendidos como aquellos que van haciendo utilización del combustible o de la energía alternativa, que son impulsados por uno o más motores de tipo eléctricos (Nochebuena et al., 2023). El objetivo principal, es la reducción de la emisión de los gases de efecto invernadero,

porque esto ayuda a poder combatir el cambio climático, la disminución de efectos negativos en la salud que son provocados por agentes contaminantes que están presentes en el aire.

Se evidencia que en la actualidad la electromovilidad, van representando grandes oportunidades para América Latina y el Caribe. En donde su implementación es la que contribuye a la incrementación de la resiliencia y seguridad energética, en donde ayuda a la reducción de los efectos negativos a nivel de la salud, lo que causa la contaminación local, mejorando los servicios de electricidad y a la vez de transporte, e incidirá en los procesos de descarbonización de las regiones (Michelena et al., 2023)

Se ha evidenciado que el sector del transporte público ha avanzado en la electrificación, ya que se ve en el mercado buses eléctricos, que ha ayudado la expansión de redes completas de flotas de buses de esta tipología lo que permite demostrar las ventajas que otorgan este tipo de tecnologías. Para empezar, ofrecen una mayor eficiencia energética en comparación a los buses de combustibles fósiles, por el hecho que no pueden generar gases contaminantes.

Por lo cual, se puede decir que una de las ventajas principales son los bajos costos de mantenimiento en comparación con los buses tradicionales, esto se da por los motores eléctricos que poseen menores cantidades de las piezas móviles, por lo tanto, no requieren de gran mantenimiento. También el sistema de frenado regenerativo ocasiona la prolongación de la vida útil de los frenos, por lo tanto, los costos de mantenimiento o cambio se reducen significativamente.

Principales motores usados en electromovilidad

Se clasifican de acuerdo si quieren corriente continua o corriente alterna, estos últimos se dividen entre síncronos y asíncronos o de inducción.

- **Motor de corriente continua:** Este sistema posee un estator que genera campos estáticos y un rotor equipado con bobinados y conmutadores de escobillas. El campo del estator es producido por varias bobinas, aunque en bicicletas y motos eléctricas generalmente se utilizan imanes permanentes. Al aplicar tensión sobre las bobinas, estas se alinean con el campo magnético de los imanes. Debido al efecto del conmutador, la tensión aplicada cambia de polaridad, lo que permite que el rotor continúe su movimiento rotatorio para realinearse nuevamente con el campo magnético (Spencer, 2019).

- **Motor de inducción:** Conocido como motor síncrono, este tipo de motor ofrece ventajas significativas debido a su sencilla construcción. Los motores están compuestos por un par de láminas de metal cortocircuitadas, formadas por barras conductoras con la forma de una jaula de ardilla. En este sistema, el campo magnético del estator gira a una velocidad ligeramente superior a la del rotor. La diferencia de velocidad entre el estator y el rotor, conocida como deslizamiento, induce corrientes en el rotor que generan el par motor (Spencer, 2019).
- **Motor síncrono con escobillas:** Poseen una bobina en el rotor que se conectan a la fuente de voltaje, la que continua por medio de los anillos deslizantes, en el estator se encuentran tres bobinas que estas son desplazadas a 120 grados que es alimentado con las fuentes trifásicas, y en consecuencia se crean los campos magnéticos giratorios (Spencer, 2019).
- **Motores de imanes permanentes sin escobillas:** Este motor mantiene una magnetización constante del rotor sin necesidad de corrientes de excitación, lo que representa aproximadamente la mitad de las pérdidas en motores de corriente alterna no auto excitados. Por lo tanto, estos motores son inherentemente más eficientes y generan menos calor que necesita ser disipado. Además, debido a la ausencia de colectores, escobillas, delgas o conmutadores, poseen una mayor densidad energética en comparación con otros tipos de motores (Spencer, 2019).

CAPÍTULO I

ANÁLISIS SITUACIONAL

En los últimos años, la movilidad eléctrica ha ganado mucha popularidad e importancia debido principalmente a sus beneficios ambientales y económicos. Bajo esta consideración, en el presente capítulo se realiza un análisis situacional sobre la relevancia regional y local que tienen actualmente los vehículos eléctricos, entre ellos los scooters de baja potencia, como una alternativa práctica y sostenible que favorece la movilidad urbana, destacándose por su eficiencia energética, bajo impacto ambiental, costos operativos reducidos y facilidad de uso en entornos urbanos de alto tráfico y congestión.

1.1 Mercado latinoamericano de scooters eléctricos

En América Latina, el mercado de los vehículos eléctricos biplaza, entre ellos los scooters, está impulsado por el creciente énfasis de las políticas regionales favorables hacia el desarrollo de estrategias de transporte sostenible, el control de emisiones y el fomento de uso de combustibles no fósiles. Por otra parte, la micromovilidad, representa uno de los aspectos más importantes que fomenta la aceptación y adquisición de los scooters eléctricos, gracias a sus beneficios, como la facilidad de movilidad, la comodidad y la rentabilidad.

Según las estadísticas, en el año 2023, el mercado latinoamericano de scooters eléctricos alcanzó un valor aproximado de USD 19,31 millones y se estima que el mercado de estos vehículos, experimentará un crecimiento saludable en un período de pronóstico de 2024-2032 para alcanzar USD 40,23 millones en 2032, debido principalmente a la rápida urbanización y el aumento de la población, lo cual aumenta de forma exponencial la demanda de estos vehículos eléctricos (EMR, 2023).

1.2 Ventajas en el uso de Scooter Eléctricos:

El uso de scooters eléctricos presenta diversas ventajas que los hacen atractivos en entornos principalmente urbanos. A continuación, se presentan algunos de esos beneficios:

- *Sostenibilidad y medio Ambiente:* Los scooters eléctricos no emiten gases de escape ni contaminantes locales, contribuyendo a la reducción de la contaminación del aire en entornos urbanos. Al ser impulsados por baterías recargables, los scooters eléctricos

tienen una huella de carbono más baja en comparación con los vehículos de combustión interna.

- *Eficiencia energética:* Los scooters eléctricos son más eficientes en el uso de energía en comparación con los vehículos de gasolina, lo que se traduce en un menor consumo de recursos energéticos y menores costos operativos a largo plazo.
- *Menor costo operativo:* Los costos de operación de un scooter eléctrico son considerablemente menores que los de un vehículo de gasolina, debido al menor costo de la electricidad en comparación con la gasolina y a un menor mantenimiento mecánico requerido.
- *Facilidad de uso y maniobrabilidad:* Los scooters eléctricos suelen ser más ligeros y más fáciles de manejar que los vehículos motorizados convencionales, lo que los hace ideales para desplazamientos urbanos y trayectos cortos. Son compactos y pueden maniobrar fácilmente en el tráfico urbano, lo que contribuye a una movilidad más ágil y rápida en comparación con los automóviles.
- *Reducción de ruido:* Los motores eléctricos son considerablemente más silenciosos que los motores de combustión interna, lo que reduce la contaminación acústica y mejora la calidad de vida en áreas urbanas densamente pobladas.
- *Flexibilidad y accesibilidad:* Los scooters eléctricos son una opción accesible para una amplia gama de usuarios, desde estudiantes y trabajadores hasta adultos mayores, debido a su facilidad de operación y bajo costo inicial en comparación con otros vehículos eléctricos más grandes.
- *Incentivos y regulaciones favorables:* En muchas ciudades y países, los scooters eléctricos pueden beneficiarse de incentivos fiscales y regulaciones favorables, como estacionamiento gratuito o reducción de tarifas de peaje, lo que fomenta su adopción y uso.

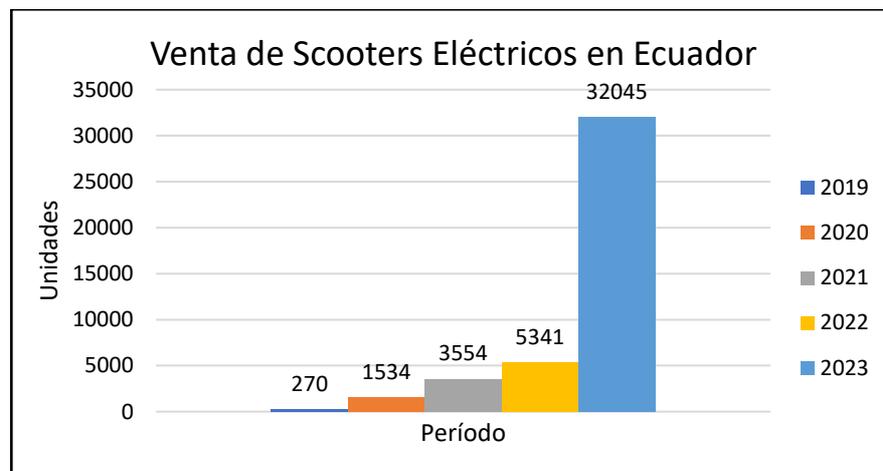
1.3 Situación del mercado de los scooters eléctricos en el Ecuador:

Los vehículos eléctricos, y los scooters en particular, se han convertido en una opción de transporte urbano eficiente y accesible en nuestro país, especialmente en ciudades muy congestionadas como Quito y Guayaquil. Sin embargo, uno de los desafíos más comunes

con estos vehículos es la limitada autonomía de sus baterías, lo que puede restringir su uso continuo y la conveniencia para los usuarios. La Agencia Nacional de Tránsito (ANT) homologa como motos eléctricas a aquellos vehículos bi-rueda con una potencia mayor a 1000 Watts. Por ello, la comercialización de motonetas, scooters, segways, bicicletas motorizadas con motores por debajo de este límite no son registradas por el SRI como una moto eléctrica. Esto hace muy difícil caracterizar el mercado de los scooters debido a que muchos de estos vehículos se venden de manera informal, es decir no necesariamente en concesionarios y, por ende, no siempre se generan registros ni estadísticas de las ventas.

No obstante de lo anterior, la Cámara de comercio de Quito (CCQ) determinó que, entre enero y julio del 2022, la importación de estos vehículos en el Quito creció más del doble frente a iguales meses del 2021, pasando de 2594 a 5314 unidades en ese lapso. La cifra de ese año es, además, 9 veces superior a la de iguales meses de 2020, cuando solo fueron 1270 unidades. La cifra no incluye a scooters tipo monopatín y bicicletas eléctricas que también tienen alta demanda y pertenecen a las soluciones de micromovilidad.

Figura 1.1: Mercado de Scooters eléctricos



Fuente: Cámara de Comercio Quito

Según la firma Green For Speed; a raíz de las restricciones de movilidad decretadas por la pandemia se incrementó la venta de este tipo de vehículos. Los clientes adquieren este tipo de motos por varias razones, es eco amigable con el planeta, ya que no emite CO2 y no contamina y sirve para movilizarse de una forma rápida una ciudad como Quito.

La empresa EMotos desde inicios del 2021 comercializa estos vehículos de la marca Super Soco, que son motos eléctricas de alta gama que llegan a tener una potencia de hasta 5000 watts de potencia. Estas alcanzan una velocidad de hasta 110 kilómetros por hora y una autonomía igual de 110 kilómetros. Estas motos están recomendadas para movilidad urbana porque la carga de la batería dura entre 6 y 8 horas, señaló José Zurita, asesor comercial de EMotos. Los precios van de USD 2 000 a USD 4 500.

1.4 Clasificación de Vehículos L1 y L3 Ecuador

El INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización), clasifica a los vehículos L1, aquellos impulsados con un motor de muy baja potencia asistido con pedales de bicicleta para poder asistir al motor en subidas; mientras que a un vehículo L3, como un vehículo motorizado de dos ruedas para uso terrestre. Dentro de este grupo se encuentran los Scooters Eléctrico, por ser un transporte es impulsado por un motor eléctrico potenciado por una batería.

1.5 Normativa uso vehículos L1 y L3 en Ecuador

En Ecuador los scooters aún son catalogados por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) como bicicletas y, gracias a esto, no requieren licencia, placas o matrícula, siempre que no superen la velocidad de 35 km / h. (Primicias, 2024). Además, se cuenta con el “Manual de Convivencia vial para vehículos eléctricos menores” en el cual se pueden apreciar las siguientes consideraciones:

- Restricción absoluta para transitar por aceras.
- Restricción de velocidad máxima a 5 km por hora en bulevares amplios y en calles peatonizadas (ya que estos vehículos tienen una regulación automática de velocidad)
- Se les permite transitar por ciclovías, con una velocidad máxima de 20 km/h.
- Puede utilizar los mismos espacios destinados a bicicletas si cumple con las siguientes características: hasta 25 kg de peso, 400 watts de potencia y 20 km/h de velocidad máxima.
- En el caso de vehículos de dos ruedas que ya son clasificados como motos o motonetas eléctricas, se debe pasar la revisión y obtener la matrícula, el conductor debe portar la licencia tipo A. Además, es obligatorio el uso de casco homologado. Este grupo se

caracteriza por poseer motores por sobre los 1000 watts de potencia, que pueden transitar a más de 50 km/h y un peso mayor a 80kg.

- Pueden transitar por cualquier vía a excepción de las perimetrales de más de 70 km por hora. Tiene preferencia de uso de carril, sobre todo el derecho. En vías colectoras deben transitar al margen de la vía.

1.6 Muestreo y recopilación de datos

Para establecer una línea base para el presente proyecto, se realizó una encuesta a un grupo aproximado de 46 personas residentes en el sector Sur de la ciudad que utilizan vehículos eléctricos diariamente, muchos de ellos usan scooters y son estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana. El objetivo fue recopilar datos sobre sus necesidades y percepciones en cuanto al uso de un vehículo eléctrico y su interés de incorporar de un sistema de freno regenerativo para optimizar la autonomía y el consumo de energía de la batería.

Los datos recopilados se analizaron para identificar la posible demanda y los beneficios esperados de la implementación de la tecnología de freno regenerativo en sus vehículos.

1.6.1. Análisis e interpretación de las encuestas

Una vez realizada la encuesta, se obtuvieron los datos obtenidos que se tabularon y se representan de forma gráfica con su respectivo análisis:

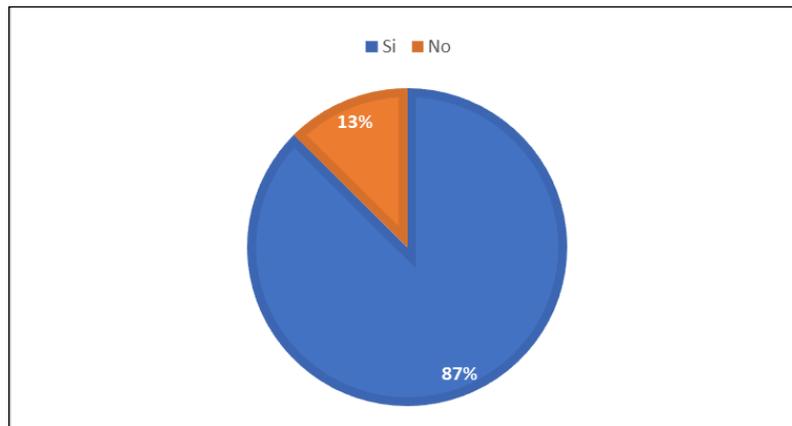
Pregunta #1: Utiliza un vehículo eléctrico para sus actividades diarias?

