



POSGRADOS

MAESTRÍA EN INGENIERÍA AUTOMOTRIZ CON MENCIÓN EN NEGOCIOS AUTOMOTRICES

RPC-SO-36-NO.825-2021

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

ARTÍCULOS PROFESIONALES DE ALTO NIVEL

TEMA:

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA
DE LA BATERÍA DE ION LITIO EN UNA
MOTO ELÉCTRICA PARA EL USO DE MICRO
MOVILIDAD.

AUTOR(ES)

RODRIGO DAVID LIMAICO QUINTEROS

DIRECTOR:

CARLOS ALBERTO CARRANCO QUIÑONEZ

QUITO – ECUADOR

2025



Autor(es):



Rodrigo David Limaico Quinteros

Ingeniero Mecánico Automotriz.

Candidato a Magíster en Ingeniería Automotriz con Mención en Negocios Automotrices por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.

rodridvidlm@hotmail.com

Dirigido por:



Carlos Alberto Carranco Quiñonez

Ingeniero en Sistemas – Mención en Robótica e Inteligencia Artificial

Magíster en Sistemas de Control y Automatización Industrial - ESPOCH

ccarranco@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2025 © Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO– ECUADOR – SUDAMÉRICA

RODRIGO DAVID LIMAICO QUINTEROS

Análisis de la eficiencia energética de la batería de ion litio en una moto eléctrica para el uso de micro movilidad.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a todas las personas que estuvieron junto a mí, en especial a mi familia por su apoyo incondicional y a mis mentores por guiarme en este camino del conocimiento.

Rodrigo David Limaico Quinteros.

AGRADECIMIENTO

A mi familia por ser siempre la fuente de inspiración y fortaleza, a todas las personas que con su presencia han sido parte de mi desarrollo personal y profesional en este camino de constantes cambios.

Rodrigo David Limaico Quinteros.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	8
Abstract	9
1. Introducción	10
2. Justificación	11
3. Marco teórico referencial.....	13
4. Materiales y metodología.....	20
5. Procesamiento de información	26
6. Análisis estadístico.....	35
7. Conclusiones y Recomendaciones.....	40
Referencias	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas.....	20
Tabla 2. Dinámicas de movilidad de los habitantes del DMQ.....	21
Tabla 3. Valores mínimos y máximos.....	24
Tabla 4. Datos registrados en la aplicación Topo GPS tramo N.º 1 ascenso	27
Tabla 5. Datos registrados en el osciloscopio tramo N.º 1 ascenso	29
Tabla 6. Datos registrados en la aplicación Topo GPS tramo N.º 2 plano	30
Tabla 7. Datos registrados en el osciloscopio tramo N.º 2 plano	31
Tabla 8. Datos registrados en la aplicación Topo GPS tramo N.º 3 descenso	32
Tabla 9. Datos registrados en el osciloscopio tramo N.º 3 descenso	34
Tabla 10. Consumo energético en tres tramos específicos	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Moto Super Soco TSX	21
Figura 2. Topografía de la ruta seleccionada	22
Figura 3. Mapa de rutas	22
Figura 4. Desnivel vs distancia de la ruta	23
Figura 5. Osciloscopio USB Autoscope IV.....	24
Figura 6. Conexión del osciloscopio con los componentes.....	25
Figura 7. Visualización gráfica del consumo de energía en el tramo de ascenso.....	27
Figura 8. Gráfica tramo N.º 1 ascenso.....	28
Figura 9. Gráfica Velocidad vs tiempo en el tramo N.º 1 ascenso.....	29
Figura 10. Gráfica de la ruta en el tramo N.º 2 plano.....	30
Figura 11. Gráfica Velocidad vs tiempo en el tramo N.º 2 plano.....	30
Figura 12. Visualización gráfica del consumo de energía en el tramo plano.....	31
Figura 13. Gráfica tramo N.º 3 descenso.....	32
Figura 14. Gráfica Velocidad vs tiempo en el tramo N.º 3 descenso.....	33
Figura 15. Visualización gráfica del consumo de energía en el tramo de descenso.....	34
Figura 16. Comparación de eficiencia energética entre tramos.....	36
Figura 17. Autonomía estimada en función de consumo energético.....	37
Figura 18. Influencia del peso del piloto y la pendiente en el consumo energético.....	39

ANÁLISIS DE LA
EFICIENCIA
ENERGÉTICA DE LA
BATERÍA DE ION LITIO
EN UNA MOTO
ELÉCTRICA PARA EL
USO DE MICRO
MOVILIDAD.

AUTOR(ES):

RODRIGO DAVID LIMAICO QUINTEROS

RESUMEN

La creciente adopción de vehículos eléctricos en entornos urbanos ha generado la necesidad de evaluar su eficiencia energética y autonomía en condiciones reales de operación. En este estudio, se analiza el desempeño de la batería de ion litio (60V, 30Ah) de una motocicleta eléctrica, considerando distintos factores que influyen en su consumo energético. Se llevaron a cabo pruebas experimentales en una ruta predefinida de 25.8 km, caracterizada por ascensos, descensos y tramos planos, utilizando la aplicación Topo GPS para el registro de datos de desplazamiento y un osciloscopio USB Autoscope IV para la captura de señales eléctricas de la batería.

Los resultados indican que la autonomía en condiciones reales es significativamente menor a la estimada por el fabricante. Se identificó una relación directa entre el consumo energético y el perfil de la ruta en tramos ascendentes con una pendiente promedio del 12%, el consumo alcanzó los 97.74 Wh/km, reduciendo la autonomía a 14.73 km. En tramos planos, se obtuvo una eficiencia de 41.29 Wh/km, permitiendo una autonomía de 34.88 km, en descensos no hubo consumo energético debido a la inactividad del motor. La autonomía estimada en condiciones mixtas fue de 29.8 km, en contraste con los 60 km indicados en la ficha técnica.

Estos hallazgos destacan la importancia de considerar variables como la inclinación de la ruta, el peso del conductor y el estilo de conducción para una estimación realista de la autonomía. Se recomienda la implementación de estrategias de conducción eficiente y el desarrollo de tecnologías como frenos regenerativos para mejorar el rendimiento energético en descensos. Este estudio proporciona información clave para el diseño de políticas de movilidad sostenible y el desarrollo de mejoras tecnológicas en vehículos eléctricos urbanos.

Palabras clave:

Moto eléctrica, eficiencia energética, batería de ion litio, autonomía, movilidad urbana

ABSTRACT

The increasing adoption of electric vehicles in urban environments has created the need to evaluate their energy efficiency and range under real operating conditions. This study analyzes the performance of the lithium-ion battery (60V, 30Ah) of an electric motorcycle, considering various factors that influence its energy consumption. Experimental tests were conducted on a predefined 25.8 km route, characterized by ascents, descents, and flat stretches, using the Topo GPS application to record travel data and an Autoscope IV USB oscilloscope to capture the battery's electrical signals.

The results indicate that the motorcycle's actual range is significantly lower than the manufacturer's estimate. A direct relationship between energy consumption and terrain profile was identified: on uphill segments with an average gradient of 12%, consumption reached 97.74 Wh/km, reducing the range to 14.73 km. On flat sections, an efficiency of 41.29 Wh/km was achieved, allowing for a range of 34.88 km, while on downhill stretches, energy consumption was negligible due to engine inactivity. The estimated range under mixed conditions was 29.8 km, in contrast to the 60 km stated in the technical specifications.

These findings underscore the importance of considering factors such as terrain inclination, rider weight, and driving style for realistic range estimation. The implementation of efficient driving strategies and the development of technologies such as regenerative braking are recommended to improve energy efficiency on descents. This study provides key insights for designing sustainable mobility policies and advancing technological improvements in urban electric vehicles.

Palabras clave:

Electric motorcycle, energy efficiency, lithium-ion battery, range, urban mobility.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se ha visto un aumento significativo en la adopción de vehículos eléctricos como una alternativa más sostenible que los automóviles de combustión interna. Esta tendencia se ha observado tanto en automóviles como en vehículos más pequeños. Las motos eléctricas y scooter son vehículos populares en áreas urbanas debido a su agilidad, facilidad de estacionamiento y eficiencia en el tráfico. Su adopción creciente como medio de movilidad plantea la necesidad de entender a fondo sus componentes clave, como las baterías eléctricas.

Las baterías son un componente crítico en vehículos eléctricos. La evolución de la tecnología de baterías ha permitido aumentar la autonomía y la eficiencia de los vehículos eléctricos, lo que es especialmente relevante para una moto, scooter eléctrico, donde el espacio y el peso de la batería son factores importantes.

La autonomía de un vehículo eléctrico puede variar según múltiples factores, como la temperatura, la velocidad de conducción, la ruta. Es importante entender que la autonomía detallada en las fichas técnicas suele basarse en pruebas de laboratorio bajo condiciones ideales, y en condiciones del mundo real puede ser diferente.

Algunos vehículos eléctricos pueden no alcanzar la eficiencia energética esperada en ciertas situaciones por cómo se usa la energía. Debido a diferentes factores tales como: velocidad, estilo de conducción, peso del conductor y otras variables que pueden afectar el rendimiento y la autonomía de las baterías.

2. JUSTIFICACIÓN

El uso de medios de transporte alternativos y sostenibles se ha vuelto una prioridad esencial para enfrentar los problemas de contaminación ambiental y agotamiento de recursos. En este contexto, las motos scooter eléctricas han surgido como una posible solución para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y minimizar la dependencia de los combustibles fósiles. Al realizar un análisis detallado de las características de la batería eléctrica, podemos comprender mejor su eficiencia energética, autonomía y tiempo de recarga, lo que es crucial para tomar decisiones como usuario y elegir un móvil de transporte.

La movilidad urbana tiene un impacto directo en la calidad de vida de las personas. El tiempo empleado en la movilidad, la contaminación del aire derivados de los vehículos convencionales, el ruido provoca efectos adversos en la salud de la población y el entorno ambiental. Al investigar las características de la batería eléctrica de las motos scooter, estamos contribuyendo a la creación de un entorno urbano más limpio y silencioso, impactando positivamente en la calidad del aire y la salud pública. Además, el análisis puede proporcionar información valiosa para diseñadores, fabricantes y usuarios, sobre el real funcionamiento de estos vehículos en nuestro medio, debido a las irregularidades propias de nuestra ciudad y así mejorar la experiencia de la movilidad urbana.

