

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
AUTOMOTRIZ

Propuesta de implementación de micromovilidad eléctrica en la operación de entrega de mercadería en la empresa Protintex.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Autor(es)

España Arpi Jorge Andrés
González Nivicela Andrés Fernando

Director

Ing. Mateo Coello Salcedo MSc.

CUENCA – ECUADOR

2025

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a todas las personas que han contribuido a la realización de esta tesis. A quienes nos han apoyado a lo largo de nuestra carrera universitaria, ayudándonos a superar los numerosos desafíos que han moldeado nuestro carácter y fortalecido nuestros valores. El apoyo incondicional de quienes están siempre cerca es fundamental para enfrentar estos retos. Por ello, esta dedicatoria es para aquellas personas que estuvieron y siguen estando ahí, brindando su apoyo sin reservas y buscando siempre la manera de contribuir para que este objetivo final se hiciera realidad.

Gracias a todas esas personas que, quizás sin saberlo, han sido esenciales en la focalización y culminación de esta carrera de estudios, que sienta las bases de un futuro mejor y más próspero.

Jorge Andrés España Arpi – Andrés Fernando González Nivicela.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestros padres, quienes con su amor, sacrificio y apoyo constante han sido la mayor fuente de inspiración y fortaleza a lo largo de nuestras vidas académicas. A nuestros hermanos, por su compañerismo y ánimo incondicional en cada paso de este camino.

Agradecemos profundamente a nuestros profesores, cuyas enseñanzas y orientaciones han sido fundamentales para el desarrollo de esta tesis. En especial, queremos expresar nuestra gratitud a nuestro asesor de tesis por su invaluable guía y paciencia.

A nuestros amigos y compañeros de estudio, por su apoyo y por hacer de esta travesía una experiencia memorable. Su colaboración y amistad han sido cruciales en los momentos de desafío.

Propuesta de implementación de micromovilidad eléctrica en la operación de entrega de mercadería en la empresa Protintex.

Resumen

Este estudio propone evaluar la integración de la micromovilidad eléctrica en las operaciones logísticas de Protintex en Cuenca, Ecuador, evaluando su efectividad operativa, económica y ambiental. Compara vehículos convencionales con opciones eléctricas, destacando las ventajas en sostenibilidad y eficiencia. La implementación requiere evaluar alternativas, analizar riesgos y fomentar la colaboración empresarial, lo que permitiría a Protintex liderar la adopción de tecnologías limpias en el sector logístico, reforzando su compromiso con la sostenibilidad e innovación. Se emplearon dos bicicletas eléctricas de 21 kg para recorrer dos rutas de 5,7 km y 3,8 km, previamente realizadas con una buseta Hyundai H1 a diésel transportando 90,71 kg de mercadería. Los resultados muestran que el rendimiento energético del vehículo convencional es de 1,804 y 1,806 kWh/km, mientras que las bicicletas eléctricas registraron 0,009 y 0,012 kWh/km. En términos de emisiones, el vehículo convencional generó 0,478 y 0,478 kgCO₂ eq/km, en contraste con las bicicletas eléctricas, que emitieron 0,0008 y 0,0011 kgCO₂ eq/km. El tiempo de entrega del vehículo convencional fue de 20,63 y 16,13 minutos, mientras que las bicicletas registraron 52,88 y 38,40 minutos. La velocidad promedio fue de 24,28 y 24,63 km/h en el vehículo convencional y de 23,08 y 20,26 km/h en las bicicletas. Finalmente, la capacidad de carga se determinó en 15,91 y 23,87 kg/km para el vehículo convencional, y en 3,98 y 5,97 kg/km para las bicicletas eléctricas.

Palabras clave - *Micromovilidad eléctrica, cero emisiones, eficiencia energética, logística de última milla, movilidad sostenible.*

Ing. Mateo Coello Salcedo Msc.
Director del trabajo de titulación

Ing. Robert Rockwood Iglesias MSc.
Coordinador de escuela

Jorge Andrés España Arpi – Andrés Fernando González Nivicela.

Autores

Proposal for implementing electric micro mobility in the merchandise delivery operations at Protintex company.

Abstract

This study proposes to evaluate the integration of electric micromobility in the logistics operations of Protintex in Cuenca, Ecuador, evaluating its operational, economic and environmental effectiveness. Compare conventional vehicles with electric options, highlighting the advantages in sustainability and efficiency. The implementation requires evaluating alternatives, analyzing risks and encouraging business collaboration, which would allow Protintex to lead the adoption of clean technologies in the logistics sector, reinforcing its commitment to sustainability and innovation. Two 21 kg electric bicycles were used to travel two routes of 5.7 km and 3.8 km, previously made with a Hyundai H1 diesel bus carrying 90.71 kg of merchandise. The results show that the energy performance of the conventional vehicle was 1.804 and 1.806 kWh/km, while electric bicycles recorded 0.009 and 0.012 kWh/km. In terms of emissions, the conventional vehicle generated 0.478 and 0.478 kgCO₂ eq/km, in contrast to electric bicycles, which emitted 0.0008 and 0.0011 kgCO₂ eq/km. The delivery time of the conventional vehicle was 20.63 and 16.13 minutes, while the bicycles registered 52.88 and 38.40 minutes. The average speed was 24.28 and 24.63 km/h in the conventional vehicle and 23.08 and 20.26 km/h in bicycles. Finally, the load capacity was determined at 15.91 and 23.87 kg/km for the conventional vehicle, and at 3.98 and 5.97 kg/km for electric bicycles.