Tabla 1.1: Uso diario de un vehículo eléctrico (Scooter)

Respuesta	Frecuencia	%
Si	40	87
No	6	13
Total	46	100

Fuente: Autores

Figura 1.2: Uso diario de un scooter



Fuente: Autores.

Análisis:

La tabla 1.1 muestra que el 88% de las personas encuestadas utilizan un vehículo eléctrico diariamente, indicando una importante dependencia de estos vehículos lo cual refleja no solo la popularidad de los scooters entre las personas, sino también su conveniencia y eficiencia en el contexto urbano del sector.

La frecuencia de uso diario sugiere una demanda significativa para aumentar la autonomía y eficiencia energética de los scooters. Además, el uso generalizado de estos vehículos puede influir en la planificación urbana y las políticas de transporte, promoviendo la inversión en infraestructura de recarga y la adopción de vehículos eléctricos sostenibles. Implementar estas mejoras tecnológicas no solo beneficiaría a los usuarios individuales al reducir costos operativos y aumentar la sostenibilidad, sino que también contribuiría positivamente al entorno comunitario y urbano.

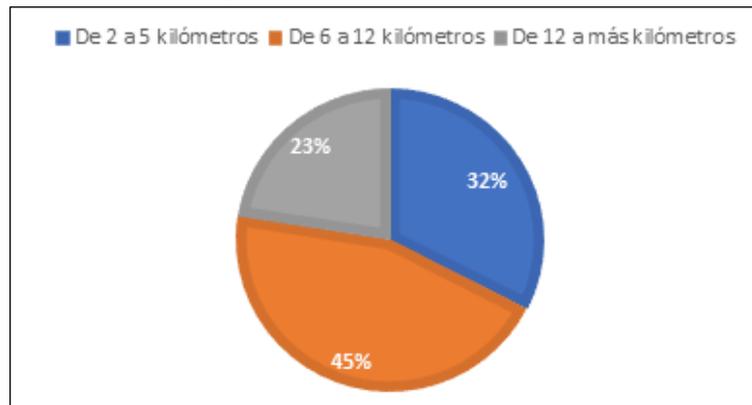
Pregunta #2: Cuál es el recorrido que realiza diariamente en su vehículo tipo scooter?

Tabla 1.2: Tipos de recorrido diarios

Respuesta	Frecuencia	%
De 2 a 5 kilómetros	13	33
De 6 a 12 kilómetros	18	45
De 12 a más kilómetros	9	23
Total	40	100

Fuente: Autores.

Figura 1.3: Distancias de uso



Fuente: Autores

Análisis:

Según la tabla 1.2, el 45% de los encuestados recorren de 6 a 12 kilómetros diariamente, lo que sugiere que dependen de estos vehículos para trayectos moderadamente largos dentro del entorno urbano. Este dato es significativo ya que indica que los scooters eléctricos son utilizados no solo para desplazamientos cortos, sino también para distancias más sustanciales, lo que refuerza la necesidad de optimizar la autonomía y eficiencia energética en estos vehículos. Por otra parte, el 33% de los encuestados indican que recorren entre 2 y 5 kilómetros diariamente, mientras que el 23% realiza trayectos superiores a los 12 kilómetros. Estos porcentajes demuestran que hay una variedad considerable en los patrones de uso, lo que implica que las mejoras tecnológicas, deben adaptarse a diferentes necesidades de autonomía. Los sistemas de freno regenerativo pueden ser particularmente beneficiosos para aquellos que recorren distancias más largas, ya que permiten recuperar y reutilizar energía, aumentando así la autonomía y reduciendo la necesidad de recargas frecuentes.

Pregunta #3: Cuál es el tiempo aproximado de carga de su vehículo tipo scooter?

Tabla 1.3: Tiempo de carga del scooter

Respuesta	Frecuencia	%
De 2 a 4 horas	12	30
De 5 a 8 horas	17	43
De 9 a más horas	11	28
Total	40	100

Fuente: Autores.

Figura 1.4: Tiempo de carga del scooter



Fuente: Autores.

Análisis:

La tabla 1.3 muestra que el 43% de los encuestados debe esperar entre 5 y 8 horas para lograr una carga total de sus scooters eléctricos, para realizar sus trayectos diarios. El 30% reporta una duración de 2 a 4 horas y el 28% más de 9 horas, reflejando variabilidad en las capacidades de las baterías y patrones de uso. Esto sin duda representa una oportunidad, por cuanto se podría conseguir una menor duración de carga usando sistemas de freno regenerativo, que podrían extender la autonomía al recuperar energía durante el frenado.

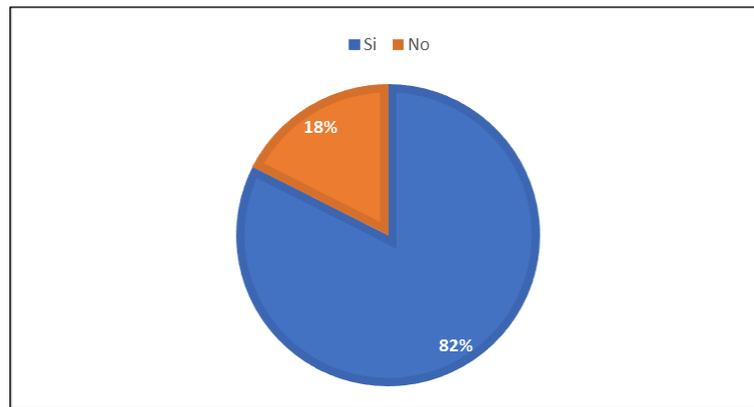
Pregunta #4: Estaría dispuesto a realizar una baja inversión para optimizar el consumo y la autonomía de su vehículo?

Tabla 1.4: Aceptación para optimizar autonomía de scooter

Respuesta	Frecuencia	%
Si	33	83
No	7	18
Total	40	100

Fuente: Autores.

Figura 1.5: Aceptación para optimizar autonomía de scooter



Fuente: Autores.

Análisis:

La tabla 1.4 muestra que el 83% de los encuestados son positivos y receptivos en cuanto a la implementación de un método que permita recargar la batería del scooter mientras frena, mientras que un 18% no está dispuesto del todo. Este porcentaje de aceptación refleja un fuerte interés y disposición por parte de los usuarios hacia tecnologías que mejoren la eficiencia y autonomía de sus scooters eléctricos. La recarga de la batería durante el frenado, no solo extiende la autonomía del vehículo, sino que también ofrece una solución más sostenible y económica a largo plazo. La alta aceptación también sugiere que los usuarios están dispuestos a adoptar innovaciones tecnológicas que aporten beneficios tangibles a su experiencia diaria. El 18% que no estuvo de acuerdo con utilizar este método podría deberse a la falta de conocimiento o desconfianza hacia nuevas tecnologías o no están interesados en realizar una inversión adicional.

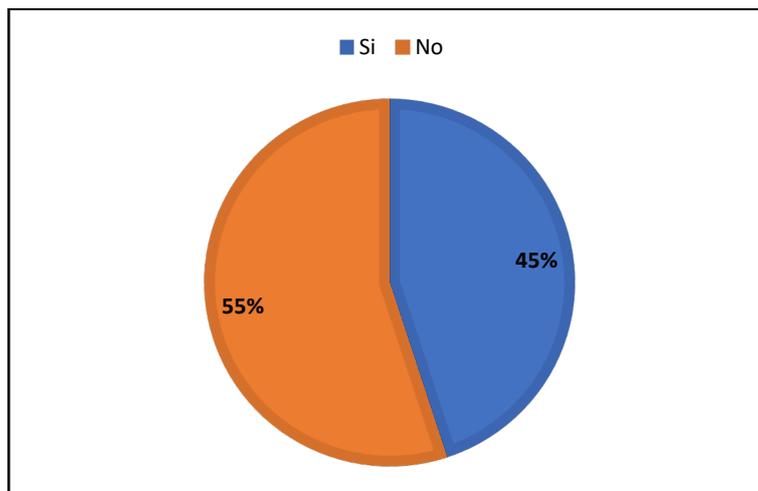
Pregunta #5: Conoce la tecnología de freno regenerativo para vehículos eléctricos?

Tabla 1.5: Conocimiento de los sistemas de freno regenerativo

Respuesta	Frecuencia	%
Si	18	45
No	22	55
Total	40	100

Fuente: Autores.

Figura 1.6: Conocimiento de los sistemas de freno regenerativo



Fuente: Autores.

Análisis:

La tabla 1.5 revela que solo el 45% de las personas encuestadas están familiarizados con el freno regenerativo en scooters eléctricos, mientras que el 55% no lo conoce. Esta falta de conocimiento sugiere la necesidad de informar a los usuarios sobre los beneficios de esta tecnología, con el fin de aumentar su adopción y aceptación.

El grupo informado del 45% puede actuar como promotores de esta alternativa entre sus pares, lo cual no solo coadyuvará a entender la importancia de adoptar estos sistemas para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los scooters eléctricos, sino también contribuirá a la reducción de costos de recarga y emisiones de CO₂, beneficiando a la comunidad en general.

1.6.2. Análisis general de la encuesta

Actualmente existe un mercado de scooters eléctricos a nivel local y nacional bien marcado y que cada vez es más sólido, lo cual se confirma en la demanda creciente de estos vehículos por parte de diferentes segmentos de usuarios. No obstante, se aprecia que no siempre existen intenciones claras por parte de dichos usuarios para mejorar el uso de sus vehículos, prolongando la duración de la batería y reduciendo la necesidad de recargas frecuentes. Es evidente que la mayoría de los usuarios desconocen las ventajas de usar las tecnologías de freno regenerativo como una alternativa importante, para aprovechar la energía cinética

durante los ciclos de frenado. Esto le mayor sustento a la presente propuesta, ya que al implementar este tipo de tecnologías se proporcionaría una solución sostenible a los problemas de autonomía, facilitando una mayor adopción de scooters eléctricos y contribuyendo a la reducción de emisiones de CO2 en áreas urbanas.

1.7 Beneficios directos de la implementación del proyecto:

Considerando los datos recopilados y el respectivo análisis realizado en el ítem anterior, a continuación, se describen los beneficios que brindaría el desarrollo del presente proyecto, para sustentar su factibilidad:

- **Mayor eficiencia energética:** Permite recuperar energía que de otra manera se perdería como calor en los frenos tradicionales, mejorando la eficiencia del scooter y aumentando su autonomía por carga.
- **Reducción del desgaste de frenos:** Al depender menos de los frenos mecánicos, se reduce el desgaste de los componentes físicos del sistema de frenado, lo que puede prolongar la vida útil y reducir los costos de mantenimiento.
- **Mejora en la experiencia de conducción:** Ofrece una sensación de frenado más suave y controlada, ya que el frenado regenerativo puede ajustarse para ser progresivo y adaptarse a diferentes condiciones de conducción.
- **Contribución a la sostenibilidad:** Al utilizar energía recuperada, se reduce la demanda de recursos energéticos y se disminuye la huella de carbono del scooter, promoviendo una movilidad más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

CAPÍTULO II

DISEÑO DEL PROYECTO

En el presente capítulo se documenta de forma detallada el equipamiento y los componentes utilizados para realizar la adaptación de un motor de freno regenerativo en un scooter eléctrico. Se realiza también un análisis técnico sobre la configuración del sistema propuesto considerando los cálculos respectivos para determinar la eficiencia del vehículo en cuanto a su autonomía antes y después de haber realizado las modificaciones, haciendo especial hincapié en las ventajas que supone cargar la batería en determinados ciclos de manejo, mientras se conduce el vehículo.

2.1 Selección del equipamiento y los dispositivos:

A continuación, se describe el vehículo que se utilizó en el proyecto, con una descripción de sus principales componentes y respectivas características técnicas:

2.1.1 Scooter BX10: El scooter seleccionado es un vehículo de tipo scooter ciclomotor, de la marca Bravo Motors, procedente de China y posee un motor de 350W que le permite alcanzar velocidades máximas de 30 km/h. Cuenta con tres modos de manejo: deportivo, principiante y normal, los que permiten un desplazamiento a velocidades constantes según el modo elegido, además, puede subir pendientes con inclinación de hasta quince grados.

Figura 2.1: Scooter eléctrico BX10



Fuente: Autores

Los componentes claves y más importantes del scooter son: chasis metálico, un motor eléctrico sin escobillas integrado en la rueda posterior, un rack de 4 baterías de ácido plomo, una controladora y una pantalla básica informativa de la carga de la batería del scooter.

En la siguiente tabla se presentan las características y especificaciones técnicas del scooter:

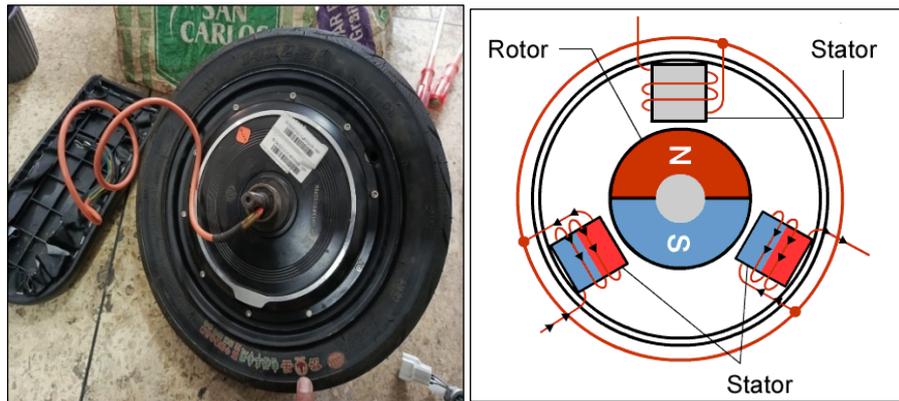
Tabla 2.1: Características del scooter BX10

Especificación	Características
Motor	350W
Tipo motor	Sin Escobillas
Freno regenerativo	No
Autonomía	25 - 30 Km
Velocidad máxima	30 Km/h
Tipo batería	Ácido Plomo
Batería	48V - 12AH
Peso	43.5 Kg
Carga máxima	150Kg
Modos de operación	Normal, principiante y deportivo
Luz frontal	Led
Frenos	Tambor
Tiempo carga batería	6- 8 horas
Llantas	14x2.50
Toma corriente	110V/60HZ

Fuente: Autores.

2.1.2 Motor Eléctrico Sin Escobillas BX10: El scooter BX10, posee un motor eléctrico básico que ofrece una potencia máxima de 350w para una tensión nominal de 36V. Al ser de tipo Sin Escobillas, este motor utiliza imanes permanentes para crear un campo magnético que gira el rotor. Esto significa que no hay contacto físico entre las escobillas y el rotor, lo que reduce el desgaste y aumenta la eficiencia energética. Al no haber fricción entre el rotor y el estator, la eficiencia mejora considerablemente. El calor y la fricción se reducen mientras se optimiza la energía de la batería. Esto aumenta la potencia y la autonomía hasta un 25% con respecto a las baterías convencionales.