El análisis de las características de la batería eléctrica de una moto scooter tiene importantes implicaciones prácticas para diversos actores. Por un lado, los usuarios podrían utilizar los resultados para analizar si en verdad es funcional un vehículo con las características mencionadas, en la movilidad urbana. Los usuarios también se beneficiarían al tomar decisiones informadas al comprar vehículos eléctricos. Las autoridades locales y nacionales pueden utilizar esta información para establecer políticas de incentivos y regulaciones que fomenten la adopción de ciclomotores eléctricos y así lograr objetivos de sostenibilidad y disminuir las emisiones.

Con la perspectiva que, este proyecto de investigación contribuirá al conocimiento en el ámbito de la movilidad sostenible y la tecnología de baterías. El análisis de las características de la batería eléctrica de la moto scooter podría proporcionar información sobre el rendimiento, su impacto en la autonomía, eficiencia y cómo estos factores influyen en la implementación de vehículos eléctricos en general. Además, el proyecto puede sentar las bases para futuras investigaciones sobre optimización de baterías y desarrollo tecnológico aplicado a nuestras necesidades en el ámbito de la movilidad eléctrica.

Objetivos:

Analizar y evaluar de manera sistemática la relación entre la capacidad energética de la batería de ion litio y la distancia recorrida por un moto-scooter en varios trayectos urbanos

Objetivos específicos:

- Estudiar los principales factores que influyen en la batería del móvil para recorrer una distancia determinada y contribuir al conocimiento sobre la viabilidad de la micro movilidad eléctrica dentro de la ciudad.
- Determinar la eficiencia de la batería en varios trayectos mediante pruebas experimentales para poder reconocer si la capacidad puede cubrir las necesidades de la movilización.
- Analizar los efectos producidos en la batería por los recorridos establecidos, mediante técnicas de instrumentación para informar sobre el desempeño de estos medios de transporte en condiciones de uso real.

3. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

A continuación, se describen estudios relacionados con el proyecto de investigación que sirven de base para su desarrollo.

Hieu et al. [1] analizaron el impacto de los parámetros de entrada en las características dinámicas y la eficiencia energética de una moto eléctrica. Los autores establecieron un modelo de simulación usando el software MatLab/Simulink encontrado que un aumento en la masa del conductor de 48 kg a 88 kg se reduce la velocidad y la distancia recorrida aumentando el consumo eléctrico en 0.11 %, mientras que un incremento en el radio de la rueda y la relación de transmisión mejora la velocidad máxima. Asimismo, han confirmado que el área frontal influye en la resistencia aerodinámica y el consumo energético. Comparaciones entre simulaciones y pruebas experimentales han demostrado la precisión de estos modelos. La integración de ambos enfoques permite optimizar el desempeño y consumo energético de motocicletas eléctricas.

Li et al. [2] revisaron la estimación del estado de carga de los acumuladores de iones de litio. Se resume las principales tecnologías de estimación de estado de carga de las baterías de ion litio. Como resultado de la investigación se exponen beneficios y limitaciones de cada modelo y método de identificación de parámetros y métodos de estimación de estado de carga.

Arismendi et al. [3] estudiaron cómo los diferentes modos de uso impactan la batería y, en particular se evalúa la viabilidad de transferir el excedente de energía a la red (V2G). mediante la simulación de diversos patrones de conducción, transferencia de energía hacia la red y procesos de recarga de la batería, esto en tres tipos de vehículos eléctricos. Como resultados, para un mismo recorrido en función de 5, 7 y 9 años, el estado de salud de la batería se ve afectado con mayor rapidez cuando la capacidad de almacenamiento de la batería es reducida, ya que se produce una descarga más profunda. Por otro lado, queda confirmado que

realizar descarga hacia la red reduce considerablemente el estado de salud de la batería esto si no se utiliza algoritmos de optimización.

Micari et al. [4] presentaron un procedimiento experimental, capaz de estimar en base a la información de la hoja de especificaciones la vida útil del acumulador de iones de litio. Los resultados obtenidos en términos de capacidad residual de la batería también se pueden aprovechar para estimar la autonomía alcanzable por un vehículo con una batería envejecida. Se muestra una comparación entre la distancia recorrida por un vehículo equipado con una batería nueva y un vehículo con una batería de cuatro años. En ambos casos, el SOC inicial es del 100 % y el voltaje de la batería es de unos 350 V. Suponiendo un SOC residual del 20 % en los dos casos, el vehículo con la batería de cuatro años tiene 30 km menos.

Dileepan y Jayakumar [5] analizan el rendimiento de baterías de litio, Mediante la carga y descarga en función de ciertas condiciones de temperatura en las que se prueba su voltaje, corriente, tiempo de carga y tiempo de descarga hasta su capacidad total. Los autores indican que los aspectos clave de las baterías incluyen el nivel de carga (SOC), el nivel de descarga (SOD), el voltaje, la corriente, la densidad de potencia y la densidad de energía. La capacidad de una batería se define como el resultado de multiplicar la corriente por el tiempo de carga - descarga. Las principales limitaciones son su incapacidad para manejar corrientes superiores a su capacidad máxima, su vulnerabilidad a temperaturas elevadas, y el riesgo de explosión debido al maltrato. Por ello el BMS supervisa las condiciones operativas de la batería, como el voltaje, la corriente y la temperatura.

Constantinescu et al. [6] examinan la pérdida de capacidad de las baterías almacenadas, con un estudio estadístico exhaustivo y esto puede provocar desequilibrios en el paquete de baterías, para ello se usó un lote de 5 baterías nuevas de fosfato de litio y hierro (LFP) almacenada durante un año. Con base en los experimentos realizados y la prueba t-Student pareada, se concluyó que, para el lote de cinco baterías durante un año, hay una pérdida de capacidad media de 0.059 Ah, lo que representa el 2.46 % de la capacidad media del año de referencia.

Baptista et al. [7] analizan el uso de dos motocicletas (EM) y dos pequeños vehículos eléctricos (EV) de baja potencia en un entorno urbano con topografía y perfil de conducción exigentes. Los vehículos se compararon con tecnologías convencionales estimando los impactos en el tiempo de viaje y los beneficios asociados sobre la energía y el medio ambiente, utilizando una metodología desarrollada para estimar su ciclo de conducción, así como el consumo de energía correspondiente. Con ello se pudo determinar que para el recorrido más exigente el vehículo eléctrico de baja potencia supondría una reducción de la velocidad media de hasta un 11 %, aumentando el tiempo de viaje en un 13 %. Para las motos de baja potencia, en el recorrido más exigente, reducción de hasta un 20 % en la velocidad media y, en consecuencia, aumentos de hasta un 25 % en el tiempo de viaje.

Diaz et al. [8] analizan la eficiencia energética de un scooter con una batería de 350 W y una velocidad máxima de 30 k/h para cubrir rutas aleatorias y ordenadas en la zona centro de la ciudad a través de un modelo didáctico generado en Matlab, demostrando la validez de la implementación de un sistema de micro movilidad de cualquier modelo de scooter eléctrico ofrecido en la ciudad, así como las consideraciones técnicas y económicas necesarias. determinaron que el rendimiento energético del patinete eléctrico en ciudad supera los requisitos para cubrir cualquier ruta establecida, el patinete puede entregar una energía total de 131 Wh y una autonomía de 20.63 km, que depende del peso del conductor. De los resultados energéticos se desprende que la autonomía real del patinete es un 50% menor que la ofrecida por el fabricante. Sin embargo, los resultados indican que el patinete puede completar cada recorrido dos veces sin ningún problema.

Ruensumruay et al. [9] estudian el efecto de las motocicletas eléctricas en el consumo de energía, la técnica ANOVA se utiliza para determinar los factores importantes que afectan el consumo de energía de las motocicletas, que son el tamaño del motor (CC), la edad (año), la distancia (km/día), la velocidad promedio (km/h) y el número de pasajeros. Estos factores significativos se seleccionan para que sean los datos de entrada del modelo, mientras que los datos de salida son el consumo de energía (MJ/km.). Compara el consumo de energía de una motocicleta

con el de una motocicleta eléctrica para determinar el resultado de ahorro en unidad de MJ/km y Ton CO₂. El ahorro resultante de la sustitución de motocicletas eléctricas por motocicletas privadas es del 85 %, mientras que el de las motocicletas públicas es del 81 %.

Anthony et al. [10] desarrollaron un generador de sonido reconfortante para generar un sonido artificial de motor como sonido reconfortante que es similar al sonido motor original. Se utilizó un generador de onda sinusoidal para generar un conjunto de armónicos y se utilizó un algoritmo de acumulación de fase para garantizar la continuidad de la fase cuando cambiaba la frecuencia. El sonido de confort generado contiene armónicos y ruidos de fondo cuya amplitud depende de la velocidad de rotación. El sonido del motor artificial es casi similar al sonido del motor original mediante escucha subjetiva, pero no se muestra en el espectrograma.

Oeschger et al. [11] revisan la literatura, de estudios centrados en la integración de la micro movilidad y los sistemas de transporte público. A través de un enfoque sistemático para proporcionar una visión amplia de la literatura publicada en relación con la micro movilidad y la integración del transporte público, al tiempo que presenta el estado del conocimiento en este campo, identificando lagunas en la literatura y sintetizando los hallazgos, fundamentalmente para investigar qué tipo de estudios se han realizado sobre el tema y cómo se ha examinado hasta la fecha.