Keywords - *Electric micro-mobility, zero emissions, energy efficiency, last-mile logistics, sustainable mobility.*

Ing. Mateo Coello Salcedo Msc.
Director del trabajo de titulación

Ing. Robert Rockwood Iglesias MSc.
Coordinador de escuela

Jorge Andrés España Arpi – Andrés Fernando González Nivicela.

Autores

Índice

<i>DEDICATORIA</i>	<i>I</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i>	<i>II</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>III</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>IV</i>
<i>ÍNDICE</i>	<i>V</i>
<i>I. INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
<i>II. MATERIALES Y MÉTODOS</i>	<i>2</i>
<i>A. Operación del Vehículo de Combustión Interna.</i>	
2	
<i>A1) Caracterización del Vehículo.</i>	<i>2</i>
<i>A2) Medición de Recorridos.</i>	<i>2</i>
<i>A3) Medición del Consumo energético.</i>	<i>2</i>
<i>A4) Estimación de Emisiones.</i>	<i>3</i>
<i>A5) Evaluación de Costos.</i>	<i>3</i>
<i>B. Operación de la Bicicleta eléctrica.</i>	<i>3</i>
<i>B1) Caracterización de la Bicicleta eléctrica.</i>	<i>3</i>
<i>B2) Medición de Recorridos.</i>	<i>4</i>
<i>B3) Medición del Consumo energético.</i>	<i>4</i>
<i>B4) Estimación de Emisiones.</i>	<i>4</i>
<i>B5) Evaluación de Costos.</i>	<i>4</i>
<i>III. RESULTADOS</i>	<i>5</i>
<i>A. Operación del Vehículo de Combustión Interna.</i>	
5	
<i>A1) Caracterización del Vehículo.</i>	<i>5</i>
<i>A2) Medición de Recorridos.</i>	<i>5</i>
<i>A3) Medición del Consumo energético.</i>	<i>5</i>
<i>A4) Estimación de Emisiones.</i>	<i>5</i>
<i>A5) Evaluación de Costos.</i>	<i>5</i>
<i>B. Operación de la Bicicleta eléctrica.</i>	<i>5</i>
<i>B1) Caracterización de la Bicicleta eléctrica.</i>	<i>5</i>
<i>B2) Medición de Recorridos.</i>	<i>5</i>
<i>B3) Medición del Consumo energético.</i>	<i>5</i>
<i>B4) Estimación de Emisiones.</i>	<i>5</i>
<i>B5) Evaluación de Costos.</i>	<i>6</i>
<i>C. Resumen de Resultados.</i>	<i>6</i>
<i>IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	<i>7</i>
<i>V. REFERENCIAS</i>	<i>7</i>

Propuesta de implementación de micromovilidad eléctrica en la operación de entrega de mercadería en la empresa Protintex.

Jorge Andrés España Arpi, Andrés Fernando González Nivicela, Mateo Fernando Coello Salcedo, Daniel Guillermo Cordero Moreno

Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad del Azuay

Cuenca, Ecuador

jespana@es.uazuay.edu.ec

nivicela@es.uazuay.edu.ec

mfcoello@uazuay.edu.ec

dacorderom@uazuay.edu.ec

Resumen— Este estudio propone evaluar la integración de la micromovilidad eléctrica en las operaciones logísticas de Protintex en Cuenca, Ecuador, evaluando su efectividad operativa, económica y ambiental. Compara vehículos convencionales con opciones eléctricas, destacando las ventajas en sostenibilidad y eficiencia. La implementación requiere evaluar alternativas, analizar riesgos y fomentar la colaboración empresarial, lo que permitiría a Protintex liderar la adopción de tecnologías limpias en el sector logístico, reforzando su compromiso con la sostenibilidad e innovación. Se emplearon dos bicicletas eléctricas de 21 kg para recorrer dos rutas de 5,7 km y 3,8 km, previamente realizadas con una buseta Hyundai H1 a diésel transportando 90,71 kg de mercadería. Los resultados muestran que el rendimiento energético del vehículo convencional es de 1,804 y 1,806 kWh/km, mientras que las bicicletas eléctricas registraron 0,009 y 0,012 kWh/km. En términos de emisiones, el vehículo convencional generó 0,478 y 0,478 kgCO₂ eq/km, en contraste con las bicicletas eléctricas, que emitieron 0,0008 y 0,0011 kgCO₂ eq/km. El tiempo de entrega del vehículo convencional fue de 20,63 y 16,13 minutos, mientras que las bicicletas registraron 52,88 y 38,40 minutos. La velocidad promedio fue de 24,28 y 24,63 km/h en el vehículo convencional y de 23,08 y 20,26 km/h en las bicicletas. Finalmente, la capacidad de carga se determinó en 15,91 y 23,87 kg/km para el vehículo convencional, y en 3,98 y 5,97 kg/km para las bicicletas eléctricas.