Figura 2.2: Motor Sin Escobillas Scooter BX10



Fuente: Autores

2.1.3 Controladora GOBAO WK4845YC: El controlador de motor regenerador sin escobillas permite controlar el 100% del ciclo de trabajo de un actuador lineal. Utiliza las entradas de control, para brindar al usuario el control total sobre la velocidad y la dirección de un actuador. El controlador transforma esta información en un comando para el motor, regulando así la velocidad y potencia del scooter. Al igual que en todos los vehículos eléctricos, el controlador es un elemento esencial en el scooter, ya que este dispositivo recibe la orden y toma de la batería la energía necesaria para convertirla y enviarla al elemento que requiere esta energía. Estos elementos pueden ser entre otros las luces, la pantalla, la bocina y por supuesto el mismo motor.

Tabla 2.2: Características de la controladora

Especificación	Características
Voltaje	36/48V
Corriente	12-24AH
Potencia	350W
Peso	200g
Tamaño	10X6.8X3.8 CM
Carcasa	Aluminio
Angulo de fase	120°

Fuente: Autores

La controladora del scooter BX10, trabaja con una tensión de 36/48 Volts, una potencia nominal de 350W, y voltaje de acelerador que puede ir desde 1.1 a 4.2V.

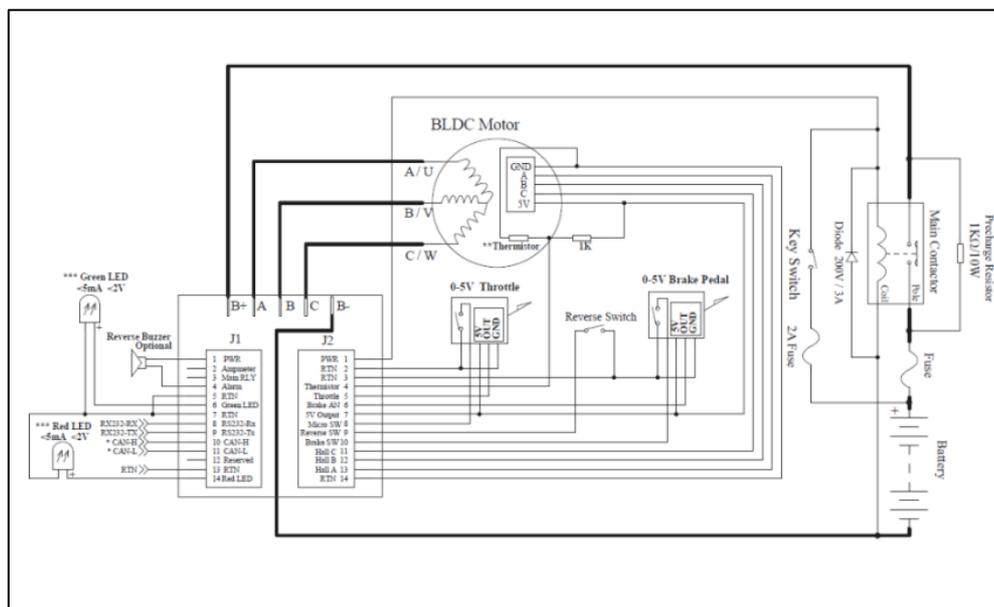
Figura 2.3: Controladora GOBAO



Fuente: Autores

El cuerpo de la controladora está hecho de aluminio y tiene un diseño de ranura que protege el circuito interno de una posible sobrecarga térmica. Este controlador tiene un diagrama de identificación de cables, y proporciona información sobre la velocidad constante y frenado.

Figura 2.4: Diagrama eléctrico de la controladora



Fuente: Autores

2.1.4 Baterías de plomo ácido: El funcionamiento de las baterías está basado en la pila electroquímica. Existen dos electrodos, uno positivo y otro negativo, que al conectarlos formando un circuito cerrado, generan una corriente eléctrica, es decir, los electrones fluyen de manera espontánea de un electrodo a otro. Las baterías están formadas por varios pares de electrodos que se sitúan en compartimentos independientes llamados celdas. En las celdas

los electrodos están sumergidos en una disolución que recibe el nombre de electrolito. En las baterías de plomo ácido, el electrodo positivo se compone de una placa de plomo recubierta por óxido de plomo (II), PbO₂, y el electrodo negativo por plomo esponjoso. Reciben el nombre de baterías de plomo "ácido" porque utilizan como electrolito una disolución de ácido sulfúrico.

En el presente proyecto, el scooter utilizará 4 baterías recargables de plomo ácido, cuyas características se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2.3: Características de las baterías de plomo

Especificación	Característica
Número de Modelo	6 – FMD – 12
Tipo batería	Sellado
Lugar del origen	China (Continental)
Material	Plástico – Plomo
Tipo del mantenimiento	Libre
Marca	XINGFU
Tamaño	151*100*98 mm
Productos de la Serie	Batería de plomo ácido
Voltaje	14.4V – 14,8V
Capacidad nominal	12Ah

Fuente: Autores

En este tipo de scooter eléctrico, la operación del estado de carga (SOC) de esta batería, se encuentra típicamente entre un 70% y un 40% por debajo del nivel de potencia de descarga, por lo tanto, permite la plena funcionalidad de frenado regenerativo.

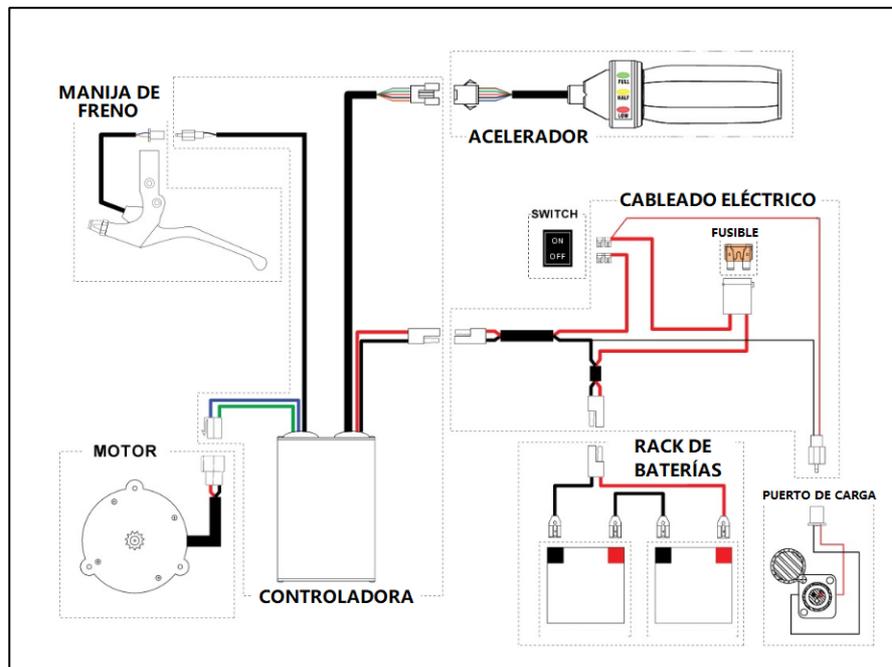
Figura 2.5: Batería de Plomo Ácido



Fuente: Autores

2.2 Diseño del Sistema: El sistema de freno regenerativo fue seleccionado después de analizar sus prestaciones y realizar los cálculos de la energía cinética, recuperada y total para determinar la recuperación de energía por ciclos de frenado, lo cual permitió determinar su compatibilidad con las características del scooter original. Se consideraron aspectos claves como la capacidad de la batería para recibir y almacenar la energía regenerada de manera eficiente, así como la integración con el sistema controlador de la energía del vehículo.

Figura 2.6: Diagrama eléctrico de la conexión de los componentes del Scooter



Fuente: Autores

2.3 Optimización del rendimiento:

La implementación de un sistema de freno regenerativo implica ajustar adecuadamente los parámetros del sistema, como la intensidad y la respuesta del freno, para optimizar tanto la recuperación de energía, así como la experiencia de conducción del usuario.

Esto requirió de pruebas y ajustes iterativos durante las pruebas para lograr un equilibrio óptimo entre la eficiencia energética y el rendimiento de frenado.

Costo consumo eléctrico: El consumo eléctrico del scooter, se calcula a partir de las características técnicas del scooter:

- Potencia nominal del motor: 350W
- Voltaje: 14.8 V
- Capacidad: 12 Ah
- Energía almacenada baterías (plomo ácido): 177,6Wh o 1,776 Kwh
- Autonomía: 30 km
- Velocidad máxima: 25km/h

Considerando que a la fecha actual el costo aproximado del kWh en el Ecuador es de usd 0,0956 entonces el costo por carga sería:

$$\text{Costo} = \text{Energía} * \text{Costo_KWh}$$

$$\text{Costo} = 1,776 \text{ Kwh} * 0,0956 \text{ Kh/h}$$

$$\text{Costo} = \text{usd } 0,17 \text{ (para un recorrido nominal 30km)}$$

Aun cuando la ficha técnica del scooter determina una autonomía de 30km, de acuerdo a las pruebas realizadas se pudo comprobar que normalmente se logra una autonomía de 25 km. Sin embargo, se debe mencionar que autonomía depende de las condiciones de manejo, terreno, tráfico entre otros factores. A partir de ello se procede a determinar el costo por cada 100 km:

$$\text{Costo}(100\text{km}) = 4 * 0,17 = \text{usd } 0,68 \text{ (68 centavos los 100 km)}$$

El costo mensual por consumo de energía del scooter dependerá de la cantidad de cargas completas que se realicen a un costo de 0,17 la carga completa.

2.4 Operación del sistema de freno regenerativo

Cada vez que el vehículo desacelera la energía cinética es almacenada; pero no toda la energía producida puede ser usada, una parte se disipa por la resistencia a la rodadura la fricción mecánica y la resistencia aerodinámica del vehículo. En un vehículo con freno regenerativo se recupera parte de la energía que de otro modo se pierde en forma de calor.

2.5 Cálculo la eficiencia del sistema de freno regenerativo

Para calcular la eficiencia de un sistema de freno regenerativo, se necesita comparar la energía recuperada durante la frenada con la energía total consumida durante la misma.

2.5.1 Cálculo de la energía cinética: La energía cinética en un vehículo en movimiento se encuentra vinculada con su masa y velocidad por la ecuación:

$$E_{cinética} = \frac{1}{2} * m * v^2$$

Donde:

- m = masa del scooter (43,5 Kg) + masa del conductor (65,5 kg), total = 109 Kg
- v = velocidad inicial y final de uso en las pruebas:

Entonces la energía cinética inicial es:

$$E_{cinéticaI} = \frac{1}{2} * 109 * (1,77)^2$$

$$E_{cinéticaI} = 170,74 J$$

Entonces la energía cinética final durante las pruebas es:

$$E_{cinéticaF} = \frac{1}{2} * 109 * (2,69)^2$$

$$E_{cinéticaF} = 394,36 J$$

2.5.2. Cálculo la energía total consumida durante la frenada: La energía total consumida durante la frenada se puede calcular restando la energía cinética inicial de la final:

$$E_{consumida} = E_{cinéticaF} - E_{cinéticaI}$$

$$E_{consumida} = 394,36 - 170,74$$

$$E_{consumida} = 223,63 J$$

2.5.3 Cálculo de la energía recuperada durante la frenada: Durante la frenada, el sistema convierte parte de la energía cinética del vehículo en energía eléctrica que puede almacenarse o utilizarse de inmediato. Esta energía recuperada se puede calcular usando la fórmula:

$$E_{recuperada} = \eta * E_{consumida}$$

Donde:

- $E_{recuperada}$ es la energía eléctrica recuperada.
- η es un valor entre 0 y 1, dado por el fabricante y que representa la fracción de energía cinética convertida eficientemente en energía eléctrica.
- $E_{frenada}$ es la energía cinética consumida durante la frenada.

$$E_{recuperada} = 0.35 * 223,63$$

$$E_{recuperada} = 78,27J$$

2.5.4 Cálculo de la eficiencia del sistema de freno regenerativo: La eficiencia del sistema de freno regenerativo se define como la proporción de energía recuperada respecto a la energía total consumida:

$$Eficiencia = \frac{E_{recuperada}}{E_{total}} * 100\%$$

$$Eficiencia = \frac{78,27}{394,36} * 100\%$$

$$Eficiencia = 19,84 \%$$

Por lo tanto, la eficiencia (η) del sistema de freno regenerativo del scooter eléctrico en este caso es del 19.84%: esto representa casi una recuperación de la quinta parte de la energía cinética inicial del scooter, lo cual representa un valor significativo y sugiere un sistema eficiente de recuperación de energía.

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE FRENO REGENERATIVO EN EL SCOOTER

La implementación del sistema de freno regenerativo para optimizar la autonomía de un scooter eléctrico, requiere de un conjunto procesos necesarios para realizar las adaptaciones requeridas, garantizando que la instalación del nuevo equipamiento se realice de manera segura y eficiente. En el presente capítulo se detallan los pasos realizados para instalar un motor regenerador en el scooter eléctrico seleccionado, aprovechando los ciclos de frenado para regenerar la carga de la batería y optimizar la autonomía del vehículo.

3.1 Integración de tecnología de freno regenerativo en el scooter eléctrico

El presente capítulo describe la implementación de un sistema de freno regenerativo en un scooter eléctrico tipo ciclomotor, con la respectiva evaluación de su impacto en términos de eficiencia energética a través de pruebas de campo.

3.1.1 Componentes del sistema de freno regenerativo

Para la conversión de la motocicleta eléctrica tipo scooter a una motocicleta con sistema de freno regenerativo se requiere contar además del chasis de la motocicleta para realizar las adaptaciones y acoples necesarios, un conjunto de componentes en un kit de adaptación que permitirán aprovechar la energía cinética del motor.

Figura 3.1: Motor regenerador sin escobillas



Fuente: Autores.

Este kit está formado por los siguientes componentes:

Tabla 3.1: Componentes necesarios para la implementación del freno regenerativo.

Material	Descripción
Kit de motor regenerador	Motor sin escobillas de 500W PLUS, controlador, y pantalla digital.
Controlador de 48V	Controlador compatible con un sistema de 48V/60V, voltaje de acelerador de 1.1-4.2V, con nivel de freno bajo.
Motor 500W PLUS	Motor regenerador de 500W compatible con baterías de ácido plomo, adecuado para velocidades de hasta 35 km/h.
Herramientas y manuales	Incluye llaves, destornilladores, alicates y multímetro para mantenimiento y ajustes del scooter.

Fuente: Autores.