Ignaccolo et al. [12] identifican y proponen un conjunto de criterios que deben tenerse en cuenta para la planificación el diseño de una red de infraestructuras en la que puedan circular los e-Scooter. La identificación de los criterios se basa en parte en los principios para la planificación de la red ciclista desarrollados por la Unión Europea. Con el fin de ofrecer sugerencias para las intervenciones de planificación destinadas a satisfacer estos criterios, inspirándose en estudios de casos en los que ya se han establecido los e-Scooter y los dispositivos de micro movilidad eléctrica. Los criterios resultantes pueden servir de guía a administradores y planificadores urbanos y de transportes para garantizar unas

condiciones de movilidad más seguras y sostenibles en el uso de esta nueva forma de movilidad, como se demuestra en la aplicación al estudio.

Kremzow-Tennie et al. [13] estudiaron como la resistencia al aire, la inercia, rodadura y elevación que influyen en el gasto energético de los vehículos eléctrico, para esto se recopila datos reproducibles, se utiliza un ciclo de conducción normalizado como señal de entrada para la simulación. El modelo utilizado en este estudio se desarrolló utilizando MatLab/Simulink, con ello se puede determinar que un aumento de peso tiene una influencia directa sobre la resistencia a la rodadura, que es proporcional a la fuerza normal sobre la superficie de contacto del neumático. Por lo tanto, si se duplica el peso, la resistencia a la rodadura también.

Puentestar et al. [14] analizaron la eficiencia energética de motos eléctricas para la implementación en el sector privado y comercial en la ciudad de Loja. Trazando rutas estratégicas que circulen por el centro y zonas urbanas de la ciudad. Mediante un modelado generado en MatLab/Simulink presentan el resultado del análisis energético para la movilidad privada, obteniendo un rendimiento promedio de 44.59 km/KWh con una batería de 0.811 kWh pudiendo recorrer cualquier ruta planteada, para el sector comercial obtiene un rendimiento de 21.2 Km/kWh con una batería de 1.9kWh, para este caso es necesario planificar que la ruta no supere los 20 km para poder realizar la misma ruta dos veces. Demostrando la validez de la implementación de cualquier motocicleta eléctrica como alternativa de movilidad diaria dentro de la ciudad.

Pradeep y Ilango [15]simularon el análisis de rendimiento de un paquete de baterías de 48 V analizando las particularidades de carga y descarga del acumulador y aplicando la técnica de equilibrio de celdas. Para validar el rendimiento se ha utilizado la plataforma MatLab/Simulink. Los resultados demuestran que se mejoran con éxito el ciclo de vida de la batería del vehículo eléctrico cuando se mantiene el (SOC) en una región segura (20 a 85 %). El equilibrio pasivo de celdas permite que todas las celdas de la batería tengan el mismo estado de carga. Por lo tanto, se puede evitar el efecto de carga en una celda, lo que permite prevenir problemas de envejecimiento de la batería y se puede aumentar el ciclo de vida.

En conclusión, tras revisar estudios previos sobre motocicletas eléctricas, se identificó que la mayoría se enfocan en el desarrollo de modelos de simulación y en el análisis del consumo de energía. Sin embargo, son escasas las investigaciones que abordan la eficiencia real de estos vehículos.

Factores que Influyen en la Batería de la Motocicleta Eléctrica.

La eficiencia y autonomía de las motocicletas están determinadas principalmente por la capacidad de sus baterías, las cuales deben ser evaluadas bajo diferentes condiciones, comprender cómo diferentes factores afectan el funcionamiento de la batería y cómo estos pueden ser gestionados para optimizar y establecer el uso del vehículo eléctrico, como opción de transporte urbano.

Capacidad de la Batería: es uno de los factores más importantes que influye directamente en la autonomía de una moto eléctrica. Esta capacidad se mide en kilovatios-hora kWh y representa la cantidad total de energía que la batería puede almacenar y suministrar al sistema de propulsión. Cuanto mayor es la capacidad de la batería, mayor será la autonomía, siempre que otros factores sean constantes.

Perfil de Conducción: El estilo de conducción tiene un impacto significativo en el consumo de energía. La aceleración rápida, las frenadas bruscas y las altas velocidades aumentan el consumo energético. Un estilo de conducción más suave y controlado puede optimizar el rendimiento de la batería, lo que mejora la autonomía.

Perfil de la Ruta: El tipo de ruta, como ascensos, carreteras planas y descensos, influye en la eficiencia de la batería. Subidas y pendientes requieren más energía debido a la mayor demanda de potencia del motor, mientras que los descensos pueden ayudar a recuperar algo de energía si se utiliza el freno regenerativo. La simulación de rutas específicas y el ciclo de conducción pueden proporcionar estimaciones más precisas sobre el comportamiento de la batería en condiciones reales.

Condiciones Ambientales: La temperatura ambiente afecta directamente la eficiencia de las baterías de litio. Las temperaturas extremas, tanto frías como calientes, pueden reducir la capacidad de la batería y aumentar la tasa de descarga. En climas cálidos, las baterías pueden calentarse excesivamente, reduciendo su eficiencia, mientras que en climas fríos, la batería puede perder capacidad debido a la mayor resistencia interna. Afortunadamente Quito no presenta estas condiciones extremas.

Peso del Conductor y Carga Adicional: El peso total del conductor y cualquier carga adicional también influyen en el consumo de energía. Un mayor peso requiere más potencia para mover el vehículo, lo que incrementa el consumo de energía y reduce la autonomía. Esto es particularmente relevante en áreas urbanas con densas concentraciones de tráfico y diversas condiciones de tráfico.

Movilidad urbana eléctrica

La movilidad sostenible surge como respuesta a las preocupaciones ambientales y sociales derivadas del uso intensivo de vehículos particulares como principal medio de transporte.

El estudio de los factores que influyen en la autonomía de las motocicletas eléctricas tiene importantes implicaciones para la viabilidad de la movilidad eléctrica dentro de las ciudades. Con el aumento de la urbanización y la necesidad de soluciones de transporte sostenibles, las motocicletas eléctricas representan una alternativa viable para reducir la congestión y las emisiones de gases contaminantes.

El conocimiento sobre los factores que afectan la autonomía permitirá mejorar el diseño de las motocicletas eléctricas, optimizando la capacidad de las baterías, los sistemas de propulsión y las estrategias de gestión de energía. Además, proporcionará información valiosa para las políticas públicas, facilitando la integración de la micro movilidad eléctrica en las ciudades mediante la mejora de la infraestructura de carga y la promoción de comportamientos de conducción más sostenibles.

4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

El objetivo del estudio es el análisis de la eficiencia energética de la batería de iones de litio, con el fin de aprovechar una alternativa de movilización en distancias cortas (micro movilidad) en la zona norte de Quito, con una moto eléctrica marca Super Soco, modelo TSX. Las características se observan en la tabla 1, con detalle de las especificaciones técnicas [16].

Tabla 1. Especificaciones técnicas

Parámetros	Especificación	Unidad
Motor eléctrico	Motor HUB DC sin escobillas	-
Potencia nominal del motor	1.500	W
Torque máximo	150	Nm
Velocidad máxima	65	km/h
Peso en seco	73	kg
Suspensión delantera	Telescópica	-
Suspensión trasera	Mono amortiguador	-
Freno delantero	Disco	-
Freno trasero	Disco	-
Neumático delantero	90/80-17 Tubulares	-
Neumático posterior	110/70-17 Tubulares	-
Tablero de Información	Digital	-
Tipo de batería	iones de Litio	-
Capacidad de la batería	60-30	V-Ah
Tiempo de carga 110 V	6 - 8	horas
Ciclos de vida de la batería	+ 1000 ciclos de carga y descarga profunda	-
Largo	1895	mm
Ancho	703	mm
Altura	1066	mm

La moto eléctrica seleccionada para el estudio, como se muestra en la figura 1, es una de las pocas marcas comercializadas con placas [17], lo que le permite circular sin restricciones y contratar con un seguro de accidentes. Además, su diseño ligero y aerodinámico, junto con sus neumáticos de gran tamaño, le otorgan una óptima maniobrabilidad en los distintos tipos de rutas. Estas características la convierten

en una alternativa destacada para la micro movilidad en comparación con otros modelos.



Figura 1. Moto Super Soco TSX

Determinación de la ruta para las pruebas experimentales

Según datos de la Encuesta de Origen Destino a Hogares (EODH) de 2022 [18], los habitantes del Distrito Metropolitano de Quito recorren, en promedio, las siguientes distancias en sus desplazamientos diarios, dependiendo del modo de transporte utilizado, que se detallado en la tabla 2.

Tabla 2. Dinámicas de movilidad de los habitantes del DMQ

Modo de transporte	Tiempo (min)	Distancia (km)
Transporte público	77	22
Transporte público convencional	60	15
Auto	40	14
Moto	34	12
Bicicleta	27	5.4
A pie	20	0.7

Una vez determinada la distancia promedio de movilización en motocicletas, se incorporan otras variables clave para la configuración de la ruta, las cuales representan la topografía característica de la ciudad. Estas variables incluyen la altimetría y las pendientes, las vías de mayor circulación y el estado de la infraestructura vial.

Selección de Ruta

La ruta seleccionada está ubicada dentro del Distrito Metropolitano, constituida por un trayecto topográfico propio de Quito, figura 2, que parte de los 2616 msnm y

llega a los 2942 msnm, esta ruta en la mayor parte de su recorrido va sobre la Av. Eloy Alfaro es una de las más utilizadas para el ingreso a la zona central norte de la capital, siendo muy congestionada en horas pico.