Palabras clave: *Micromovilidad eléctrica, cero emisiones, eficiencia energética, logística de última milla, movilidad sostenible.*

Abstract— This study proposes to evaluate the integration of electric micromobility in the logistics operations of Protintex in Cuenca, Ecuador, evaluating its operational, economic and environmental effectiveness. Compare conventional vehicles with electric options, highlighting the advantages in sustainability and efficiency. The implementation requires evaluating alternatives, analyzing risks and encouraging business collaboration, which would allow Protintex to lead the adoption of clean technologies in the logistics sector, reinforcing its commitment to sustainability and innovation. Two 21 kg electric bicycles were used to travel two routes of 5.7 km and

3.8 km, previously made with a Hyundai H1 diesel bus carrying 90.71 kg of merchandise. The results show that the energy performance of the conventional vehicle was 1.804 and 1.806 kWh/km, while electric bicycles recorded 0.009 and 0.012 kWh/km. In terms of emissions, the conventional vehicle generated 0.478 and 0.478 kgCO₂ eq/km, in contrast to electric bicycles, which emitted 0.0008 and 0.0011 kgCO₂ eq/km. The delivery time of the conventional vehicle was 20.63 and 16.13 minutes, while the bicycles registered 52.88 and 38.40 minutes. The average speed was 24.28 and 24.63 km/h in the conventional vehicle and 23.08 and 20.26 km/h in bicycles. Finally, the load capacity was determined at 15.91 and 23.87 kg/km for the conventional vehicle, and at 3.98 and 5.97 kg/km for electric bicycles.

Key words: *Electric micro-mobility, zero emissions, energy efficiency, last-mile logistics, sustainable mobility.*

I. INTRODUCCIÓN

La micromovilidad eléctrica se refiere al uso de vehículos eléctricos ligeros, como bicicletas y scooters, diseñados para facilitar el transporte urbano de corta distancia. Estos vehículos son cada vez más utilizados en la logística de última milla debido a su bajo costo operativo, reducción de emisiones y capacidad para sortear la congestión urbana (Shaheen et al., 2017). La movilidad sostenible busca reducir los impactos negativos del transporte sobre el medio ambiente, optimizando el uso de recursos y promoviendo alternativas que disminuyan las emisiones de gases de efecto invernadero (Banister, 2008). En este contexto, la logística de última milla se refiere a la etapa final del proceso de distribución de mercancías, donde se entregan los productos directamente al consumidor. Esta fase es particularmente relevante debido a su impacto en los costos logísticos y en las emisiones de CO₂, representando un porcentaje significativo de las emisiones totales del transporte urbano (Dablanc & Montanon, 2015).

La integración de la micromovilidad eléctrica en la logística de última milla ha mostrado resultados prometedores en Europa, empresas como DHL de Alemania han implementado bicicletas

eléctricas para la distribución urbana, reduciendo los tiempos de entrega y las emisiones en comparación con vehículos de combustión interna (Schliwa et al., 2018). En ciudades como Ámsterdam, la implementación de bicicletas eléctricas en el sistema logístico ha permitido una reducción significativa en el consumo de energía y emisiones, mejorando también la eficiencia operativa (Melo & Baptista, 2017). Estos ejemplos destacan cómo la micromovilidad eléctrica puede ser una solución eficiente para las ciudades densamente pobladas, no sólo reduciendo las emisiones, sino también optimizando el tiempo y los costos de entrega.

Protintex es una empresa dedicada al lavado y tinte de jeans en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Fundada en 2021 por el hoy propietario que cuenta con amplios conocimientos en esta actividad, la empresa tiene como objetivo ofrecer servicios de alta calidad, complementados con un servicio de entrega puerta a puerta que brinda comodidad a sus clientes. Para la distribución de mercadería, Protintex actualmente utiliza un vehículo de combustión interna (Buseta Hyundai H1), lo que genera un impacto negativo tanto en términos de costos operativos como en su huella de carbono. Con el creciente interés en mejorar la sostenibilidad de sus operaciones, la empresa busca explorar una alternativa que le permita reducir sus emisiones de CO2 y optimizar su eficiencia operativa.