3.2 Pasos de instalación del sistema de freno regenerativo

3.2.1 Desmontaje del motor eléctrico del Scooter

Para desmontar el motor original del scooter, se localiza la tuerca principal que está ubicada en el lado derecho de la rueda posterior. Utilizando una llave de tamaño adecuado se afloja la hasta tuerca se desprenda completamente. Después se retira la arandela de presión y el resorte flexible que protege el cable principal. Se debe realizar con cuidado para evitar dañar el cableado.

Figura 3.2: Desmontaje del motor eléctrico del scooter





Fuente: Autores.

Con la tuerca, la arandela y el resorte retirados, se desliza la rueda hacia afuera para separarla del eje del scooter. Posteriormente se desconectan los cables de alimentación que conectan el motor del scooter a la batería y otros componentes eléctricos. Estos cables generalmente pasan por el interior del chasis del scooter y están conectados al motor en la rueda posterior.

Es importante recordar o marcar la posición de cada cable para facilitar el reensamblaje posterior. Finalmente se comprueba la desconexión completa verificando que todos los cables estén completamente desconectados, es decir que la rueda y el motor estén completamente separados del scooter.

3.2.2 Instalación del motor con freno regenerativo

Para instalar el motor regenerador se coloca nuevamente la llanta posterior en su posición, asegurándose que esté alineada con el eje de la rueda delantero del scooter. Se aseguran las tuercas para fijar la llanta en su posición utilizando las tuercas. Se debe asegurar que estén bien apretadas para evitar cualquier movimiento inestable durante el uso del scooter.

Figura 3.4: Ensamblaje del motor regenerador





Fuente: Autores.

Tabla 3.2: Ficha técnica del motor Sin Escobillas tipo regenerador

Especificación	Características
Voltaje	48V
Velocidad	35Km/h
Nombre del Producto	Motor de cubo eléctrico 10 in
Nombre del modelo	SLT1003
Potencia	500W
Tipo	Motor de Cubo
Diseño	Sin escobillas
Peso	3.5 kg
Tamaño	10 in

Fuente: Autores.

Posteriormente se deben asegurar con las tuercas y arandelas retiradas anteriormente, para fijar el motor en su lugar de manera segura. Mas adelante, se conecta el cableado según los colores a la controladora del freno regenerativo, asegurando que todas las conexiones estén firmes y bien aisladas.

Después de la instalación del motor regenerador, se sugiere verificar la conexión correcta del cableado, antes de proceder a ajustar la llanta con todas las partes mecánicas.

3.2.3 Desmontaje de la controladora antigua e instalación del nuevo controlador

Para desmontar la controladora original, se debe retirar la tapa de seguridad del controlador, utilizando una herramienta adecuada. Se desconecta el controlador antiguo identificando y desconectando los cables que conectan al motor, la batería y otros componentes del scooter. Es importante etiquetar las conexiones para facilitar el reensamblaje posterior. Para conectar el nuevo controlador se deben conectar los cables correspondientes al motor, al sistema de freno regenerativo y a la batería. Las características técnicas de la nueva controladora son:

Tabla 3.3: Ficha técnica de la nueva controladora.

Especificación	Características
Marca	Gobao
Voltaje	48V
Corriente	23-38AH
Peso	500g
Tamaño	15X8.9X4.9 CM
Carcasa	Aluminio
Angulo de fase	120°

Fuente: Autores.

La nueva controladora posee un conjunto de cables agrupados por componentes de conexión que permiten evitar errores al realizar los empates con los componentes del scooter.

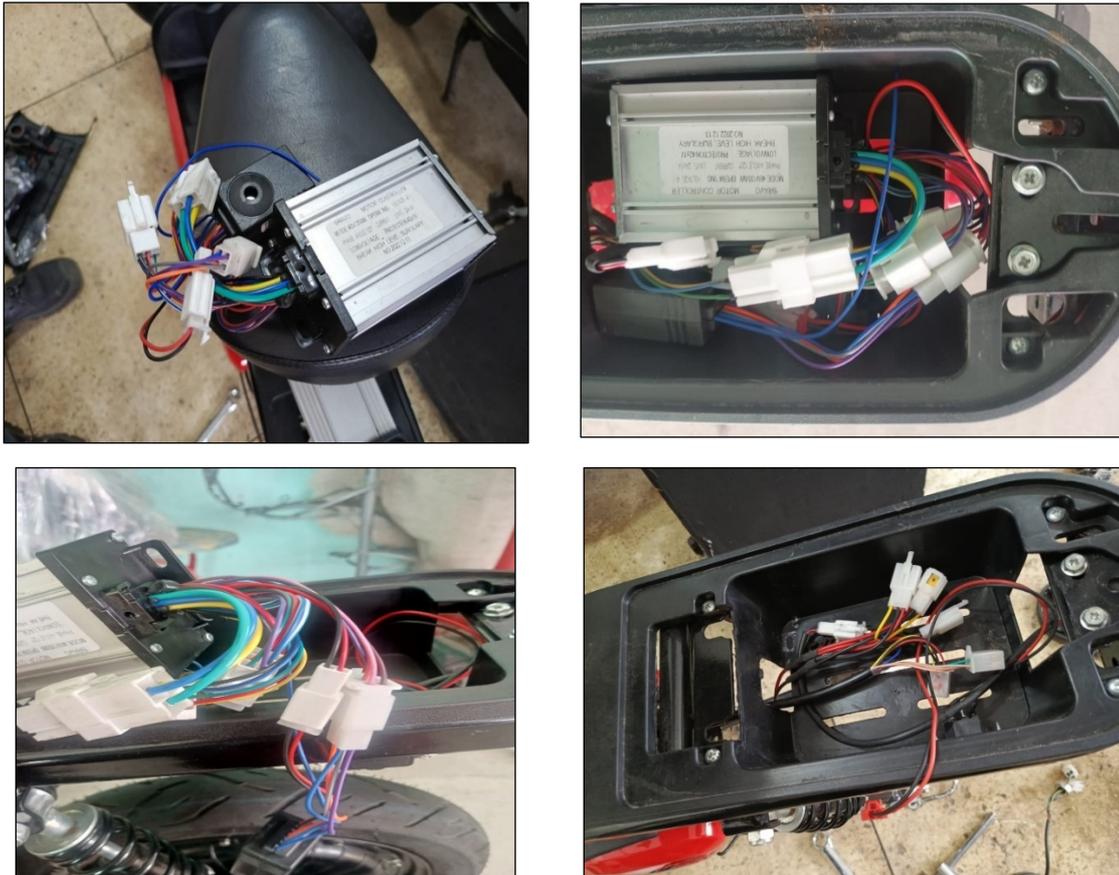
Figura 3.6: Controlador del freno regenerativo



Fuente: Autores.

El controlador cumple una función muy importante ya que actúa como intermediario entre la batería del scooter y el motor. Cuando activa el modo de asistencia el controlador transfiere energía de la batería al motor y lo arranca. Se deberá revisar todas las conexiones estén bien fijadas y aisladas para evitar cualquier fallo eléctrico.

Figura 3.7: Instalación del controlador en el scooter



Fuente: Autores

3.2.4 Conexión de la controladora a las baterías:

El controlador además de gestionar el flujo de electricidad desde la batería al motor, es un elemento clave porque adicionalmente permite controlar las conexiones de los componentes eléctricos del scooter, tales como: el acelerador, frenos, luces, pedales, motor, cargador, cerradura, etc desde la batería. Cada elemento del scooter se controla desde esta pequeña caja de aluminio la cual se encuentra generalmente en la silla del acompañante.

Figura 3.9: Baterías de plomo



Fuente: Autores

3.2.5 Instalación de la pantalla digital

La pantalla digital del scooter BX10 ofrece información vital en tiempo real sobre el nivel de carga de la batería, permitiendo al conductor planificar sus desplazamientos con precisión.

Esta pantalla muestra claramente el estado de la batería, ya sea mediante un indicador de barras o un porcentaje, y proporciona estimaciones de la distancia restante que se puede recorrer. Estos datos son esenciales para evitar quedarse sin energía en medio de un trayecto y para optimizar el uso del scooter según los modos de conducción disponibles.

Tabla 3.4: Ficha técnica de la Pantalla LCD

Especificación	Características
Marca	Mighty
Energía	DC

Voltaje	48/60 V
Potencia nominal	2.5AH
Tipo de pantalla	LCD
Tipo de sensor	Speed Sensor
Componentes incluidos	Mounting Base, Manual
Tipo de montaje	Handlebar Mount
Medidas	150*85*16cm

Fuente: Autores

Las advertencias de bajo nivel de batería alertan al usuario para buscar un punto de recarga antes de que la energía se agote por completo, garantizando un uso seguro y continuo del scooter.

Figura 3.10: Pantalla digital del estado de carga



Fuente: Autores.

3.2.6 Verificación final de la instalación:

Para verificar el cableado se deberá usar un multímetro para verificar la continuidad y correcta conexión del sistema. El multímetro permite comprobar que todas las conexiones eléctricas están correctamente realizadas.

Para comprobar la instalación correcta de todos los componentes del sistema, se enciende el scooter para realizar una prueba en vacío (sin carga) y se verifica su funcionamiento normal.

Figura 3.11: Scooter con el freno regenerativo instalado



Fuente: Autores.

3.3 Mantenimiento y seguridad

Con el fin de asegurar una operación correcta del sistema implementado, se recomienda seguir las siguientes instrucciones:

- Realizar inspecciones periódicas del estado del freno regenerativo y las conexiones eléctricas para asegurar que el freno regenerativo esté funcionando correctamente y que todas las conexiones eléctricas estén en buen estado. Se sugiere buscar signos de desgaste, daño o conexiones sueltas y corregir cualquier problema detectado.
- Antes de realizar cualquier trabajo de mantenimiento, asegurarse que el scooter esté completamente apagado para evitar el riesgo de descargas eléctricas o daños al sistema.
- Desconectar la batería del scooter antes de comenzar cualquier trabajo de mantenimiento para garantizar la seguridad y evitar posibles cortocircuitos o descargas eléctricas.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se explican los resultados de las pruebas realizadas para evaluar el desempeño del sistema de freno regenerativo implementado en el scooter eléctrico BX10. Se definieron y evaluaron tres rutas de prueba en varios sectores de la ciudad de Quito, con distancias de 3,2 km, 7,1 km y 13 km respectivamente. Las pruebas fueron realizadas en condiciones reales de tráfico y topografía urbana, con el fin de evaluar cuantitativamente la mejora en la autonomía del scooter y aumento de su eficiencia gracias a la integración del sistema de freno regenerativo.

4.1. Definición y preparación de las pruebas

Para evaluar la funcionalidad del sistema implementado, se planificaron un total de 12 pruebas, las mismas que se realizaron en dos momentos bien definidos del proyecto: antes y después de las modificaciones del scooter. Las pruebas se agruparon en 3 categorías según la distancia de la ruta (corta, media y larga), y por cada ruta se realizaron cuatro recorridos con distintos pesos: dos con el scooter original y los otros dos con el scooter modificado.

Para las comparativas, se consideraron parámetros clave tales como: la distancia recorrida, el tiempo de duración, la carga soportada (peso del scooter y del conductor), el desgaste de la batería, la velocidad promedio y la velocidad máxima.

4.2. Pruebas realizadas

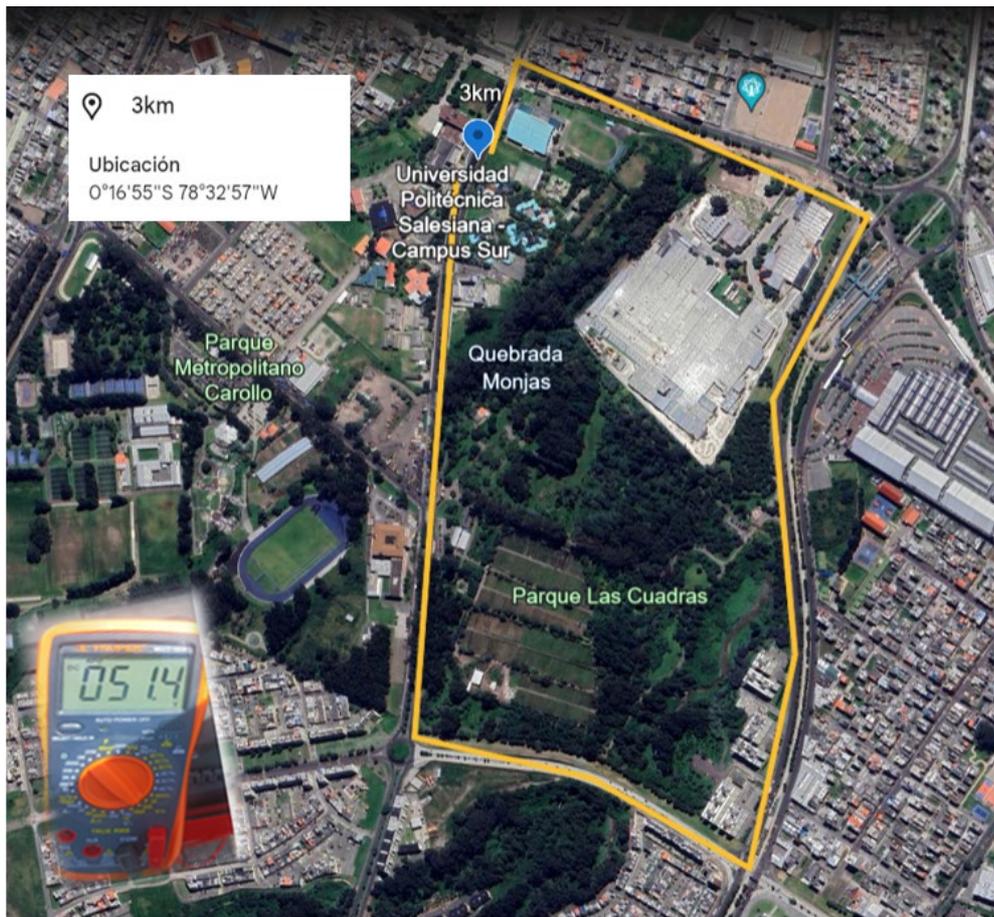
A continuación, se describen las pruebas realizadas por cada una de las categorías indicadas, con sus respectivos resultados y el análisis.

4.2.1 Prueba #1: Trayecto corto

Descripción:

La primera prueba tuvo un recorrido de 3.2 km y se realizó desde la Universidad Politécnica Salesiana, siguiendo una ruta que incluyó la Av. Rumichaca Ñan, Av. Morán Valverde, Av. Quitumbe Ñan y Av. Amaru Ñan. Esta prueba se realizó en 4 ocasiones, 2 de ellas con el motor original y 2 con el scooter modificado; cada par de pruebas se realizó con un peso combinado de 110kg y 130 kg, que obedece al peso del scooter y del conductor.