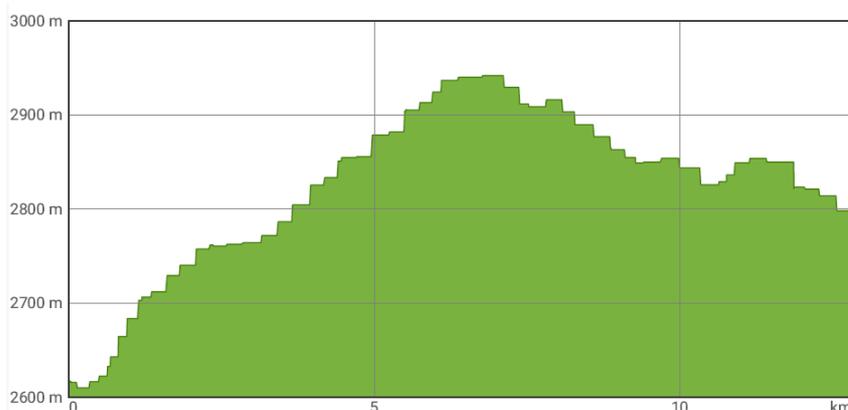


Figura 2. Topografía de la ruta seleccionada

La ruta describe un trayecto de ida y vuelta, como se muestra en la figura 3. El trayecto de ida denominado Ruta A, tiene una longitud de 12.8 km e inicia en Carcelén Bajo, con las coordenadas WGS84 (-0.07582 -78.46245), finalizando en la intersección de la Av. Granados y Av. 6 de diciembre con coordenadas WGS84 (-0.16897 -78.47495). por su parte, el trayecto de regreso denominado Ruta B tiene una longitud 13 Km y retorna al punto de partida de la Ruta A.



Figura 3. Mapa de rutas

Programa aplicado para el registro de datos en los trayectos

El programa utilizado para el estudio es Topo GPS, una aplicación diseñada para la navegación y el registro de datos en actividades al aire libre. Su principal función es proporcionar mapas topográficos detallados y herramientas de navegación de alta precisión.

Para el estudio, la aplicación Topo GPS se instaló en un teléfono móvil con sistema operativo Android y receptor GPS. La investigación se lleva a cabo en una ruta preestablecida, y la aplicación, con una precisión de ubicación de 5 metros [19], permite registrar el recorrido en tiempo real. Entre los datos recopilados se incluyen el tiempo, la velocidad, la altitud y la distancia recorrida, los cuales son fundamentales para el análisis de la capacidad energética de la batería

En la figura 4 se muestra la pendiente de la ruta A obtenida con la aplicación Topo GPS que representa el cambio en la elevación dividida por la distancia horizontal y multiplicada por 100 para obtener el valor en porcentaje, la frecuencia de cálculo es cada 200 m de distancia entre si con el fin de suavizar las fluctuaciones.

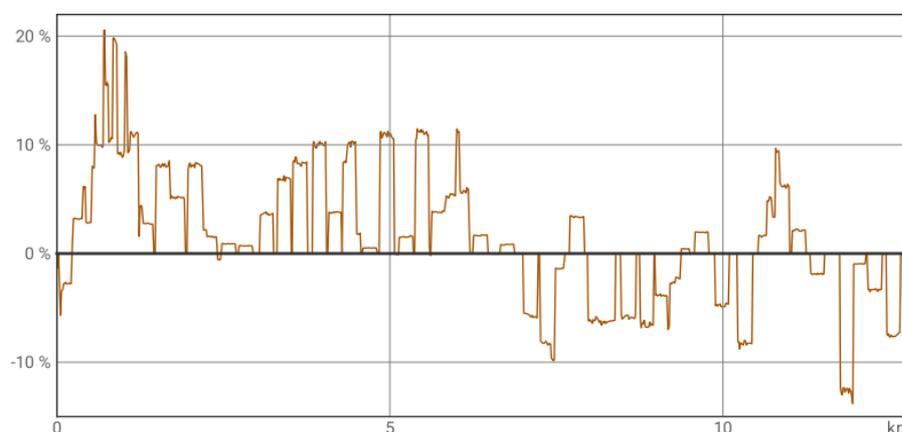


Figura 4. Desnivel vs distancia de la ruta

La inclinación del perfil de la ruta constituye un factor determinante en el consumo energético de vehículos eléctricos ligeros, como las motocicletas. En tramos de pendiente ascendente, el motor eléctrico requiere un mayor aporte de potencia para vencer la fuerza de gravedad, lo que incrementa significativamente el consumo de energía y reduce la autonomía del vehículo. Por el contrario, durante las pendientes descendentes, y en presencia de sistemas de frenado regenerativo, es

posible recuperar entre el 10 % y el 30 % de la energía consumida en condiciones óptimas de operación, contribuyendo así a extender la autonomía. Esta relación directa entre el perfil topográfico de la ruta y el desempeño energético resalta la importancia de considerar las características de la ruta en los estudios de eficiencia y planeación de la micro movilidad urbana.

Herramienta para registro de datos de batería en conducción

Para el registro de información durante la conducción, se utilizó un osciloscopio USB Autoscope IV, figura 5. Este dispositivo compacto y portátil está diseñado para diagnosticar y analizar señales electrónicas. Se conecta a una computadora, lo que permite la visualización y el análisis de señales gráficas en tiempo real.

El USB Autoscope IV es capaz de medir una amplia gama de señales con alta precisión y cuenta con funciones de captura, almacenamiento y revisión de datos históricos. Su diseño liviano y compacto facilita su transporte, lo que lo hace ideal para trabajos de campo y aplicaciones que requieren movilidad.



Figura 5. Osciloscopio USB Autoscope IV

Para realizar la instrumentación primero se realizó pruebas estáticas para saber los rangos mínimos y máximos que se pueden llegar a presentar en la conducción estos se detalla a continuación en la tabla 3.

Tabla 3. Valores mínimos y máximos

Descripción	Mínimo	Máximo
Estado de carga de batería (SOC)	20%	100%
Voltaje de batería	59.8 V	70.4 V
Posición del acelerador en %	0%	100%
Posición de acelerador en voltaje	0.839 V	3.50 V
Consumo de corriente	0.348 A	42 A

La Figura 6 muestra el esquema de conexión del osciloscopio a cada uno de sus componentes. Mediante esta herramienta, se obtienen tres señales fundamentales el voltaje y la corriente de la batería de iones de litio, así como la señal de posición del acelerador, captada a través de un sensor de efecto Hall lineal 49E.

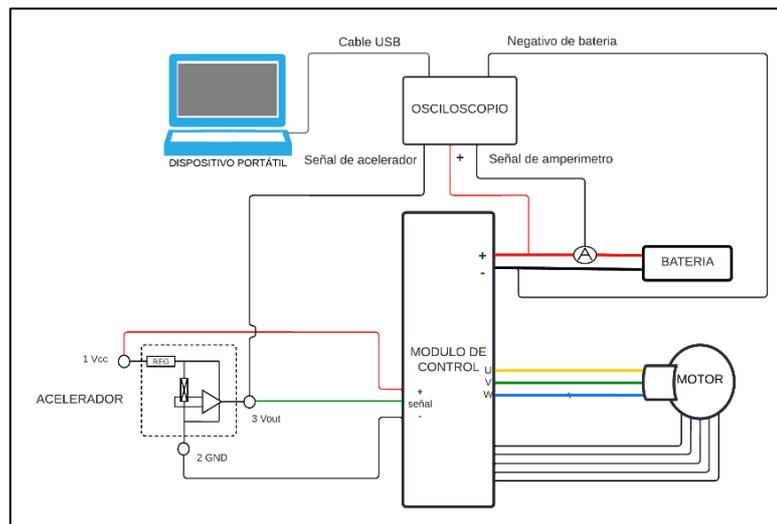


Figura 6. Conexión del osciloscopio con los componentes

Para obtener el voltaje de la batería se coloca los canales del osciloscopio en los cables de alta tensión a la salida de la batería donde se conecta con el controlador esto por su facilidad de fijación.

Se registró el comportamiento del voltaje de la batería de ion de litio durante la conducción en toda la ruta establecida. Para analizar con mayor detalle la variación del voltaje en función de la aceleración y desaceleración, se seleccionó una señal representativa que permitió identificar estos instantes. A partir de este análisis, se confirmó que la moto eléctrica no cuenta con freno regenerativo.

Para determinar la posición del acelerador, se tomó la señal del sensor correspondiente, registrando su comportamiento en todas las condiciones del recorrido. Esta información es fundamental para correlacionar la demanda de potencia con el consumo energético a lo largo del circuito.

Además, se midió la corriente consumida en todo el trayecto utilizando una pinza amperimétrica colocada en el cable positivo de la batería, permitiendo evaluar el desempeño energético del sistema bajo diferentes condiciones de conducción.

5. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

La selección de los tramos de prueba se fundamentó en un análisis cuantitativo del perfil de elevación, cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia de la batería de iones de litio al recorrer con la moto eléctrica estos trayectos con pendientes críticas. Se establecieron tres escenarios representativos, un tramo ascendente donde se pueda obtener la mayor demanda energética para superar la resistencia gravitacional. Un tramo descendente idéntico en distancia y pendiente, pero en sentido contrario para cuantificar la regeneración o energía consumida bajo condiciones reales de conducción. Un tramo plano que, a pesar de tener una ligera inclinación, constituye el segmento más cercano a condiciones ideales de operación dentro de la ruta estudiada.

Los datos de elevación obtenidos de la aplicación Topo GPS fueron convertidos a un formato .csv y procesados en una hoja de cálculo, donde se calculó la pendiente de cada tramo utilizando la diferencia de elevación entre puntos sucesivos y la distancia recorrida. A continuación, se generó un gráfico de líneas que muestra la variación de la elevación a lo largo de la distancia, permitiendo identificar visualmente los tramos más empinados y los más planos. Este enfoque proporcionó una representación clara de la topografía de la ruta, facilitando la selección de los tramos más representativos para el análisis de la eficiencia energética de la batería de ion de litio, y asegurando una correlación entre las condiciones de la ruta y el rendimiento del vehículo eléctrico.

Análisis del tramo N.º 1 Ascenso

La integración de estos datos altimétricos, con mediciones en tiempo real (voltaje, corriente, posición del acelerador) mediante osciloscopio proporcionó una base robusta para correlacionar los gradientes topográficos con los parámetros de desempeño de la batería como se muestra en la figura 7, para el tramo de ascenso.