Actualmente, Protintex no cuenta con un estudio que evalúe el impacto de integrar bicicletas eléctricas de carga en su operación logística, especialmente en términos de consumo energético, emisiones de CO2, costos operativos y tiempos de entrega. Sin una evaluación precisa, es difícil determinar la viabilidad de esta alternativa en comparación con el uso de vehículos convencionales.

El objetivo de esta investigación es evaluar la viabilidad de incorporar bicicletas eléctricas de carga en la empresa Protintex para realizar la entrega de mercadería, este tipo de bicicleta es idónea por el tipo de recorridos y geografía, las bicicletas cuentan con un motor de 36V a 250W, una batería de Iones de litio 36V 8,8 AH/316 Wh, con una autonomía aproximada de 40 a 60 km (Coll Rovira, 2017).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se enfoca en la comparación de la operación actual del vehículo de combustión interna y la bicicleta eléctrica en la entrega de mercadería de la empresa Protintex. Se analizarán aspectos operativos, consumo energético, emisiones y costos de ambas modalidades para determinar la viabilidad de la transición hacia la micromovilidad eléctrica.

A. Operación del Vehículo de Combustión Interna

A1) Caracterización del Vehículo



Figura 1: Buseta Hyundai H1

TABLA I

<i>Hyundai H-1 2.5 CRDi (2011)</i>	
<i>Cilindraje</i>	2500 cc
<i>Combustible</i>	Diesel
<i>Número de cilindros</i>	4
<i>Carga máxima</i>	792-855 kg 1746,06-1884,95 lbs
<i>Capacidad depósito</i>	75 l

Fuente: Autodata, 2018-2025

A2) Medición de Recorridos

Los recorridos de la buseta serán registrados utilizando la aplicación Wahoo un GPS que tiene una frecuencia de registro de datos de 1 segundo, está medirá:

- Distancia total de cada recorrido.
- Velocidades promedio.
- Tiempo de entrega.

Se harán recorridos hasta que se muestre una saturación de la información en el promedio de las variables de tiempo y velocidad. Es decir, en el momento que ya no haya mayor variación en los promedios de estas variables se dejará de levantar información.

A3) Medición del Consumo energético

El consumo energético del vehículo de combustión interna se determinará a partir de la cuantificación del diésel requerido por recorrido. Para ello, se empleará el cálculo del rendimiento de combustible realizando cargas de combustible al máximo, registrando los kilómetros iniciales y los galones de diésel, para de esta manera determinar el volumen de diésel exacto utilizado por la buseta, a continuación la fórmula de rendimiento.

$$Rendcomb (km/gal) = \frac{Km\ actual - km\ anterior}{Cantidad\ de\ galones} \quad (\text{Muriel, n.d.})$$

Para determinar los kilómetros actuales y los anteriores que se describe en la fórmula nos vamos a basar en el odómetro del vehículo, luego los datos los insertamos en una bitácora donde también se colocara los galones de combustible que se necesitaba para volver a llenar el tanque de la buseta gracias a la factura que proporciona la estación de servicio donde llenamos el vehículo de combustible.

Con el rendimiento se determina el volumen de diesel necesario para realizar cada ruta.

Con la siguiente fórmula se calcula la masa:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

ρ = densidad del diesel 0,83 kg/L (ANH, 2024).

m= masa del combustible

v=volumen de combustible utilizado

Se determina la energía en kWh multiplicando la masa de combustible por el poder calorífico que es 43200 kJ/kg (ANH, 2024).

El resultado de la eficiencia de combustible del vehículo es 21,02 km/gal.

Finalmente determinamos el consumo energético en kWh/km con la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo energético} = \frac{e}{d} \quad (\text{Mendoza, Pillco, 2023})$$

Donde:

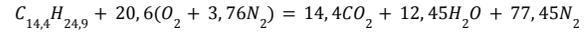
e=energía

d=distancia.

A4) Estimación de Emisiones

Según (Pulkrabek, 2004) 10,1 kg de CO₂ es el valor que se genera por cada galón de diesel consumido, para obtener este dato se realiza un balance energético partiendo de la composición química del diesel C_{14,4}H_{24,9} y el valor de las masas molares del carbono, oxígeno, y del hidrógeno, también es necesario conocer el valor de la densidad en litros y finalmente con una conversión de unidades logramos obtener el valor en kg de CO₂/gal, a continuación el procedimiento.

C_{14,4}H_{24,9} Composición química del diesel.



$$C = 12 \text{ kg/kmol}, O = 16 \text{ kg/kmol}, H = 1 \text{ kg/kmol}$$

$$Ec = \frac{14,4CO_2}{C_{14,4}H_{24,9}} = 3,20 \frac{\text{kg de CO}_2}{\text{kg de diesel}}$$

$$\rho_{\text{Diesel}} = 0,83 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$

$$3,20 \frac{\text{kg de CO}_2}{\text{kg de diesel}} * 0,83 \frac{\text{kg de diesel}}{\text{L}} = 2,67 \frac{\text{Kg de CO}_2}{\text{Litro de diesel}}$$

$$1 \text{ galón} = 3,785 \text{ Litros}$$

$$2,67 \frac{\text{Kg de CO}_2}{\text{Litro de diesel}} * \frac{3,785 \text{ Litros de diesel}}{1 \text{ galón}} = 10,1 \frac{\text{kg de CO}_2}{\text{gal diesel}}$$

A5) Evaluación de Costos

En el análisis de costos el propietario será quien nos proporcione información sobre los gastos que este realiza anualmente.