Figura 4.1: Ruta de la Prueba #1



Fuente: Autores

Tabla 4.1: Resultados de la prueba #1 (Peso combinado: 110 Kg)

Indicador	Original	Modificado
Desgaste batería	11,3%	9,8%
Tiempo de recorrido	07:32 min	07:40 min
Velocidad promedio	7,3 km/h	6,9 km/h
Velocidad máxima	22 km/h	20 km/h

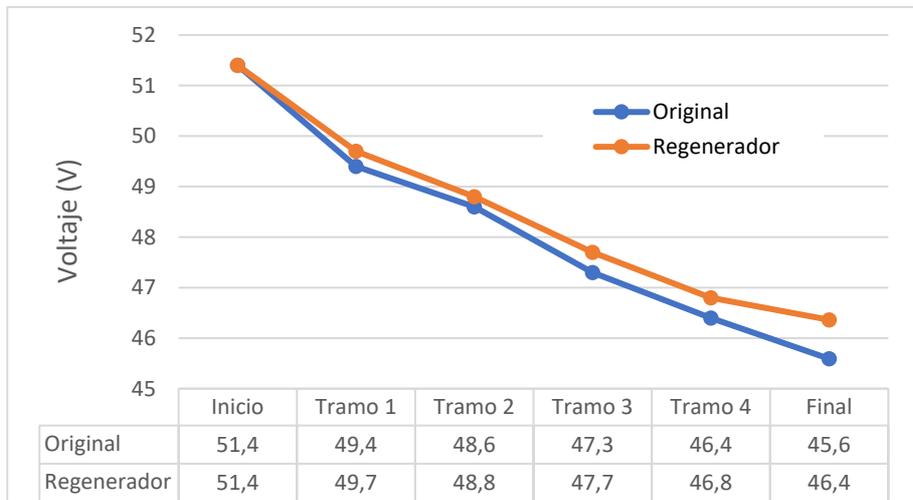
Fuente: Autores

Tabla 4.2: Resultados de la prueba #1 Peso combinado: 130 Kg)

Indicador	Original	Modificado
Desgaste batería	15,9%	14,1%
Tiempo de recorrido	09:35 min	09:27 min
Velocidad promedio	6,9 km/h	6,4 km/h
Velocidad máxima	18 km/h	19 km/h

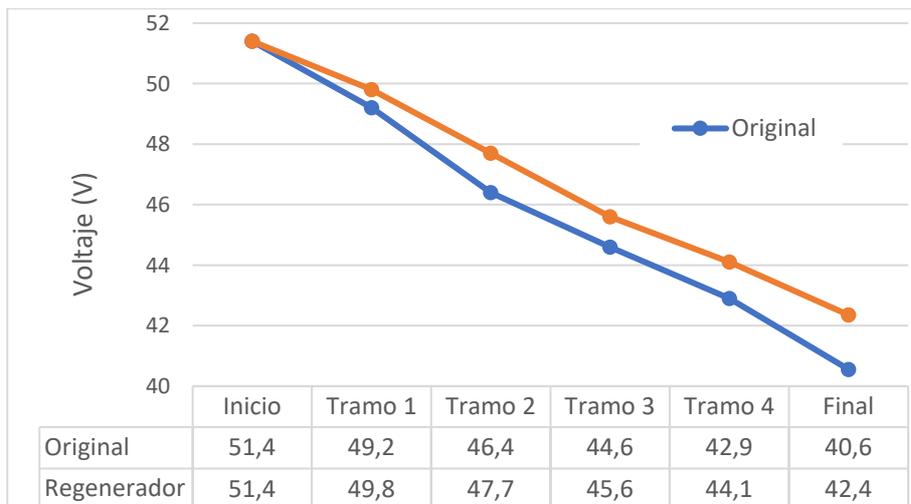
Fuente: Autores

Figura 4.2: Comparación desgaste batería – 3.2km - 110 Kg



Fuente: Autores

Figura 4.3: Comparación desgaste batería – 3.2km - 130 Kg



Fuente: Autores

Análisis de resultados – Prueba #1:

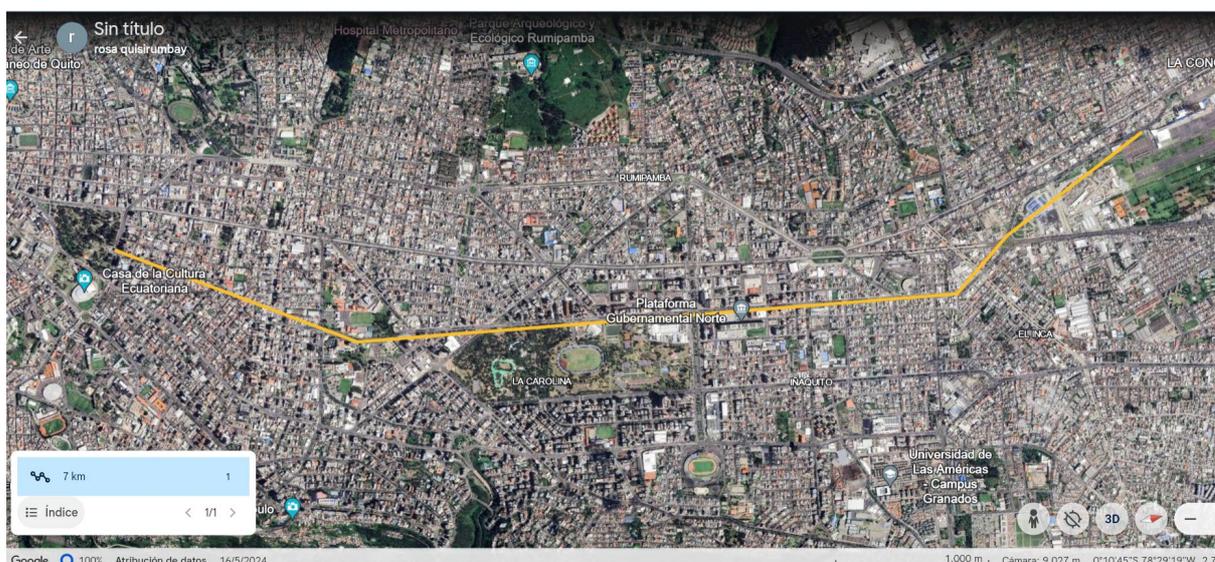
- **Desgaste de la Batería:** Con un peso combinado de 110 kg entre el conductor y el peso del scooter, el desgaste de la batería fue del 11,3% y del 9,8% lo cual determina una diferencia del 1,5 % en cuanto al ahorro de batería. Por otra parte, cuando se realizó la prueba con 130 kg, se obtuvo una diferencia del 1,8%. Esto sugiere que el scooter a distancias cortas se logra un pequeño ahorro de batería que mejora su autonomía de forma limitada. Este nivel de desgaste indica que el scooter requiere una mayor demanda si se usa en condiciones de tráfico variables.
- **Impacto de la ruta y el peso:** Si bien la ruta elegida incluyó varias avenidas transitadas y algunas pendientes, lo que aumentó la demanda de energía, se debe mencionar que el peso acumulado entre el conductor y el vehículo, también afectó el consumo de energía, ya que una mayor carga incrementa el esfuerzo requerido por el motor, resultando en un mayor desgaste de la batería.
- **Eficiencia en distancias cortas:** Los resultados indican que el motor regenerador es poco eficiente en recorridos cortos. Esto es importante para los usuarios que utilizan el scooter para trayectos breves dentro de la ciudad, ya que el bajo porcentaje de regeneración se traduce en una mayor necesidad de recargar la batería de acuerdo al uso del scooter.

4.2.2 Prueba #2: Trayecto medio

Descripción:

La segunda prueba se realizó desde la Av. Patria y Av. Amazonas hasta el parque Bicentenario, recorriendo un total de 7.1 kilómetros. Al igual que la prueba anterior, se realizó en 4 ocasiones, 2 de ellas con el motor original y 2 con el scooter modificado; cada par de pruebas se realizó con una carga diferente.

Figura 4.4: Recorrido de la prueba #2



Fuente: Autores.

Tabla 4.3: Resultados de la prueba #2 (Peso combinado: 110 Kg)

Indicador	Original	Modificado
Desgaste batería	21,1%	17,6%
Tiempo de recorrido	21:12 min	22:40 min
Velocidad promedio	7,3 km/h	6,9 km/h
Velocidad máxima	22 km/h	20 km/h

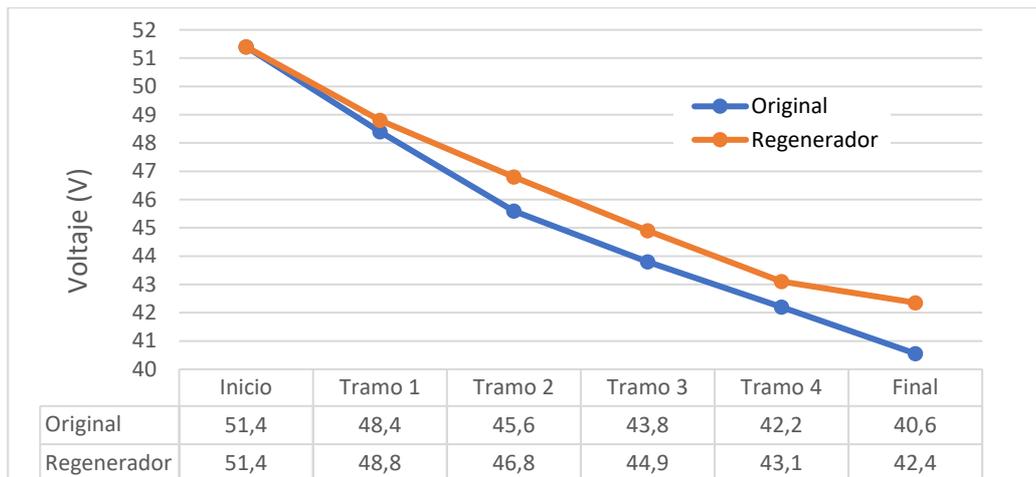
Fuente: Autores

Tabla 4.4: Resultados de la prueba #2 (Peso combinado: 130 Kg)

Indicador	Original	Modificado
Desgaste batería	26,6%	22,3%
Tiempo de recorrido	23:35 min	22:57 min
Velocidad promedio	7,9 km/h	7,5 km/h
Velocidad máxima	18 km/h	19 km/h

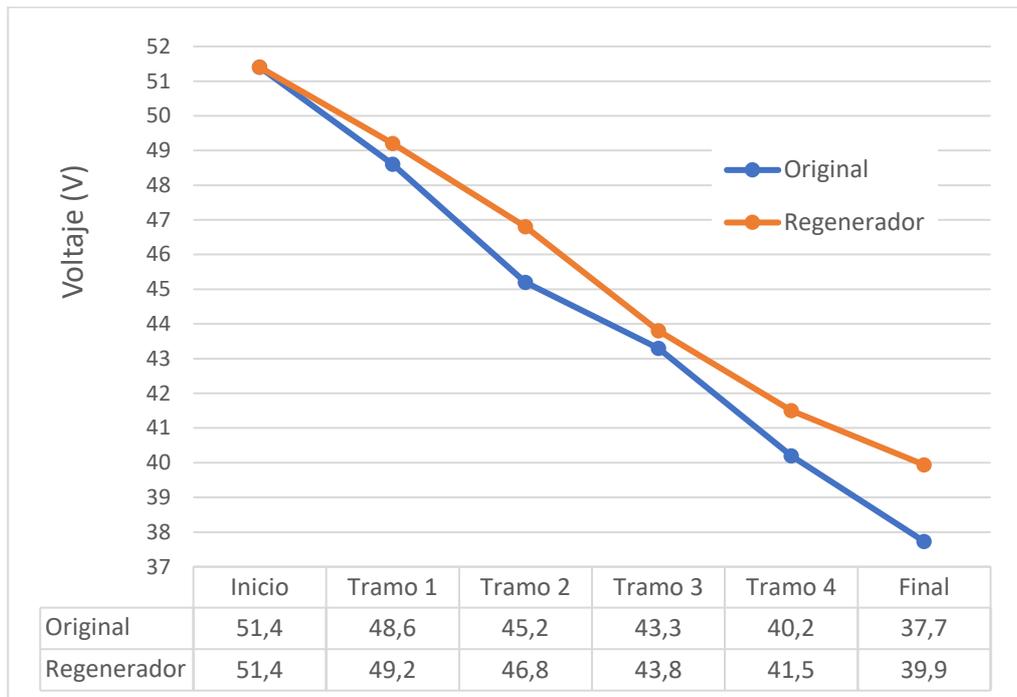
Fuente: Autores

Figura 4.5: Comparación desgaste batería – 7.1km - 110 Kg



Fuente: Autores

Figura 4.6: Comparación desgaste batería – 7.1km - 130 Kg



Fuente: Autores

Análisis de resultados – Prueba #2:

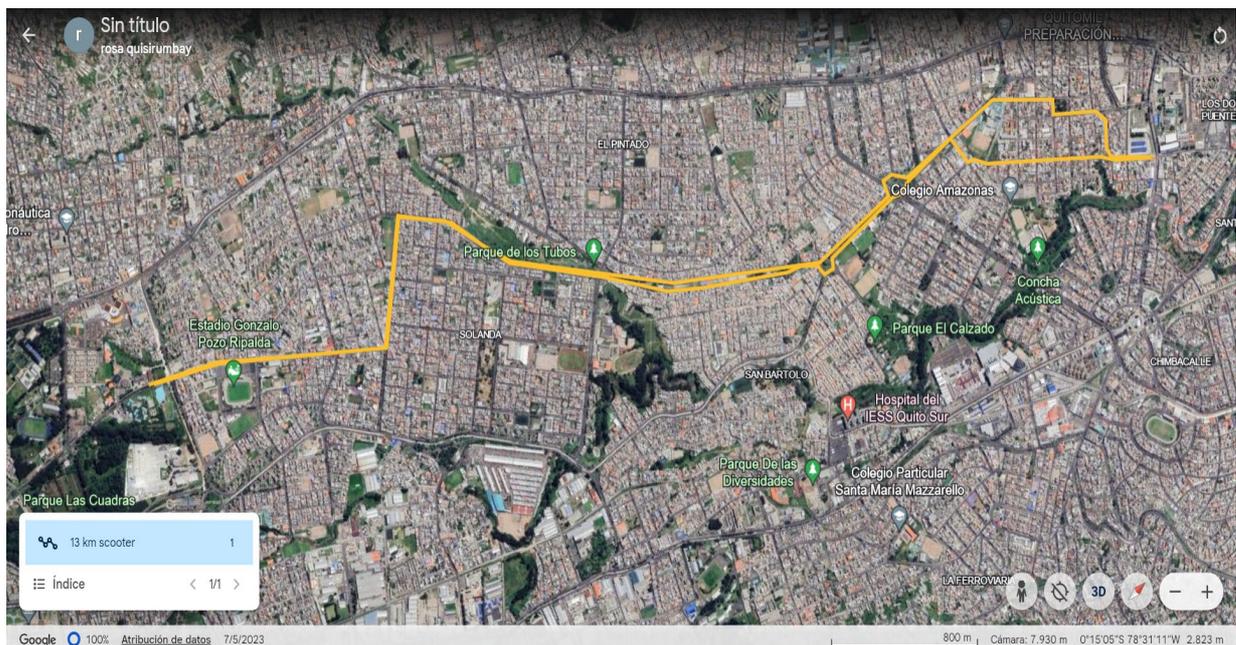
- **Consumo de energía:** En esta segunda prueba la distancia recorrida fue mayor que la primera (7.1 km), se logró una recuperación del 3,5% y del 4,3% cuando el scooter se condujo con pesos de 110kg y 130kg respectivamente. Esto sugiere que el motor regenerador tuvo un mejor desempeño en este trayecto, posiblemente debido a la

combinación de condiciones favorables de la ruta y a la eficiencia de consumo más estable.