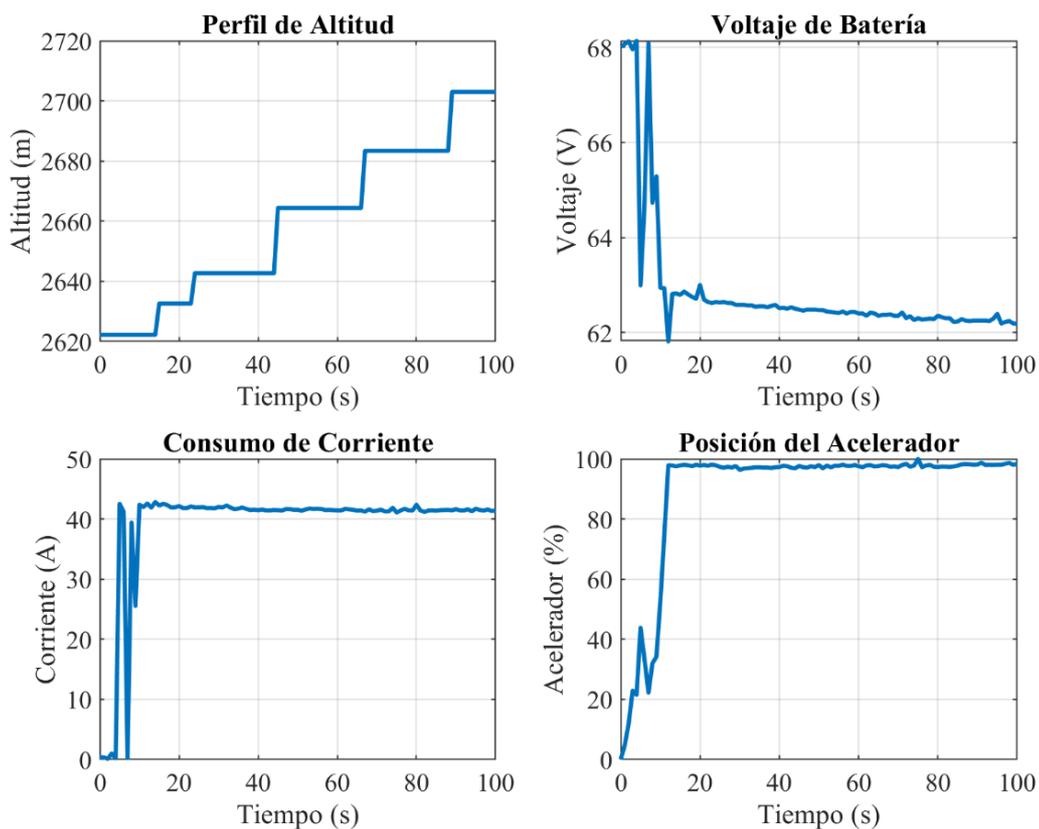


Figura 7. Visualización gráfica del consumo de energía en el tramo de ascenso

Esta sección está compuesta por una distancia de 701 m y un desnivel de 79 m, donde se recorrió con una velocidad promedio de 24 km/h como se detalla en la tabla 4. La ruta puede verse a través de la aplicación Topo GPS en la figura 8.

Tabla 4. Datos registrados en la aplicación Topo GPS tramo N.º 1 ascenso

Parámetros	Especificación	Unidad
Inicio de subida	0:03:24	(h:m:s)
Fin de la subida	0:05:05	(h:m:s)
Duración	0:01:41	(h:m:s)
Distancia	701	(m)
Ascenso total	79	(m)
Pendiente promedio	12	(%)
Velocidad promedio	24	(km/h)



Figura 8. Gráfica tramo N.º 1 ascenso.

El gráfico de velocidad versus tiempo figura 9, presenta un análisis detallado del desempeño dinámico de la moto eléctrica bajo condiciones de inclinación. A pesar de que el acelerador se mantiene en su posición de máxima aceleración, se observa una disminución gradual de la velocidad a medida que la moto enfrenta el esfuerzo adicional necesario para superar el perfil de inclinación. Este comportamiento es característico de los vehículos eléctricos que operan en trayectos con pendientes pronunciadas, donde la resistencia gravitacional afecta directamente su rendimiento. Tal fenómeno refleja la interacción entre la potencia del motor eléctrico y las demandas adicionales impuestas por la pendiente de la ruta.

Es importante destacar que, a pesar de las fluctuaciones en la velocidad, la moto eléctrica mantiene una capacidad consistente para sostener una velocidad promedio de 24 km/h en condiciones de inclinación pronunciada. Este dato es crucial para evaluar la aptitud del vehículo en términos de homologación para su uso en Quito, donde se exige una velocidad mínima de 18 km/h en pendientes del 12%. Los resultados obtenidos confirman que el vehículo no solo cumple con este requisito fundamental, sino que también demuestra su idoneidad para operar de manera eficiente dentro del entorno urbano de la ciudad, cumpliendo con las normativas locales de movilidad.

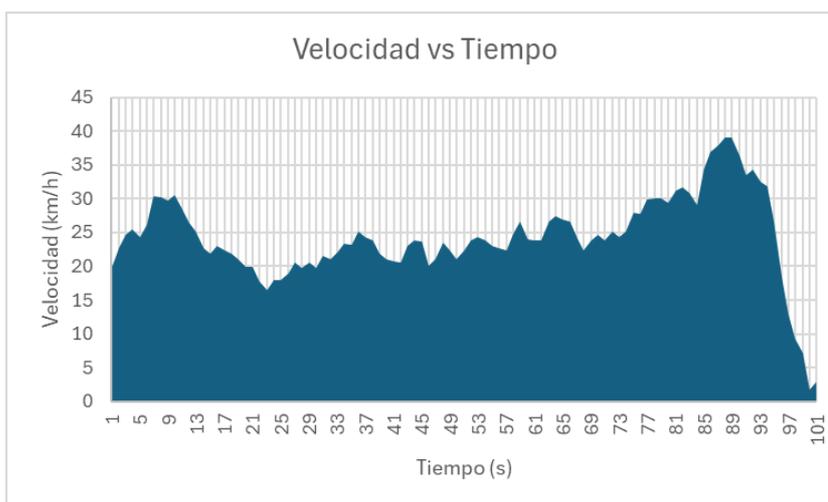


Figura 9. Gráfica Velocidad vs tiempo en el tramo N.º 1 ascenso.

La pendiente y la masa total del sistema (motocicleta de 84 kg y conductor de 74.60 kg) contribuyen significativamente a la carga total que debe ser superada por el motor eléctrico, lo que aumenta la resistencia y, por ende, impacta directamente en la demanda energética del vehículo. Las variaciones en la velocidad observadas a lo largo del tiempo corresponden a las fluctuaciones en la pendiente de la ruta, dado que la aceleración se mantiene constante durante el ascenso, como se aprecia en la Figura 7. Esta representación gráfica, obtenida a través del osciloscopio, ilustra las señales captadas durante el tramo de ascenso, permitiendo una mejor comprensión de cómo la moto responde ante las fluctuaciones de la ruta y su comportamiento en tiempo real.

En la tabla 5 se detalla los datos registrados en el osciloscopio donde la batería experimenta una descarga de 68.02 V hasta 66.89 V durante el recorrido analizado en esta sección, este comportamiento indica un consumo energético de 68.52 Wh lo que equivale a una eficiencia de 97.74 Wh/km.

Tabla 5. Datos registrados en el osciloscopio tramo N.º 1 ascenso

Parámetros	Especificación	Unidad
Inicio del registro	0:03:45	(h:m:s)
Fin del registro	0:05:26	(h:m:s)
Duración	0:01:41	(h:m:s)
Voltaje inicial de la batería	68.02	(V)
Voltaje final de la batería	66.89	(V)
Diferencia	-1.13	(Δ V)
Energía Consumida	68.52	(Wh)

Análisis del tramo N.º 2 plano

Esta sección está compuesta por una distancia de 630 metros y un desnivel de 5.2 metros donde se recorrió con una velocidad promedio de 40 km/h como se detalla en la tabla 6. El trayecto de la ruta se puede ver a través de la aplicación Topo GPS figura 10.

Tabla 6. Datos registrados en la aplicación Topo GPS tramo N.º 2 plano

Parámetros	Especificación	Unidad
Inicio de la sección	0:06:53	(h:m:s)
Fin de la sección	0:07:48	(h:m:s)
Duración	0:00:55	(h:m:s)
Distancia	630	(m)
Ascenso total	5.2	(m)
Pendiente promedio	3.3	(%)
Velocidad promedio	40	(km/h)



Figura 10. Gráfica de la ruta en el tramo N.º 2 plano.

El desempeño dinámico de la moto eléctrica en el tramo plano con una pendiente promedio de 3.3 % y un recorrido de 630 m. Con condiciones más favorables el vehículo alcanzó un pico de velocidad de 57 km/h, pero debido a un semáforo se reduce la velocidad, obteniendo un promedio de velocidad de 40 km/h. Razón de la forma que se puede apreciar en el gráfico de velocidad vs tiempo en la figura 11.



Figura 11. Gráfica Velocidad vs tiempo en el tramo N.º 2 plano.

Al realizar las pruebas en vías de la ciudad es razonable observar variaciones en la velocidad debido a ajustes del conductor, como aceleraciones y desaceleraciones para adaptarse a las condiciones del trayecto y precautelar la seguridad. En la figura 12 es posible observar las posiciones que tuvo el acelerador en todo el trayecto. Por lo que el consumo energético no es constante.