Costos de Mantenimiento:

- Mantenimiento preventivo: Incluye dos mantenimientos programados cada seis meses, abarcando cambio de aceite, filtros, revisión de frenos y otros sistemas esenciales.
- Mantenimiento correctivo: Costos asociados a reparaciones imprevistas y reemplazo de piezas críticas como batería, amortiguadores, entre otros.

Costos de Operación:

- Combustible: Gasto mensual derivado del consumo de diésel por recorrido.
- Revisiones periódicas: Inspecciones rutinarias para asegurar el correcto funcionamiento del vehículo.

Costos de Neumáticos:

- Reemplazo de llantas: Según el desgaste estimado por kilometraje recorrido, con un ciclo de cambio basado en recomendaciones del fabricante y condiciones de uso.

Costo de matriculación

- Incluye el pago de impuestos, tasas vehiculares y revisiones técnicas obligatorias.

B. Operación de la Bicicleta eléctrica

B1) Caracterización de la Bicicleta eléctrica



Figura 2: Bicicleta eléctrica

TABLA II

<i>Bicicleta eléctrica</i>	
<i>Motor</i>	36V 250W
<i>Batería</i>	36V 8,8AH/316Wh
<i>Autonomía</i>	40-60 km
<i>Tiempo de carga</i>	4-6 h
<i>Peso</i>	21 kg

Fuente: Fabricante

B2) Medición de Recorridos

Para los recorridos de la bicicleta eléctrica de igual manera serán registrados utilizando la aplicación Wahoo, que medirá:

- Distancia total de cada recorrido.
- Velocidades promedio.
- Tiempo de entrega.

Se llevarán a cabo 24 recorridos, ya que se realizan 4 recorridos de 50 lbs por viaje para completar 200 lbs, este es el peso neto total de la buseta en cada trayecto, así con 6 repeticiones por ruta se obtiene el número de recorridos. En este caso se realizó en dos rutas establecidas.

Posteriormente, se calcula los valores promedio, utilizando Microsoft Excel para realizar estos cálculos.

B3) Medición del Consumo energético

Para medir el consumo de energía de la bicicleta eléctrica, se utilizará un vatímetro, cuyas especificaciones se detallan en la TABLA III. Los datos que proporciona el dispositivo se obtiene al momento de realizar la carga máxima de la batería de la bicicleta, después de haber realizado cada recorrido y ya con todos los

recorridos realizados se procede a colocar todos los valores obtenidos en una plantilla de Microsoft excel para realizar promedios de los valores obtenidos y obtener el consumo energético gracias a la siguiente ecuación.

$$\text{Consumo energético} = \frac{\text{energía cons. [kWh]}}{\text{km recorrido [km]}}$$

TABLA III

Vatímetro		
<i>Fuente: Autores</i>		
Características		
Voltaje de funcionamiento (V)	Visualización de frecuencia (Hz)	Indicador de potencia (vatios)
120	60	0-1800 W

B4) Estimación de Emisiones

En este estudio, el factor de emisiones se expresa en kilogramos de CO2 por kilómetro recorrido (kg CO2/km) y se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de emisiones} = \text{DE} * \text{FE}$$

Donde:

DE= demanda energética [kWh/km]

FE= factor de emisión de electricidad en el SNI es 0,092[kg CO2/kWh] (Ministerio de Energía y Minas, 2023).

B5) Evaluación de Costos

Por ser un transporte eléctrico, se tendrá en cuenta el costo de la energía eléctrica, que es 9,2 centavos de dólar por kWh (ARCERNR, 2022).

Los costos de mantenimiento de la bicicleta eléctrica se enfocarán principalmente en acciones preventivas en lugar de correctivas, debido a que es un vehículo compacto que no requiere combustible para su funcionamiento.

Se llevarán a cabo mantenimientos semestrales en el circuito eléctrico, incluyendo la batería y el controlador, así como en las piezas móviles como las catalinas, la cadena, las pastillas de freno, entre otros componentes.

III. RESULTADOS

A2) Medición de Recorridos

Se realizaron un total de 12 recorridos utilizando el vehículo de combustión interna, distribuidos en dos rutas (Ruta 1 con distancia de 5,7 km y Ruta 2 con distancia 3,8 km), con 6 recorridos por cada ruta.