- **Influencia del trayecto:** El recorrido incluyó varias avenidas principales con tramos de aceleración y muy poca variación en la topografía lo que exigía un menor uso del freno, lo cual podría haber influido en la regeneración de energía. El porcentaje de recuperación de energía indica que el scooter es más eficiente en condiciones planas, manteniendo un consumo de energía relativamente bajo, sin embargo, esta situación no siempre resulta favorable para la regeneración de la batería por cuanto los ciclos de frenado disminuyen.
- **Relevancia para uso diario:** Si bien la recuperación de energía, en este recorrido medio (7,1 km), se vio afectado por las características de la ruta, marcada por los tramos de baja exigencia del freno, el consumo moderado de la batería del scooter, es un indicador positivo para la utilización de este tipo de vehículos en trayectos urbanos cotidianos.

4.2.3 Prueba #3: Trayecto largo

Figura 4.7: Recorrido de la prueba #3



Fuente: Autores

Descripción: En la tercera prueba, el recorrido se planificó desde la Av. Rumichaca Ñan, pasando por la Av. Solanda, Av. Cardenal de la Torre, Av. Tnte Hugo Ortiz, Cbo. Iturralde, calle Epiclaclima, hasta la Av. Cinco de Junio para cubrir un recorrido de 13 kilómetros.

Siguiendo la estrategia de las pruebas anteriores, el recorrido se repitió en 4 ocasiones, 2 de ellas con el motor original y 2 con el scooter modificado; cada par de pruebas se realizó con una carga diferente.

Tabla 4.5: Resultados de la prueba #3 (Peso combinado: 110 Kg)

Indicador	Original	Modificado
Desgaste batería	41,2%	33,9%
Tiempo de recorrido	43:05 min	42:40 min
Velocidad promedio	9,2 km/h	9,7 km/h
Velocidad máxima	24 km/h	25 km/h

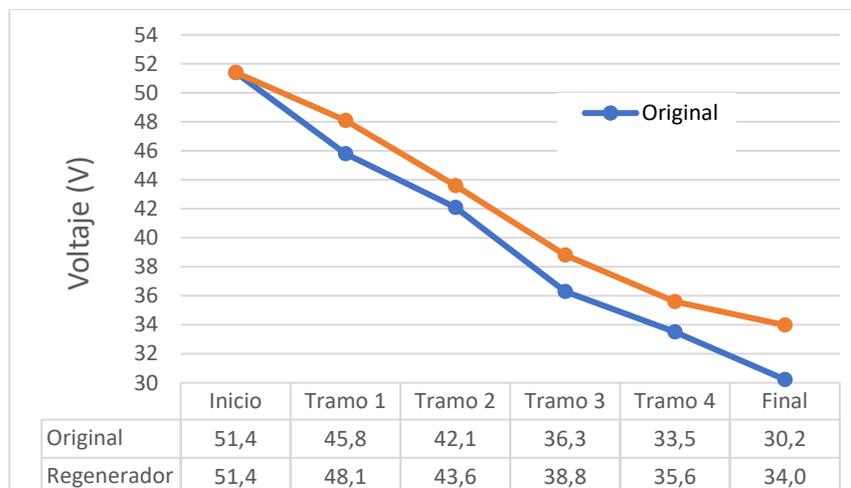
Fuente: Autores

Tabla 4.6: Resultados de la prueba #3 (Peso combinado: 130 Kg)

Indicador	Original	Modificado
Desgaste batería	47,5%	38,6%
Tiempo de recorrido	48:15 min	46:57 min
Velocidad promedio	7,9 km/h	7,4 km/h
Velocidad máxima	21 km/h	19 km/h

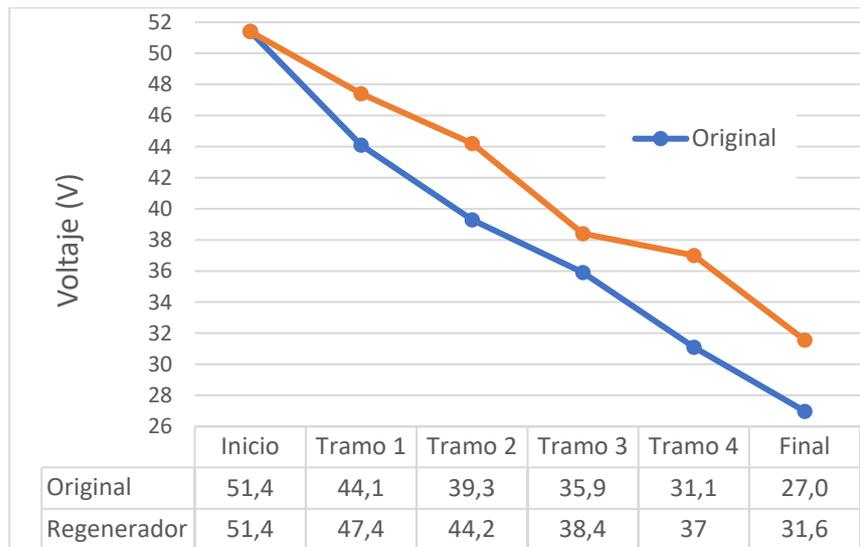
Fuente: Autores

Figura 4.8: Comparación desgaste batería – 13,0 km - 110 Kg



Fuente: Autores

Figura 4.9: Comparación desgaste batería – 13,0 km - 110 Kg



Fuente: Autores

Análisis de resultados – Prueba #3:

- Desgaste de la batería:** Debido a que este fue el recorrido más largo (13.0 km), el desgaste que sufrió la batería en el scooter original fue de un 41,2 %, con un peso de 110kg y de 47,5% con un peso combinado de 130kg. Por otra parte, cuando se realizó la prueba con el scooter modificado, se observó un desgaste menor del 7,9% en promedio. Esta situación sugiere que mayores distancias, el scooter eléctrico recupera de forma eficientemente la energía, independientemente de pequeñas variaciones en la distancia recorrida.
- Eficiencia energética:** Al lograr un ahorro del 7,3% y del 8,6% de la batería (según el peso soportado) en un trayecto más largo, indica una mejora importante en la eficiencia energética del scooter. La capacidad de cubrir 13,0 km con un ahorro importante en el consumo de energía resalta la estabilidad y efectividad del sistema de freno regenerativo del scooter.
- Condiciones del trayecto:** Si bien, el recorrido seleccionado presentó variaciones en el tráfico y la topografía, el sistema de regeneración del scooter mostró un adecuado rendimiento, lo cual demuestra que puede adaptarse a diferentes entornos urbanos, manteniendo una recuperación de energía predecible y controlada.

- **Implicaciones para el usuario:** Para los usuarios que necesitan realizar recorridos más largos dentro de la ciudad, estos resultados son alentadores. La recuperación de la energía, que brinda el sistema de freno regenerativo, aporta de manera significativa a la autonomía del scooter para desplazamientos exigentes, aliviando la necesidad de una recarga inmediata.

4.3. Resumen de las pruebas realizadas

Las pruebas realizadas revelan que el desempeño del scooter y por ende el desgaste de la batería, presenta variaciones significativas según las características de las rutas (distancias, rectas, inclinaciones, tipo de camino) y también de las condiciones de manejo del conductor. En la primera prueba, con una distancia de 3.2 km y con cargas combinadas de 110 y 130kg, la batería sufrió un desgaste promedio del 13,6% con el motor original y del 11,9% con el motor regenerador, esto permite determinar un promedio del 1,7% de ahorro de energía lo cual representa una mejora en la autonomía del 0,5km.

En la segunda prueba, que tuvo un recorrido de 7.1 km, el desgaste promedio fue del 23,6% con el scooter original y del 19,9% con el scooter modificado, lo cual representa un promedio del 3,9% de recuperación de la batería, esto representa una mejora en la autonomía de 1,2km en promedio.

Para la tercera prueba, el recorrido fue de 13 km, y debido de ser la más extensa, la batería sufrió un desgaste del 44,4% en promedio cuando se usó el scooter con su motor original y del 36,2% cuando se usó el motor regenerador, lo que sugiere que en condiciones más exigentes se genera una mayor demanda energética, pero de igual forma hay un mayor porcentaje de ahorro de batería que fue del 8,1%, lo cual implica una mejora en la autonomía de 2,5 km en promedio. Con estos resultados, se concluye que la tecnología de freno regenerativo tiene un impacto positivo en la autonomía del scooter, ya que permite regenerar el voltaje de su batería mientras cuando se conduce en condiciones determinadas.

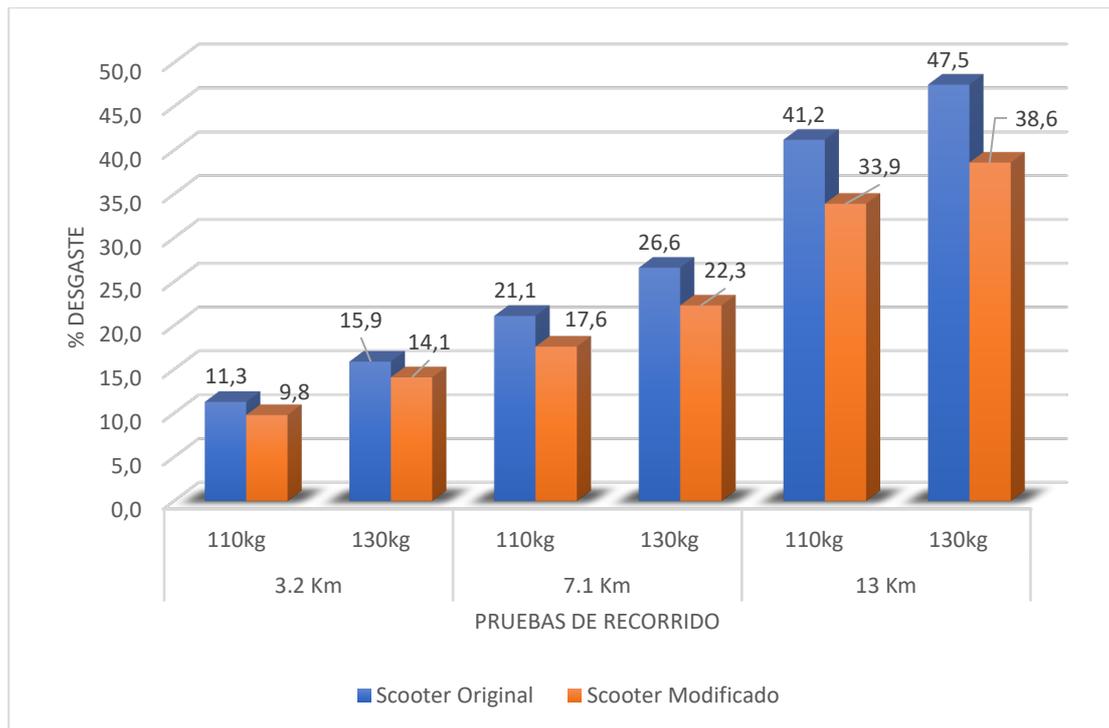
A continuación, se presenta el resumen de los datos obtenidos en las pruebas realizadas:

Tabla 2.4: Resumen de las pruebas con sus respectivos datos

No Prueba	Recorrido (Km)	Carga (Kg)	Desgaste batería		Diferencia (%)	Voltaje ahorrado (V)	Mejora Autonomía (Km)
			Scooter Original (%)	Scooter Modificado (%)			
1	3.2	110	11,3	9,8	1,5	0,8	0,5
		130	15,9	14,1	1,8	0,9	0,5
2	7.1	110	21,1	17,6	3,5	1,8	1,1
		130	26,6	22,3	4,3	2,2	1,3
3	13	110	41,2	33,9	7,3	3,8	2,2
		130	47,5	38,6	8,9	4,6	2,7

Fuente: Autores

Figura 4.10: Comparativo del desgaste de batería



Fuente: Autores

CONCLUSIONES

- La tecnología de freno regenerativo, es una alternativa altamente efectiva para aumentar la autonomía del scooter eléctrico, aprovechando los ciclos de frenado para recargar la batería, reduciendo su desgaste y mejorando la eficiencia energética del vehículo.
- La implementación de un sistema de freno regenerativo debe observar las características técnicas del motor eléctrico original del scooter para asegurar una integración correcta de esta tecnología lo cual permitirá la gestión adecuada de la energía recuperada y su almacenamiento eficientemente en la batería.
- El uso de un motor sin escobillas ofrece beneficios significativos en términos de eficiencia energética, durabilidad, control de frenado y sostenibilidad, haciendo que los scooters eléctricos sean una opción más atractiva tanto para los usuarios como para el medio ambiente. El proyecto reveló que los motores regeneradores pueden convertir eficazmente la energía cinética en energía eléctrica, aprovechando al máximo el potencial regenerativo y mejorando la eficiencia energética del vehículo.
- Las rutas definidas en las pruebas, proporcionaron un entorno variado y representativo para evaluar el desempeño del sistema de freno regenerativo en condiciones reales. Los resultados demostraron que el scooter modificado mantuvo un rendimiento óptimo, mejorando significativamente su autonomía en comparación con las pruebas sin intervención. La recuperación de energía durante el frenado en los trayectos evidenció la eficacia del sistema en entornos urbanos con diversas topografías y condiciones de tráfico, validando su viabilidad y factibilidad práctica.