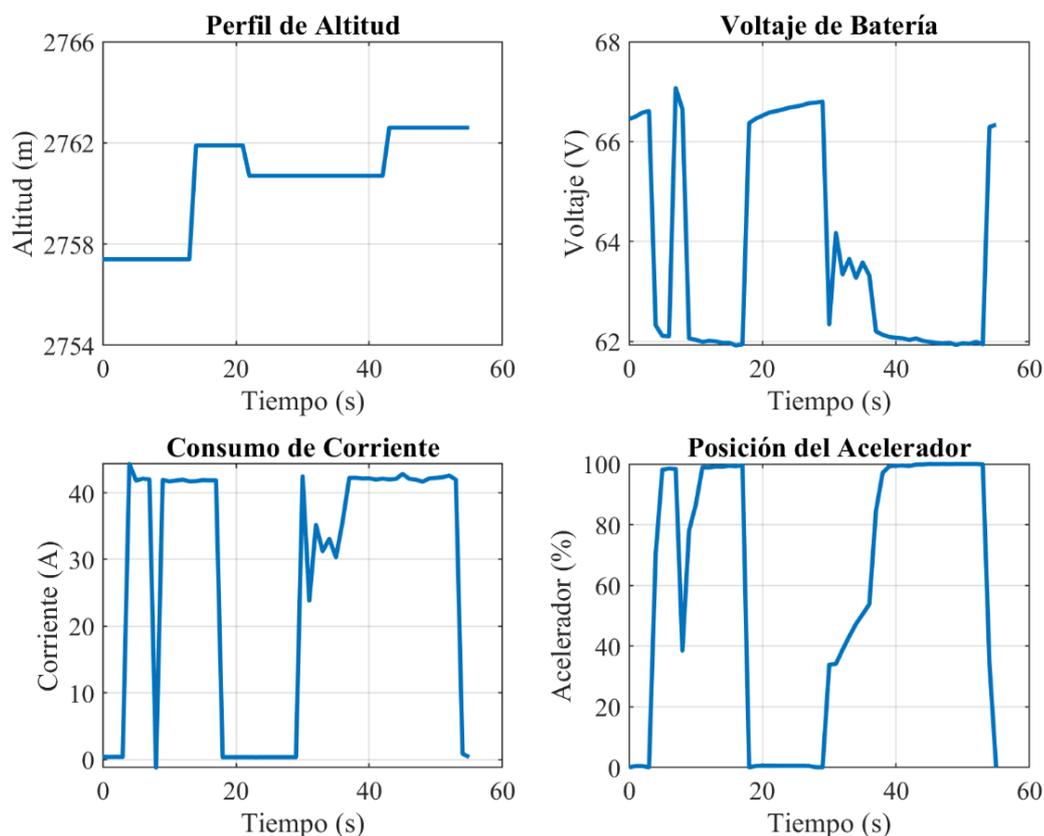


Figura 12. Visualización gráfica del consumo de energía en el tramo plano

En la tabla 7 se detalla los datos registrados en el osciloscopio donde la batería experimenta una descarga de 66.45 V hasta 66.37 V durante el trayecto. Para calcular el consumo energético se toman los datos de voltaje y amperaje con intervalos de un segundo para todo el recorrido obteniendo así un consumo energético de la batería de 26.01 Wh. Este consumo energético se traduce en una eficiencia aproximada de 41.29 Wh/km.

Tabla 7. Datos registrados en el osciloscopio tramo N.º 2 plano

Parámetros	Especificación	Unidad
Inicio del registro	0:07:14	(h:m:s)
Fin del registro	0:08:09	(h:m:s)
Duración	0:00:55	(h:m:s)

Voltaje inicial de la batería	66.45	(V)
Voltaje final de la batería	66.37	(V)
Diferencia	-72.34	(Δ mV)
Energía Consumida	26.01	(Wh)

Análisis del tramo N.º 3 descenso

Esta sección abarca un tramo de 701 metros con un desnivel de 79 metros, recorrido a una velocidad promedio de 44 km/h, como se resume en la tabla 8. La ruta, que incluye un análisis detallado, puede visualizarse en la figura 13 mediante la aplicación Topo GPS. Este tramo representa un caso de estudio relevante para evaluar el impacto del desnivel en el desempeño del vehículo.

Tabla 8. Datos registrados en la aplicación Topo GPS tramo N.º 3 descenso

Parámetros	Especificación	Unidad
Inicio de la sección	0:21:55	(h:m:s)
Fin de la sección	0:22:51	(h:m:s)
Duración	0:00:56	(h:m:s)
Distancia	701	(m)
Descenso total	79	(m)
Pendiente descendente promedio	12	(%)
Velocidad promedio	44	(km/h)



Figura 13. Gráfica tramo N.º 3 descenso.

La figura 14 velocidad vs tiempo representa el comportamiento dinámico de una motocicleta eléctrica en un tramo descendente de 701 metros con una pendiente

promedio del 12%. Durante el recorrido, se alcanzó una velocidad promedio de 44 km/h, destacando que el acelerador permaneció liberado en la mayor parte del trayecto debido a la inclinación descendente. Este comportamiento permitió un ligero aumento en el voltaje de la batería, pasando de 59.69 V a 59.89 V, El peso del conductor, de 74.6 kg, junto con la pendiente, influyó en la velocidad alcanzada. Este análisis resalta la eficiencia del sistema eléctrico en tramos descendentes y su contribución a la conservación energética.

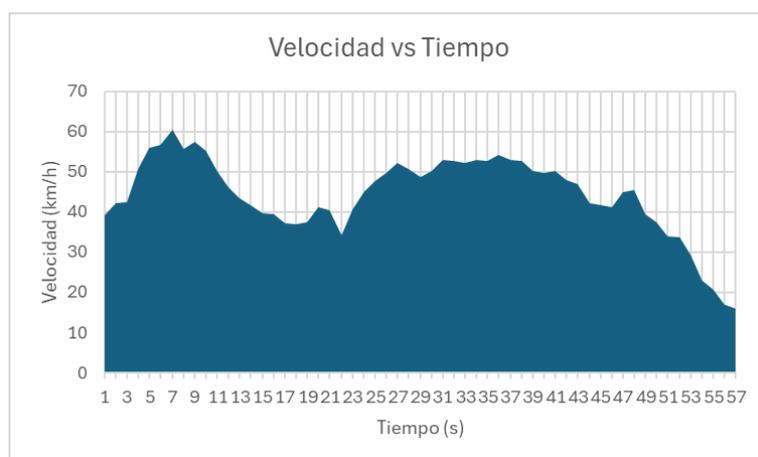


Figura 14. Gráfica Velocidad vs tiempo en el tramo N.º 3 descenso.

En la Figura 15 se observa que, aunque la motocicleta se desplaza con el acelerador completamente liberado, no se registra un proceso efectivo de regeneración de voltaje. Se detecta un ligero incremento en el voltaje de la batería, fenómeno atribuible a la liberación total del acelerador.

En esta fase, al no existir demanda de corriente por parte del motor, las celdas de ion de litio experimentan un proceso de relajación, asociado a la recuperación química interna que ocurre naturalmente en ausencia de carga. Este fenómeno favorece un leve aumento del voltaje en reposo, efecto ampliamente documentado en la literatura sobre baterías de ion de litio bajo condiciones de descarga interrumpida. Estos resultados confirman la ausencia de un sistema de frenado regenerativo en la motocicleta evaluada.

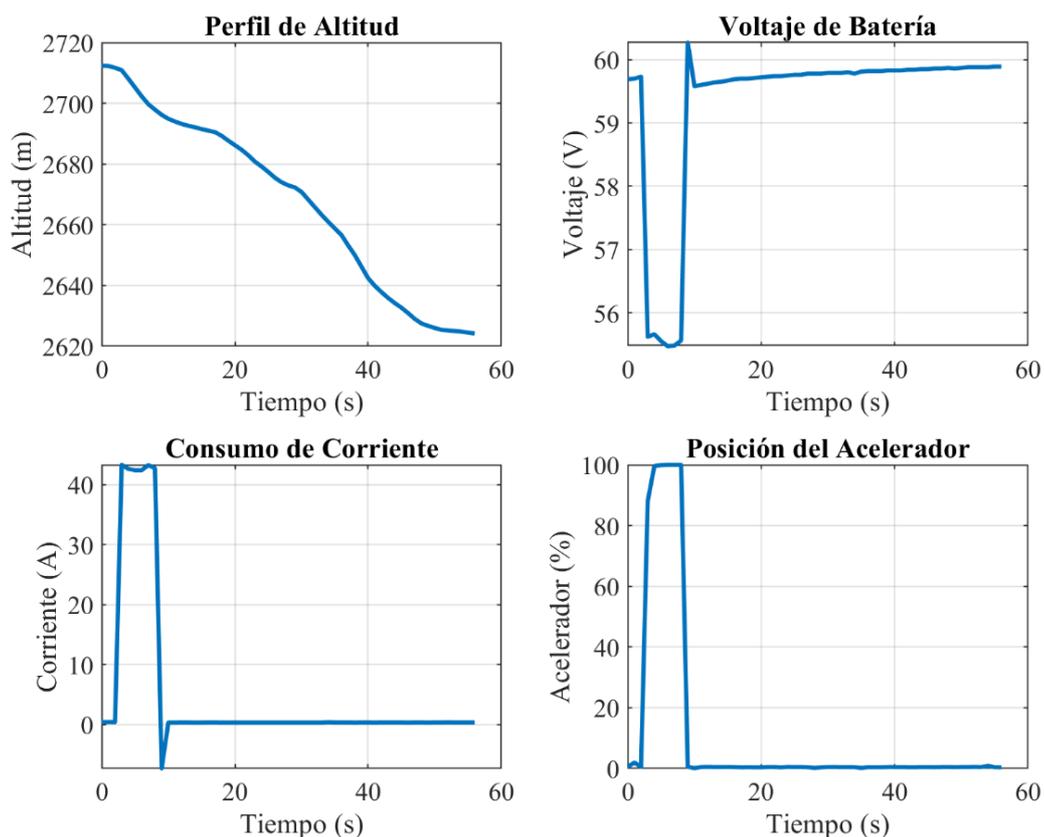


Figura 15. Visualización gráfica del consumo de energía en el tramo de descenso

La Tabla 9 presenta los datos registrados mediante osciloscopio durante el tramo de descenso. El análisis de datos muestra que al final del recorrido de esta sección, la batería presenta un incremento de apenas 198,9 mV, lo cual es atribuible al fenómeno de estabilización natural del voltaje en reposo, y no a una recuperación activa de energía.