- Velocidades promedio:
 - Ruta 1: $24,28 \pm 2,54$ km/h
 - Ruta 2: $24,63 \pm 2,22$ km/h
- Tiempos promedios de entrega:
 - Ruta 1: $20,63 \pm 2,89$ minutos
 - Ruta 2: $16,13 \pm 3,46$ minutos

A3) Medición del Consumo energético

El consumo energético que se determinó para cada ruta se especifica en la siguiente tabla con la cantidad respectiva de combustible utilizada.

TABLA IV

Rutas (km)	Diesel consumido (gal)	Energía consumida (kWh/km)
Ruta 1	$0,27 \text{ gal} \pm$	$1,804 \pm$
Ruta 2	$0,18 \text{ gal} \pm$	$1,806 \pm$

A4) Estimación de Emisiones

Aplicada la ecuación de combustión simplificada el valor es 10,1 kg de CO₂/gal ,con este dato se obtuvo la estimación de emisiones detallada en la siguiente tabla.

TABLA V

Rutas (km)	kg CO ₂ generado con respecto a la cantidad de diesel utilizado.	Co ₂ eq generado (kgCo ₂ /km)
Ruta 1	2,72	0,478
Ruta 2	1,81	0,478

A5) Evaluación de Costos

El propietario nos detalló los costos debido a que se utiliza el vehículo desde el año 2021 y se conoce plenamente los gastos del vehículo.

Costos de mantenimiento	\$1500
Costos de operación	\$1800
Costo de neumáticos	\$600
Costo de matriculación	\$300
Total	\$4200

B2) Medición de Recorridos

Se realizaron un total de 24 recorridos con la bicicleta eléctrica, 12 por cada ruta.

- Velocidades promedio:
 - Ruta 1: $23,08 \pm 2,39$ km/h
 - Ruta 2: $20,26 \pm 2,25$ km/h
- Tiempos promedios de entrega:
 - Ruta 1: $52,88 \pm 3,13$ minutos
 - Ruta 2: $38,40 \pm 4,69$ minutos

B3) Medición del Consumo energético

Con el registro proporcionado por el vatímetro y posteriormente la estratificación de datos se obtuvieron los siguientes valores del consumo energético.

TABLA VI

Rutas (km)	Promedio energía consumida (kWh)	Energía consumida (kWh/km)
Ruta 1	$0,049 \pm 0,0055$	0,009
Ruta 2	$0,046 \pm 0,0052$	0,012

B4) Estimación de Emisiones

Los valores determinados de consumo energético obtenidos anteriormente son de gran utilidad para la estimación de las emisiones de CO₂ que se detallan a continuación.

TABLA VII

Rutas (km)	Factor de emisión de electricidad del SNI (kg CO ₂ /kWh)	CO ₂ eq generado (kgCo ₂ /km)
Ruta 1	0,092	0,001
Ruta 2	0,092	0,001

B5) Evaluación de Costos

El valor obtenido de los mantenimientos de la bicicleta eléctrica bordea los \$100, ya que su funcionamiento es más simplificado en comparación con el VMCI.

C. Resumen de Resultados

TABLA VIII

	Buseta		Bicicleta		Diferencia Porcentual	
	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 1 (%)	Ruta 2 (%)
Carga transportada (kg/km)	15,91	23,87	3,98	5,97	300	300
Velocidad promedio (km/h)	24,28	24,63	23,08	20,26	5	22
Tiempo de entrega (min)	20,63	16,13	52,88	38,40	-61	-58
Energía consumida (kWh/km)	1,80	1,81	0,009	0,012	20760	14661
CO2 eq generado (kgCO2/km)	0,478	0,478	0,0008	0,0011	60038	42393
Costos	\$4200		\$100		4100	

Después de realizar estudio comparativo, es esencial llevar a cabo un análisis que considere la capacidad de carga, velocidad promedio, tiempo de entrega, energía consumida, emisiones y los costos.

Capacidad de carga

Se observa que el VMCI tiene una capacidad de carga significativamente superior en ambas rutas en comparación con la micromovilidad. En la Ruta 1, la diferencia de carga transportada es de aproximadamente 4 veces más a favor del VMCI, con un valor de 300% a favor de la buseta. De manera similar, en la Ruta 2, la diferencia sigue la misma tendencia, con una capacidad de carga 4 veces mayor en los VMCI.

Velocidad promedio

Se observa que el VMCI mantiene una velocidad promedio superior en ambas rutas, aunque la diferencia es más pronunciada en la Ruta 2. En la Ruta 1, la diferencia de velocidad entre los dos modos de transporte es mínima (5%), lo que indica que la micromovilidad puede mantener un rendimiento similar en

trayectos más largos. Sin embargo, en la Ruta 2, la micromovilidad presenta una reducción del 22% en velocidad promedio respecto al VMCI.