RECOMENDACIONES

- En una nueva versión de este proyecto, se podrían usar vehículos eléctricos con otro tipo de baterías como: iones de litio, níquel-hierro, níquel-cadmio, etc para establecer un análisis comparativo sobre la efectividad del sistema de recuperación de energía con otras alternativas de almacenamiento.
- Sería importante ampliar el alcance de la investigación hacia vehículos eléctricos con mejores prestaciones, para aprovechar la conversión de energía cinética, garantizando un mayor aprovechamiento del potencial regenerativo y mejorando su eficiencia energética.
- Para consolidar la funcionalidad y operatividad del sistema de freno regenerativo en el scooter eléctrico, es recomendable expandir las pruebas usando otras rutas y/o contextos urbanos, que permitan ampliar el análisis de su efectividad en diversas condiciones de tráfico y topografía.
- Se sugiere monitorear de forma permanente el sistema implementado para recopilar datos sobre la operación y rendimiento del freno regenerativo, con el fin de realizar los ajustes y mejoras necesarias en tiempo real.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Aguirre, F. A., & Ortega, J. E. (2020). *Estudio para la implementación del scooter eléctrico como sistema alternativo de movilidad vehicular en la ciudad de Cuenca*. Dspace. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18708>
- Ayala, J. R., & Pujos, O. D. (2022). *Diseño y construcción de un modelo de patinete eléctrico, personal y amigable para la ciudad*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/16575>
- Bazante, W. A. B. (2020). *Proceso de Implementación de la Electromovilidad para una Flota Pequeña de Vehículos MI en Guayaquil*. Universidad Internacional del Ecuador. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/4390/1/T-UIDE-0104.pdf>
- Carnovo. (2024). *SEAT e-Scooter Concept: Características y lanzamiento—Carnovo*. <https://carnovo.com/es/guias/precios-moto-electrica-seat/>
- Casadei, M. (2023). *Diseño de motocicleta doble tracción híbrida*. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería. Argentina. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/handle/123456789/776>
- Changoluisa, L. F., & Erazo, W. G. (2023). *Diseño e implementación de un sistema de carga tipo rotor generador para incrementar la autonomía en una motocicleta eléctrica*. ESPE. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/35221/1/T-ESPEL-MAI-0792.pdf>
- Chapi, J. F., & Correa, Á. E. (2021). *Desarrollo de un sistema electrónico para la autonomía en bicicletas eléctricas con freno regenerativo a base de supercondensadores*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11155>
- García, D. P. (2023). *Prototipo de un stand up trike eléctrico para movilidad urbana*. Universidad Autónoma de Querétaro. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/8737>

- Jaramillo, J. E., & Espinel, Á. H. (2022). Análisis de tráfico y alternativas de solución para el congestionamiento vehicular en la intersección de la Avenida Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco en la ciudad de Quito a través del software PTV VISSIM. PUCE. <https://repositorio.puce.edu.ec/items/d9ae701c-8d97-457b-aef9-578917f20f16>
- Loaiza, P. Y. (2023, diciembre 1). *Quito es la ciudad con mayor congestión vehicular de Ecuador y la tercera en Sudamérica.* infobae. <https://www.infobae.com/america/america-latina/2023/12/01/quito-es-la-ciudad-con-mayor-congestion-vehicular-de-ecuador-y-la-tercera-en-sudamerica/>
- López, R. (2023). *Diseño y cálculo de un freno delantero para el Mi Electric Scooter.* Universitat Politècnica de Catalunya. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/400341/TFG_Raul%20L%c3%b3pez%20Blanco.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Michelena, G., Iannuzzi, P., & Barafani, M. (2023). *Hacia una integración sostenible: El potencial de la electromovilidad en América Latina y el Caribe.* IADB: Inter-American Development Bank. <https://entriosexporta.com/wp-content/uploads/Hacia-una-integracion-sostenible-el-potencial-de-la-electromovilidad-en-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- Monroy, C. C., Siachoque, C. A., Durán, I. C., & Marulanda, A. R. (2020). Estudio comparativo de un sistema de freno regenerativo y regeneración con energía cinética constante en vehículos eléctricos de batería. *Ingeniería*, 25(3), 305–322.
- Montiel, G. M. (2023). *Análisis de las ventas de vehículos eléctricos en Guayaquil.* DSPACE. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26531>
- Nochebuena, M. A. H., Acevedo, M. E. C., gallegos, M. de J. F., Centeno, O. F., Jiménez, J. R. H., Vega, D. V., & No, P. T. (2023). Diagnóstico del desarrollo tecnológico en

México para la incorporación de la electromovilidad en el autotransporte. *Diagnóstico del desarrollo tecnológico en México para la incorporación de la electromovilidad en el autotransporte.*

<http://asdf.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt729.pdf>

- Primicias. (2020). *Scooters*. <https://cdn.jwplayer.com/previews/RrwhQnMC-TFhMsl60>
- Primicias. (2024). *Carros híbridos: Los que menos subirán de precio con el alza del IVA a 15%, en abril*. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/hibridos-carros-ventas-iva-acuerdo-comercial-china/>
- Spencer, D. O. (2019). Diseño e implementación de freno regenerativo para motor de corriente continua sin escobillas con imanes permanentes para moto eléctrica. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/173225>
- Sutikno, T., Satya Widodo, N., Santosa, B., Aprilianto, R. A., Wahono, T., & Pamungkas, A. (2023). *Design of An Electrical Regenerative Braking System for E-Bike Applications* (p. 432). <https://doi.org/10.1109/EECSI59885.2023.10295635>
- EMR. (2023) *Perspectiva del Mercado Latinoamericano de Scooters Eléctricos*
- <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-latinoamericano-de-scooters-electricos>
- Victoria, D. A. (2015). Desarrollo de una metodología para el cálculo integral de la energía de un vehículo eléctrico en la zona de Ciudad Salitre mediante el análisis energético del vehículo centrado en el freno regenerativo. Uniandes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstreams/0e8eb400-83cb-4cc7-ba30-f766df0aa854/download>

- Vilcahuamán, L. A. (2021). Diseño de sistema de freno regenerativo para bicicleta impulsada por motor eléctrico de 500 W. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/21679>
- Yang, C., Sun, T., Wang, W., Li, Y., Zhang, Y., & Zha, M. (2024). Regenerative braking system development and perspectives for electric vehicles: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 198, 114389.

ANEXOS

ANEXO 1: Formato de la encuesta aplicada

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ SEDE QUITO – CAMPUS SUR	
---	---	---

ENCUESTA

PROYECTO: OPTIMIZACIÓN DE LA AUTONOMÍA DE UN SCOOTER ELÉCTRICO MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE FRENO REGENERATIVO.

Instrucciones:

Por favor lea detenidamente las preguntas antes de responder. La encuesta es anónima, pero sus respuestas son de suma importancia para el proyecto.

PREGUNTAS

Pregunta #1: Utiliza un vehículo eléctrico para sus actividades diarias?

- Si
- No

Pregunta #2: Cuál es el recorrido que realiza diariamente en su vehículo tipo scooter?

- De 2 a 5 kilómetros
- De 6 a 12 kilómetros
- De 12 a más kilómetros

Pregunta #3: Cuál es el tiempo aproximado de carga de su vehículo tipo scooter?

- De 2 a 4 horas
- De 5 a 8 horas
- De 9 a más horas

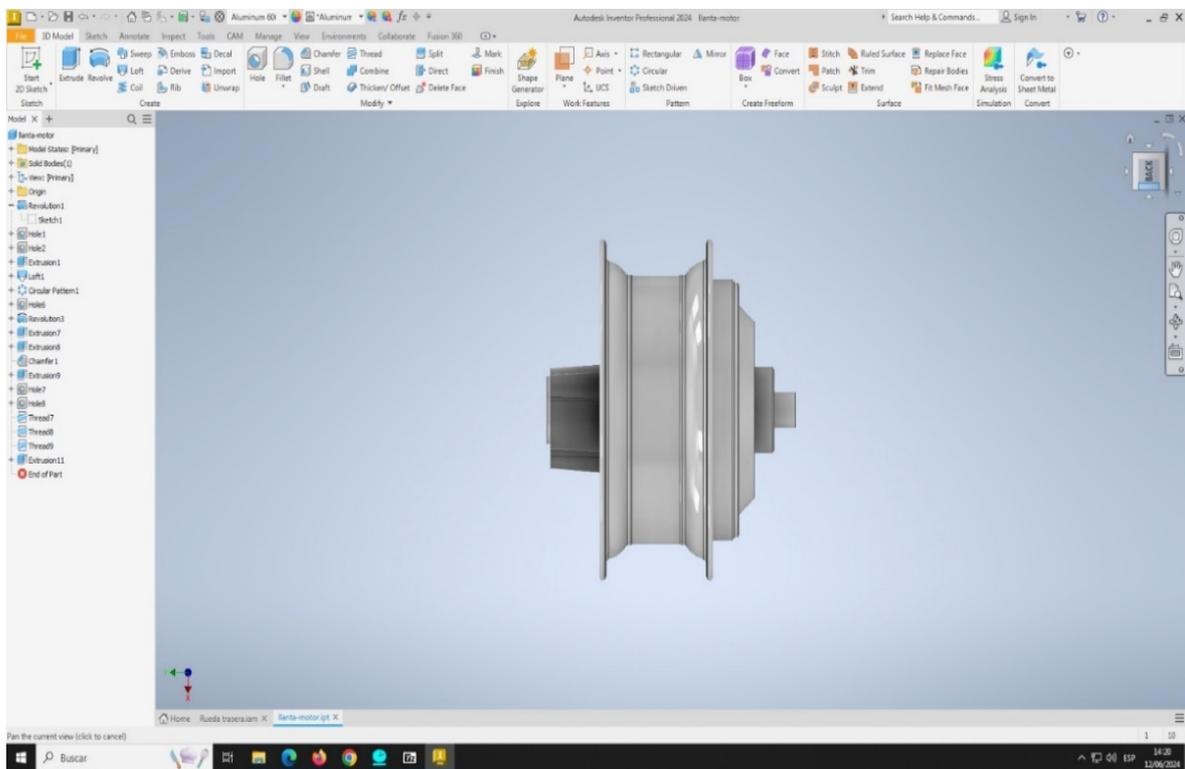
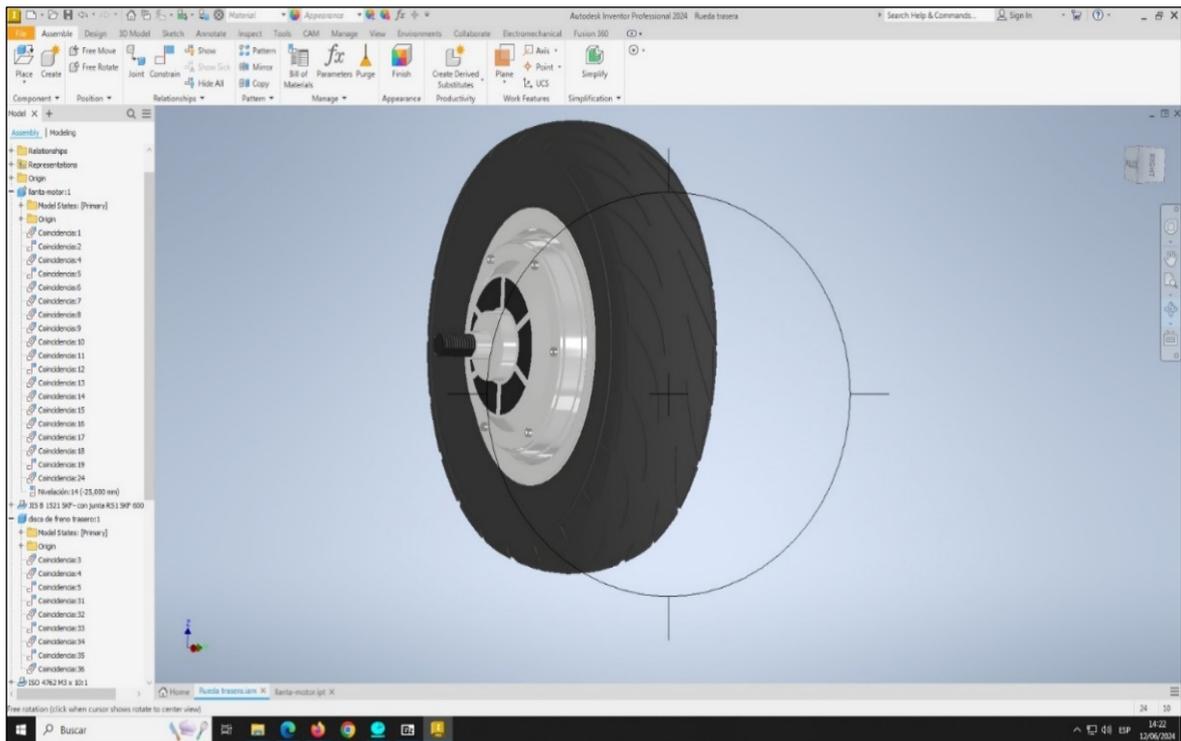
Pregunta #4: Estaría dispuesto a realizar una baja inversión para optimizar el consumo y la autonomía de su vehículo?

- Si
- No

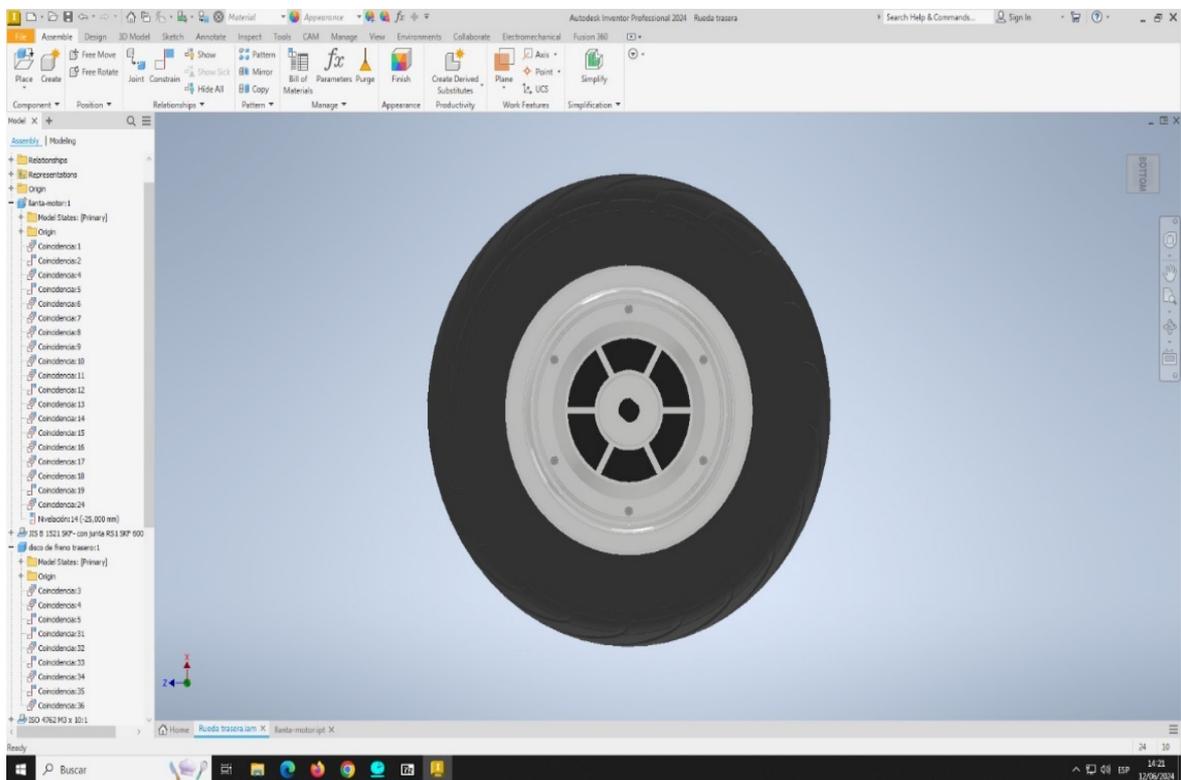
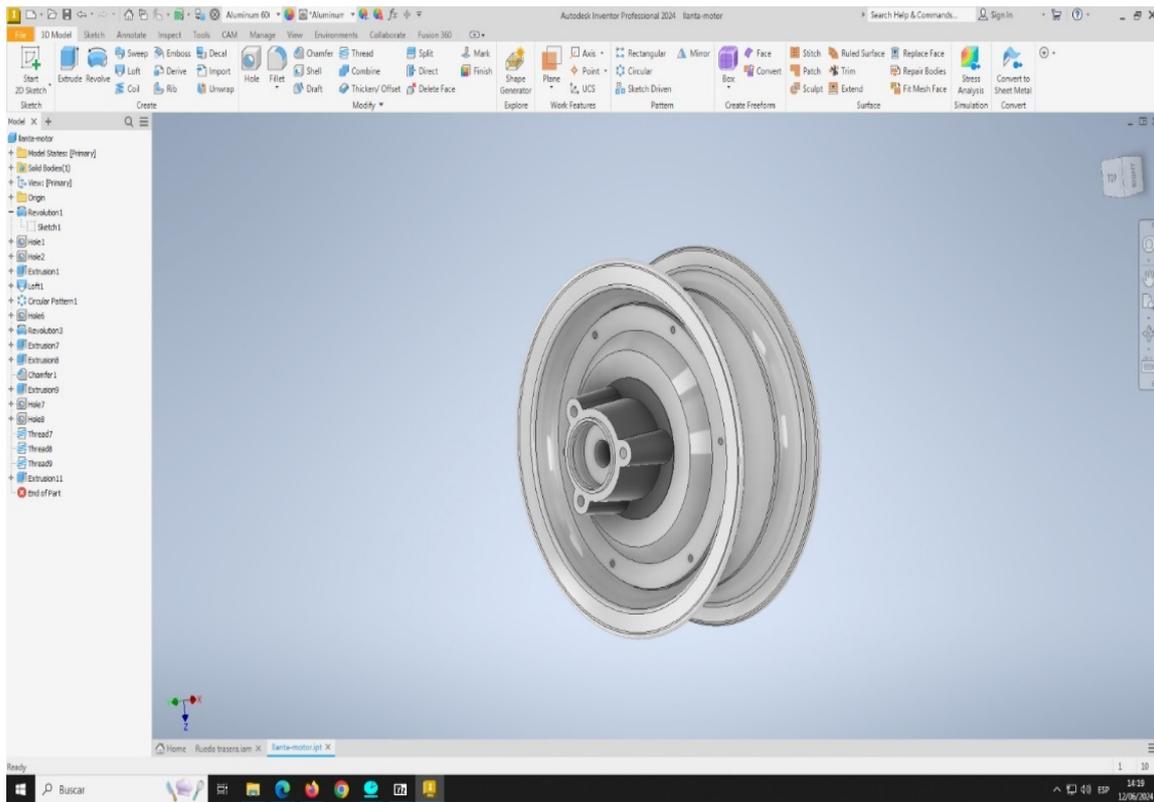
Pregunta #5: Conoce la tecnología de freno regenerativo para vehículos eléctricos?