Tabla 9. Datos registrados en el osciloscopio tramo N.º 3 descenso

Parámetros	Especificación	Unidad
Inicio del registro	0:22:30	(h:m:s)
Fin del registro	0:23:26	(h:m:s)
Duración	0:00:56	(h:m:s)
Voltaje inicial de la batería	59.69	(V)
Voltaje final de la batería	59.89	(V)
Diferencia	+ 198.9	(Δ mV)

6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico realizado en este estudio se centra en la evaluación del desempeño energético de la batería de iones de litio en una motocicleta eléctrica bajo tres condiciones específicas de pendiente (ascenso, plano y descenso). Este análisis proporciona una base para comprender cómo el perfil de inclinación de la ruta influye directamente en el rendimiento energético de vehículos eléctricos que son una alternativa para la micro movilidad, y ofrece criterios de optimización de la autonomía en escenarios urbanos de alta variabilidad topográfica.

En este estudio se analizará la eficiencia de una batería de 60V 30Ah (capacidad útil 1440Wh). Para esto se utilizarán los datos de voltaje y corriente registrados en el osciloscopio en cada una de las pruebas realizadas. Gracias a la herramienta se puede registrar cada valor en intervalos de un segundo.

Con esto se calcula la potencia instantánea donde (P) es el producto de voltaje (V) y la corriente (I), ecuación (1).

$$P(t) = V(t) \times I(t) \quad 1)$$

La energía consumida (E) en cada tramo de estudio se obtiene integrando la potencia a lo largo del tiempo, en base a la ecuación (2).

$$E = \int_{t_{inicio}}^{t_{final}} P(t) dt \quad 2)$$

En la tabla 10 se detalla la energía consumida en cada uno de los tramos de estudio, información que se ha procesado con la herramienta de Excel y Matlab.

Tabla 10. Consumo energético en tres tramos específicos

Tramo	Pendiente (%)	Energía consumida (Wh)
Tramo N.º 1 ascenso	12	68.52
Tramo N.º 2 plano	0	26.01
Tramo N.º 3 descenso	12	4.13

Conociendo la energía consumida en cada tramo es posible calcular la eficiencia energética con la ecuación (3)

$$\text{Eficiencia} \left(\frac{\text{Wh}}{\text{km}} \right) = \frac{\text{Energía consumida (Wh)}}{\text{Distancia recorrida (km)}} \quad 3)$$

La figura 16 presenta la comparación de la eficiencia energética en los tres tramos analizados. Se observa que el tramo ascendente, con una pendiente promedio de 12%, registra el mayor consumo energético 97.74 Wh/km, reflejando el esfuerzo realizado por el motor para superar la inclinación. En el tramo plano la eficiencia mejora significativamente a 41.29 Wh/km, mostrando un consumo más estable bajo las diferentes condiciones de aceleración. Finalmente, en el tramo descendente se tiene un valor mínimo que resulta de la energía necesaria para vencer la inercia, superado esto no hay consumo energético debido a la inactividad del motor. Datos que resaltan la influencia del perfil de la ruta en la demanda energética de la motocicleta eléctrica, información clave para optimizar la autonomía en escenarios de micro movilidad.

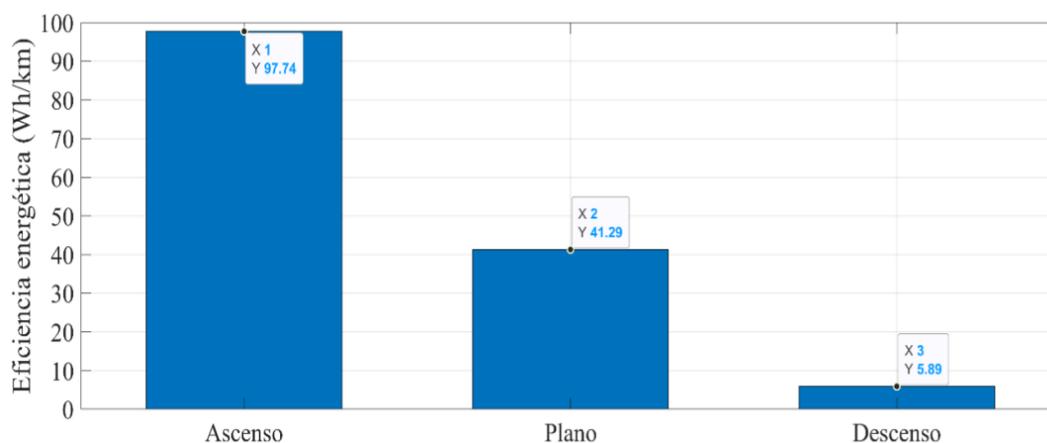


Figura 16. Comparación de eficiencia energética entre tramos.

En la figura 17 muestra la relación entre la autonomía estimada de la moto eléctrica y su consumo energético específico (Wh/km). La curva obtenida evidencia una relación inversa clara, a medida que el consumo energético por kilómetro aumenta, la autonomía disminuye proporcionalmente.

Se observa que, en un trayecto con una pendiente del 12 %, el consumo energético alcanza los 97,74 Wh/km, lo que resulta en una autonomía limitada de 14,73 km. Por otro lado, en un terreno plano, el consumo se reduce a 41,29 Wh/km, extendiendo la autonomía hasta 34.88 km. En condiciones de descenso, el consumo energético disminuye considerablemente debido a la menor exigencia de potencia del motor, lo que incrementa la autonomía disponible con la misma capacidad de batería. Con un consumo promedio generalizado de 48,30 Wh/km, la autonomía estimada alcanza aproximadamente 29,81 km, valor que concuerda con las mediciones obtenidas durante las pruebas experimentales.

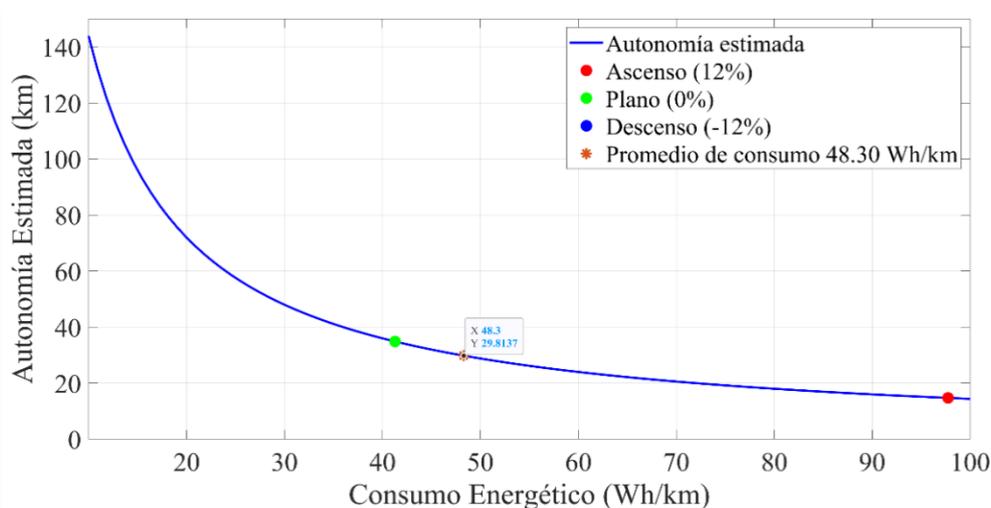


Figura 17. Autonomía estimada en función de consumo energético.

Estos resultados confirman que, con una capacidad útil de la batería de 1440 Wh, la autonomía de la motocicleta depende en gran medida del consumo específico, a menor consumo energético, mayor será la distancia que puede recorrerse con una sola carga.

Adicionalmente, la relación entre consumo y autonomía no solo depende del perfil del terreno, sino también de otros factores relevantes:

Influencia del peso del piloto en el desempeño energético

El peso total soportado por la motocicleta eléctrica, incluyendo el peso propio del vehículo más el peso del piloto y de cualquier carga adicional, constituye un factor determinante en el consumo energético, especialmente en trayectos con

variaciones de pendiente. En este estudio, se consideró un peso constante de 74,60 kg para el piloto, permitiendo mantener la consistencia experimental en todas las pruebas realizadas.

Desde un enfoque físico, el esfuerzo que debe realizar el motor eléctrico para desplazar el conjunto moto-piloto está directamente relacionado con la fuerza gravitacional ecuación (4), que actúa sobre la masa total en función de la inclinación de la pendiente. Este efecto puede ser cuantificado a través de la componente paralela del peso en la pendiente, expresada como:

$$F_{pendiente} = m \times g \times \sin(\theta) \quad 4)$$

Donde (m) es la masa total, (g) es la aceleración de la gravedad (9,81 m/s²) y (θ) es el ángulo de inclinación del trayecto. A mayor masa o a mayor ángulo de inclinación, se incrementa significativamente la fuerza que el motor debe vencer, resultando en un aumento del consumo energético.

En pendientes ascendentes, este efecto es particularmente crítico, ya que el motor necesita proporcionar una mayor potencia para contrarrestar tanto la fuerza de fricción como la fuerza gravitacional. Esto explica el incremento observado en el consumo específico de energía (97,74 Wh/km) y la consecuente disminución de la autonomía a 14,73 km en tramos con pendiente promedio del 12%.

La figura 18 evidencia que tanto la pendiente como el peso del piloto ejercen una influencia directa sobre el consumo energético de la motocicleta eléctrica. En condiciones de trayecto plano, el impacto del peso es moderado; sin embargo, a medida que aumenta la inclinación, el incremento en el consumo energético se vuelve más pronunciado. En una pendiente del 12%, el consumo para un piloto de 75 kg alcanza los 97,74 Wh/km, mientras que para un piloto de 90 kg puede superar los 105 Wh/km.

Por el contrario, en trayectos de descenso, la influencia del peso resulta menos significativa debido a que la gravedad asiste el movimiento, reduciendo el esfuerzo requerido del motor y, por ende, el consumo energético.