- Si
- No

ANEXO 2. Modelamiento del motor regenerador para la instalación en el scooter.

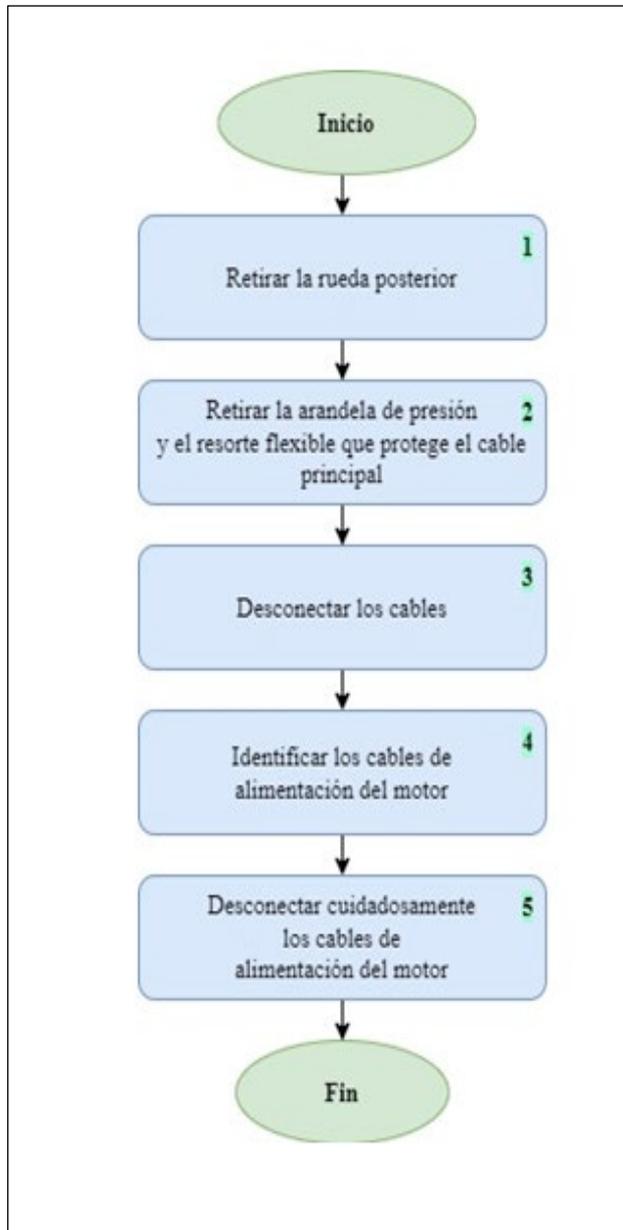


ANEXO 2.1. Modelamiento del motor regenerador para la instalación en el scooter.

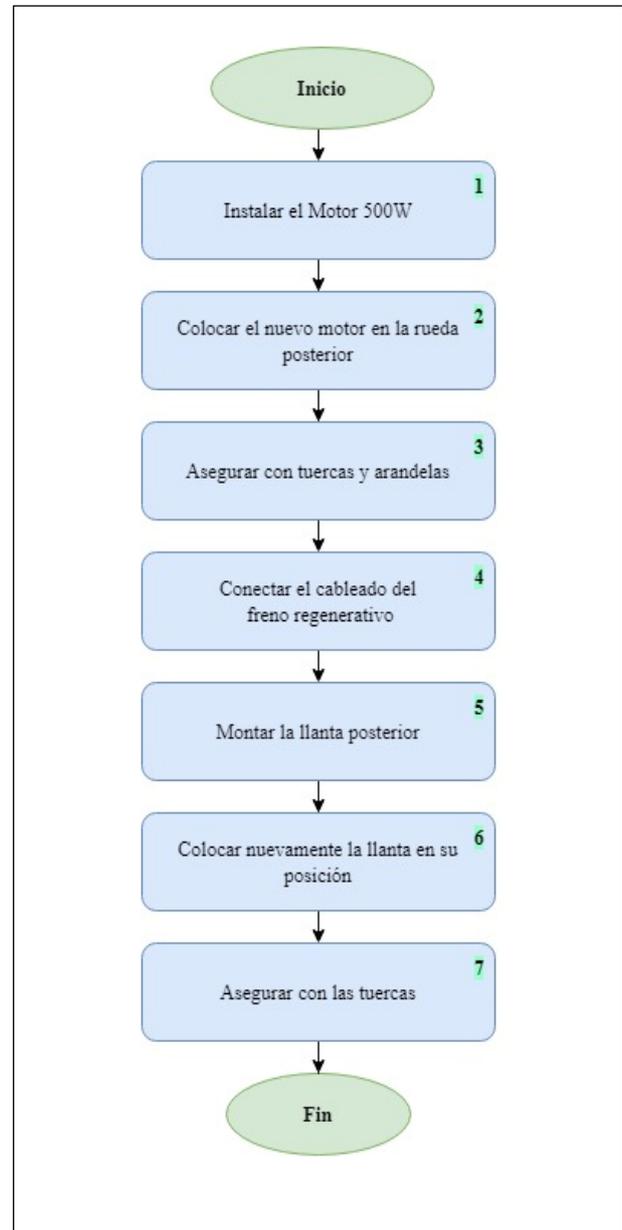


ANEXO 3: Flujogramas de ensamble del motor sin escobillas de freno regenerativo.

Desmontaje del motor eléctrico

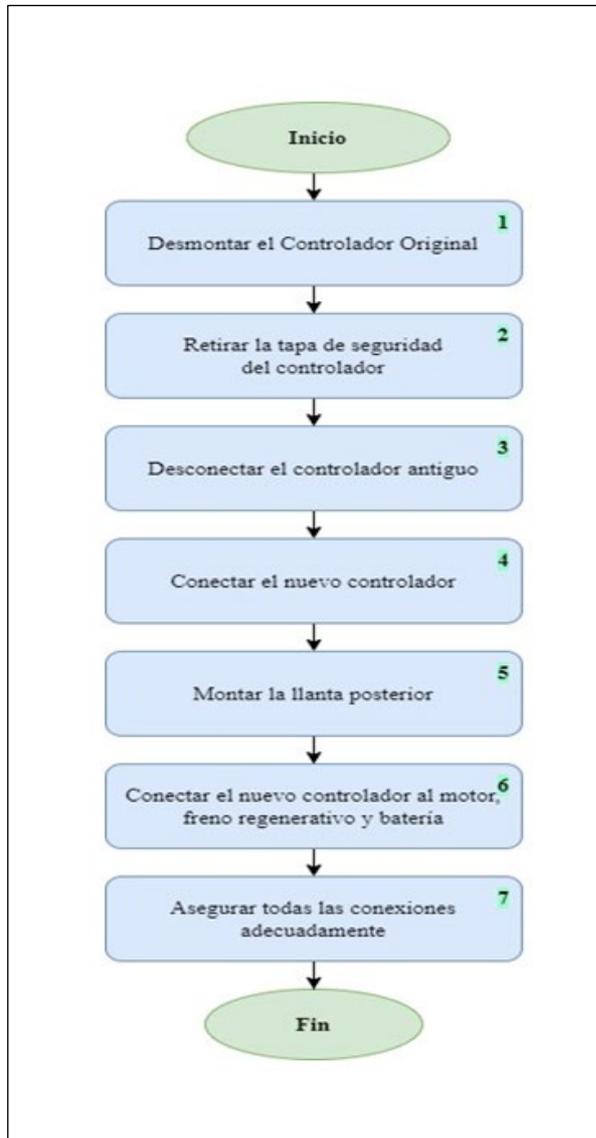


Montaje del motor regenerador

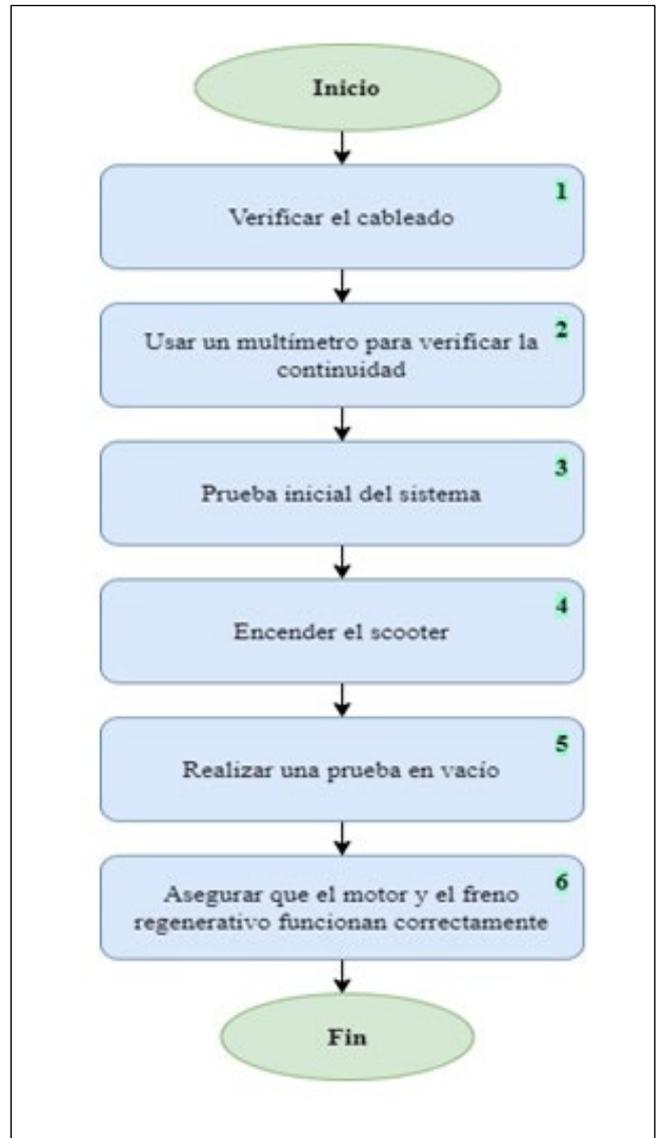


ANEXO 3.1: Flujogramas de ensamble del motorSin Escobillas de freno regenerativo.

Instalación del nuevo controlador



Verificación de la instalación



ANEXO 4: Ensamble del motor Sin Escobillas de freno regenerativo.



ANEXO 5: Data sheet controladora del motor regenerativo

Brushless
 Brushless Motor Controller User's Manual V 3.4

Connections

3.2.1 Front Panel of BLDC Motor Controller:
 Five metal bars and two plugs (J1, J2) are provided for connecting to the battery, motor and control signals in the front of the controller shown as Figure 3, 4 and 5.

Figure 3: Front panel of KBL/KBL-X motor controller

Figure 4: Front panel of KBL-E motor controller

B+: battery positive
 B-: battery negative
 A: Output U/1/A phase
 B: Output V/2/B phase
 C: Output W/3/C phase

ANEXO 5.1: Data sheet conexiones de la controladora del motor regenerativo

Brushless

Brushless Motor Controller User's Manual

V 3.4



Figure 5: The connecting diagram of J1 and J2

J1 Pin Definition

- 1- 12V 30mA. Only can be used for switch signals.
- 2- Current meter. <200mA
- 3- Main contactor driver. <2A
- 4- Alarm: To drive reverse beeper. <200mA
- 5- RTN: Signal return
- 6- Green LED: Running indication
- 7- RTN: Signal return

8- RS232 receiver
9- RS232 transmitter
10- CAN bus high
11- CAN bus low
12- Reserved
13- RTN: Signal return, or power supply return
14- Red LED: Fault code.

J2 Pin Definition

1. PWR: Controller power supply (input)
2. RTN: Signal return, or power supply return
3. RTN: Signal return
4. 12V high-level brake and motor temperature input
5. Throttle analog input, 0-5V
6. Brake analog input, 0-5V
7. 5V: 5V supply output. <40mA
8. Micro_SW: Throttle switch input
9. Reversing switch input
10. Brake switch input
11. Hall phase C
12. Hall phase B
13. Hall phase A
14. RTN: Signal return

ANEXO 6: Instalación de la controladora del motor regenerativo