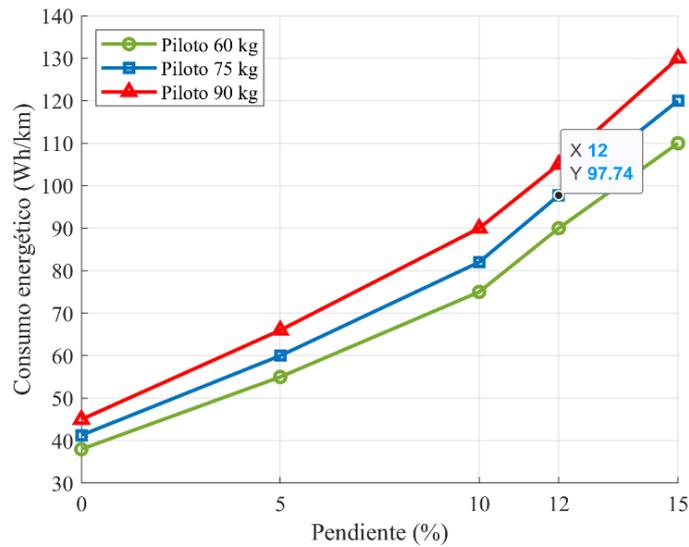


Figura 18. Influencia del peso del piloto y la pendiente en el consumo energético.

Estos resultados refuerzan la importancia de considerar el peso del piloto como una variable crítica en la planificación de recorridos urbanos con vehículos eléctricos, así como en el diseño de estrategias de gestión energética que permitan optimizar la autonomía en función de las condiciones operacionales reales.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El análisis de la eficiencia energética de la batería de ion-litio de 60V y 30Ah en una motocicleta eléctrica destinada a la micro movilidad urbana permitió obtener información clave sobre su desempeño bajo distintas condiciones de operación.

Al evaluar la relación entre la capacidad energética de la batería y la distancia recorrida, se constató que, si bien la computadora a bordo indicaba una autonomía estimada de 60 km al 100 % de carga, en condiciones reales de uso, considerando ascensos, descensos y siguiendo la recomendación de no descargar la batería por debajo del 20 %, la autonomía máxima alcanzada fue de 30,64 km. Este resultado evidencia que factores como la topografía de la ruta, el peso del conductor y el estilo de conducción afectan de manera significativa la autonomía efectiva de la motocicleta.

Mediante pruebas experimentales y técnicas de instrumentación, se recolectaron datos que permitieron determinar la eficiencia energética de la batería en diversos trayectos. En condiciones de ruta de perfil plano, la motocicleta presentó un consumo medio de 41,29 Wh/km, lo que se traduce en una autonomía teórica de 34,88 km. En contraste, en pendientes ascendentes con un promedio del 12 %, el consumo aumentó a 97,74 Wh/km, reduciendo la autonomía a 14,73 km debido al incremento en la demanda de potencia del motor. En descensos, no se registró pérdida energética significativa. Obteniendo un consumo promedio de 48,30 Wh/km, lo que permitió una autonomía estimada de 29,8 km. Estos resultados reflejan diferencias notables respecto a la autonomía estimada por el fabricante y confirman la alta dependencia del consumo energético a las condiciones de la ruta.

Los hallazgos de esta investigación demuestran que la eficiencia energética de la batería responden en gran medida al perfil topográfico del recorrido. En rutas con perfil plano, el rendimiento es adecuado para la micro movilidad urbana; sin embargo, en trayectos con inclinaciones pronunciadas, el consumo de energía aumenta considerablemente, reduciendo la distancia que puede ser recorrida sin recarga. En este contexto, se vuelve fundamental planificar los recorridos considerando las características del trayecto.

Asimismo, los resultados subrayan la necesidad de ajustar las expectativas de autonomía indicadas por los fabricantes, considerando las condiciones reales de operación, y evidencian la oportunidad de implementar tecnologías de frenado regenerativo más eficientes, especialmente para maximizar el aprovechamiento energético en tramos de descenso.

Finalmente, este estudio aporta a la comprensión de los principales factores que inciden en la autonomía de las motocicletas eléctricas y ofrece evidencia que puede ser utilizada para optimizar su uso en entornos urbanos. La integración exitosa de la micro movilidad eléctrica dependerá de la mejora continua de la capacidad de las baterías, de la optimización de estrategias de conducción y de la adecuación de la infraestructura urbana. Los análisis experimentales y las simulaciones detalladas serán esenciales para diseñar soluciones técnicas y políticas públicas que impulsen un sistema de transporte más eficiente y sostenible.

Recomendaciones

Para la aplicación en la micro movilidad se recomienda optimización del consumo energético implementando estrategias de conducción eficiente, como aceleraciones progresivas y el mantenimiento de velocidades constantes, para reducir el consumo específico y mejorar la autonomía, en caso de requerir una recarga hay que tomar en cuenta el tiempo de carga que es aproximadamente 6 horas.

La implementación de frenos regenerativos permitiría recuperar energía en descensos, reduciendo la pérdida energética y extendiendo la autonomía efectiva.

La implementación de un software en la computadora a bordo que vaya actualizando la autonomía en función de la demanda energética actual, para reflejar con mayor exactitud la energía disponible permitiría al usuario transitar con mayor seguridad y confianza hasta llegar a su destino.

REFERENCIAS

- [1] L. T. Hieu, N. X. Khoa, and O. Lim, "An investigation on the effects of input parameters on the dynamic and electric consumption of electric motorcycles," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 13, 2021, doi: 10.3390/su13137285.
- [2] N. Li *et al.*, "Review of lithium-ion battery state of charge estimation," *Global Energy Interconnection*, vol. 4, no. 6, pp. 619–630, 2021, doi: 10.1016/j.gloi.2022.01.003.
- [3] F. Arismendi, A. Gigena, A. Mosto, J. P. Carriquiry, and M. Vignolo, "Baterías en Vehículos Eléctricos Conectados a la Red," *2021 IEEE Urucon, Urucon 2021*, pp. 411–416, 2021, doi: 10.1109/URUCON53396.2021.9647291.
- [4] S. Micari *et al.*, "Reliability assessment and lifetime prediction of Li-ion batteries for electric vehicles," *Electrical Engineering*, vol. 104, no. 1, pp. 165–177, 2022, doi: 10.1007/s00202-021-01288-4.
- [5] V. M. Dileepan and J. Jayakumar, "Performance analysis of lithium batteries," *Proceedings of IEEE International Conference on Innovations in Electrical, Electronics, Instrumentation and Media Technology, ICIEEIMT 2017*, vol. 2017-Janua, no. 978, pp. 330–333, 2017, doi: 10.1109/ICIEEIMT.2017.8116860.
- [6] L. M. Constantinescu, B. A. Enache, V. G. Dogaru, T. I. Voicila, I. Vilciu, and S. C. Vasile, "Statistical Analysis of Capacity Loss for Stored Batteries," *15th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence, ECAI 2023 - Proceedings*, pp. 1–4, 2023, doi: 10.1109/ECAI58194.2023.10193945.
- [7] P. Baptista, G. Duarte, G. Gonçalves, and T. Farias, "Evaluation of low power electric vehicles in demanding urban conditions: An application to Lisbon," *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition, EVS 2014*, pp. 1–10, 2014, doi: 10.1109/EVS.2013.6914794.
- [8] S. Diaz, D. Rojas, and E. P. Fernandez, "Analysis of Efficiency of an Electric Micromobility System Based in Scooter Electric," *2022 IEEE ANDESCON: Technology and Innovation for Andean Industry, ANDESCON 2022*, pp. 1–6, 2022, doi: 10.1109/ANDESCON56260.2022.9989908.
- [9] S. Ruensumruay, W. Pattaraprakorn, V. Chutiprapat, and P. Bhasaputra, "The study on the effect of electric motorcycle to energy consumption in Thailand," *2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2016*, pp. 1–4, 2016, doi: 10.1109/ECTICon.2016.7561407.
- [10] M. Anthony, C. Y. Chang, and F. Fahmi, "Synthetic Sound to Improve Safety Aspect of Electric Motorcycles," *2021 5th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering, ELTICOM 2021 - Proceedings*, vol. 5, pp. 157–163, 2021, doi: 10.1109/ELTICOM53303.2021.9590166.
- [11] G. Oeschger, P. Carroll, and B. Caulfield, "Micromobility and public transport integration: The current state of knowledge," *Transp Res D Transp Environ*, vol. 89, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.trd.2020.102628.

- [12] M. Ignaccolo, G. Inturri, E. Cocuzza, N. Giuffrida, M. Le Pira, and V. Torrì, "Developing micromobility in urban areas: network planning criteria for e-scooters and electric micromobility devices," in *Transportation Research Procedia*, Elsevier B.V., 2022, pp. 448–455. doi: 10.1016/j.trpro.2021.12.058.
- [13] S. Kremzow-Tennie, M. Hellwig, and F. Pautzke, "A study on the influencing factors regarding energy consumption of electric vehicles," *2020 21st International Conference on Research and Education in Mechatronics, REM 2020*, no. 2, 2020, doi: 10.1109/REM49740.2020.9313934.
- [14] C. C. Puentestar Jaramillo, D. F. Rojas Hiedra, E. E. Fernandez Palomeque, and G. A. Alvarez Coello, "Implementation Of Electric Motorcycles Analysis in Sector Private and Commercial: Case of Study Loja," *ECTM 2023 - 2023 IEEE 7th Ecuador Technical Chapters Meeting*, 2023, doi: 10.1109/ETCM58927.2023.10309077.
- [15] P. Soni and I. Karuppasamy, "Performance Analysis of a 48V Battery Pack Using SoC Estimation and Cell Balancing for Electric Vehicle," *2023 IEEE 8th International Conference for Convergence in Technology, I2CT 2023*, pp. 1–6, 2023, doi: 10.1109/I2CT57861.2023.10126257.
- [16] "Super Soco TSX Especificaciones y Precio – Super Soco." Accessed: Mar. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.supersoco.cl/super-soco-tsx-especificaciones-y-precio/>
- [17] "La demanda de escúteres y motos eléctricas aumenta en Quito - El Comercio." Accessed: Mar. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/demanda-escuterres-motos-electricas-quito-movilidad-motocicletas-negocios.html>
- [18] M. López *et al.*, "Plan Maestro de Movilidad Sostenible del Distrito Metropolitano de Quito - PMMS DMQ." Accessed: Mar. 29, 2025. [Online]. Available: https://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wp-content/uploads/2023/05/PMMS-Quito_2022_2042.pdf