Tiempo de entrega

Estos resultados evidencian que la bicicleta eléctrica demanda aproximadamente 32 minutos adicionales en la Ruta 1 y 22 minutos más en la Ruta 2 para completar las entregas. Esta diferencia es atribuible a las limitaciones inherentes a la micromovilidad, como condición física del conductor de la bicicleta eléctrica y una mayor exposición a obstáculos urbanos, lo que afecta directamente la eficiencia operativa en comparación con el VMCI.

Energía consumida

El consumo energético del VMCI es sustancialmente superior al de la micromovilidad eléctrica. Los porcentajes obtenidos en la comparación 20760% y 14661%. En la Ruta 1, el vehículo de motor de combustión interna (VMCI) consume 207,6 veces más energía que una bicicleta eléctrica en la Ruta 1 y 146,61 en la Ruta 2 19537 esto debido a que las distancias son diferentes.

CO2 generado.

Los datos obtenidos muestran diferencias extremas entre el VMCI y la micromovilidad en términos de emisiones de CO₂ por kilómetro recorrido.

El VMCI presenta emisiones elevadas en ambas rutas, mientras que la micromovilidad prácticamente no genera CO₂. La diferencia porcentual entre ambos sistemas es extremadamente alta, con valores de 60038% y 42393% para la Ruta 1 y Ruta 2, respectivamente. Esto evidencia la enorme brecha en impacto ambiental entre ambas opciones de transporte, destacando la eficiencia de la micromovilidad en términos de reducción de emisiones, es decir que en la Ruta 1 la buseta genera 600 más CO₂ que la bicicleta y en la Ruta 2 el valor es 423 veces más de CO₂ que la bicicleta eléctrica.

Costos.

El análisis de costos operativos muestra una diferencia sustancial entre el vehículo de motor de combustión interna (VMCI) y la bicicleta eléctrica. El VMCI genera un gasto mensual aproximado de \$4.200, mientras que la bicicleta eléctrica incurre en apenas \$100 anuales.

Esta diferencia representa un incremento del 4100% en los costos al utilizar el VMCI frente a la bicicleta eléctrica. En otras palabras, el VMCI es 41 veces más costoso en términos operativos que la opción de micromovilidad.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La adopción de la micromovilidad eléctrica en las operaciones logísticas demuestra un claro compromiso con la sostenibilidad en la logística urbana latinoamericana, especialmente en ciudades

como Cuenca, Ecuador.

A pesar de los desafíos, como la infraestructura de carga limitada y la falta de regulaciones específicas, los vehículos eléctricos emergen como una opción viable para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental en las entregas urbanas.

Los análisis de costos, demuestran que los valores son muy altos de VMCI, siendo \$4200 en comparación con los valores de la bicicleta eléctrica que son \$100 anuales de mantenimientos, las emisiones y consumo energético entre vehículos convencionales y eléctricos muestran que las soluciones de micromovilidad eléctrica son más rentables y sostenibles a largo plazo.

En conclusión, y como desventaja la capacidad de carga de la bicicleta eléctrica es inferior en comparación con la buseta ya que fueron necesarios 4 viajes para poder abordar la cantidad de mercadería que la buseta realizó en un solo viaje.

El análisis permitió determinar que las velocidades promedio son similares, ya que la diferencia porcentual es baja, especialmente en la Ruta 1, donde la diferencia fue del 5%. Esto indica que la bicicleta puede entregar mercadería a velocidades cercanas a las de un vehículo a combustión.

El tiempo de entrega de la bicicleta eléctrica aumentó, ya que se requirió más del doble de tiempo para entregar 90,1 kg de mercadería. Esto se debe a que la capacidad de carga de la buseta es mayor.

Uno de los puntos más favorables con respecto a la micromovilidad es el consumo energético, ya que para este estudio se evidencia un consumo de la buseta de 207,6% y 146,61%, con respecto a la bicicleta eléctrica lo que motivó al propietario a implementar micromovilidad para su empresa.

Con la implementación de la micromovilidad eléctrica, el impacto ambiental se reduce significativamente, ya que las emisiones generadas por la bicicleta eléctrica son prácticamente nulas. Este resultado evidencia que los vehículos de combustión interna son altamente perjudiciales para el medio ambiente, al liberar volúmenes considerables de CO₂. La adopción de alternativas sostenibles como la bicicleta eléctrica contribuye directamente a la disminución de la huella de carbono y promueve prácticas logísticas más responsables y ecológicas.

En cuanto a los resultados obtenidos, los propietarios de Protintex afirman que la integración de la micromovilidad eléctrica en su logística ha mejorado la eficiencia operativa, con base en que se contribuye significativamente a mejorar la fluidez del tráfico y reducir costos. Además, destacan su contribución al cuidado ambiental, reforzando su compromiso con prácticas empresariales, responsables y sostenibles.

RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio sobre la implementación de micromovilidad eléctrica en Protintex, se proponen las siguientes recomendaciones dirigidas tanto a los propietarios de la empresa como a futuros investigadores interesados en realizar estudios similares:

1. Optimización de la flota de micromovilidad:
Se recomienda considerar bicicletas eléctricas con mayor capacidad de carga o la incorporación de triciclos eléctricos, que podrían mejorar la eficiencia logística al permitir transportar volúmenes mayores sin comprometer la autonomía.
2. Diversificación de vehículos eléctricos:
Probar alternativas como motocicletas eléctricas podría ser beneficioso, especialmente en rutas con mayores distancias o pendientes pronunciadas, donde las bicicletas podrían presentar limitaciones operativas.
3. Mejora de las estrategias logísticas:
Se sugiere explorar diferentes horarios y rutas de entrega para optimizar los tiempos de distribución y reducir la congestión vehicular. Rutas menos transitadas podrían mejorar la eficiencia energética y disminuir los tiempos de entrega.
4. Análisis económico a largo plazo:
Aunque los costos operativos de la bicicleta eléctrica son significativamente menores, se recomienda realizar estudios a largo plazo que consideren el desgaste de componentes clave, como baterías y motores, para evaluar la sostenibilidad económica en el tiempo.
5. Evaluación de impacto ambiental ampliada:
Ampliar el análisis de emisiones considerando factores indirectos, como la huella de carbono asociada a la producción de las bicicletas eléctricas y sus baterías, podría ofrecer una visión más completa del impacto ambiental.
6. Investigaciones futuras:
Para futuros estudios, se sugiere analizar modelos logísticos combinados (híbridos), donde se utilizan tanto vehículos de micromovilidad como de combustión, optimizando rutas según distancia y carga. Además, evaluar las percepciones de los clientes sobre cambios en los tiempos de entrega podría aportar información valiosa para ajustar el modelo operativo.

V. REFERENCIAS

- Ávarez Coello, G., SERRANO GUEVARA, Ó., & ARIAS ROJAS, A. (2017). Evaluación de la bicicleta eléctrica para entrega de documentos y paquetería liviana en la ciudad de Cuenca [Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7294>
- Blanco, J. P., Windisch, E., Perkins, S., Ito, A., & Leape, J. (2022). Decarbonising Transport in Latin American Cities: A Review of Policies and Key Challenges. <http://virtualbib.iesa.edu.ve/contenidos/LIBROS2/EN/Decarbonising-Transport-in-Latin-American-Cities-A-Review-of-Policies-and-Key-Challenges.pdf>

- Boglietti, S., Barabino, B., & Maternini, G. (2021). Survey on e-Powered Micro Personal Mobility Vehicles: Exploring Current Issues towards Future Developments. *Sustainability*, 13(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/su13073692>
- Echeverría-Su, M., Huamanraime-Maquín, E., Cabrera, F. I., & Vázquez-Rowe, I. (2023). Transitioning to sustainable mobility in Lima, Peru. Are e-scooter sharing initiatives part of the problem or the solution? *Science of the total environment*, 866, 161130. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161130>
- Ho, C. Q., & Tirachini, A. (2024). Mobility-as-a-Service and the role of multimodality in the sustainability of urban mobility in developing and developed countries. *Transport Policy*, 145, 161–176. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.10.013>
- Shaheen, S., & Martin, E. (2018). Impact of Shared Mobility and Technology on Public Transportation.
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport policy*, 15(2), 73-80.
- Schliwa, G., Armitage, R., Aziz, S., Evans, J., & Rhoades, J. (2015). Sustainable city logistics—Making cargo cycles viable for urban freight transport. *Research in Transportation Business & Management*, 15, 50-57.
- Melo, S., & Baptista, P. (2017). Evaluating the impacts of using cargo cycles on urban logistics: Integrating traffic, environmental and operational boundaries. *European transport research review*, 9, 1-10.
- Dablanc, L., & Montanon, A. (2015). Impacts of environmental access restrictions on freight delivery activities: Example of low emissions zones in Europe. *Transportation Research Record*, 2478(1), 12-18.
- Coll Rovira, D. (2017). *Mantenimiento asociado a una empresa de alquiler de bicicletas eléctricas* (Bachelor 's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Jones, B., Nguyen-Tien, V., & Elliott, R. J. R. (2023). The electric vehicle revolution: Critical material supply chains, trade and development. *The World Economy*, 46(1), 2–26. <https://doi.org/10.1111/twec.13345>
- Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos. (2024). Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos. Obtenido de ANH: <https://controlhidrocarburos.gob.ec/>
- Empresa Eléctrica Regional del Sur S. A. (2022). Empresa Eléctrica Regional del Sur S. A. Obtenido de ARCERNR: <https://www.eerssa.gob.ec/las-tarifas-de-energia-electrica-no-se-incrementaran-en-el-2022/>
- Ministerio de Energía y Minas. (2023). Factor de emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador INFORME 2022. Recursos y Energía. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2023/08/wp-1692720103183.pdf>
- Krechetova, V. (2021). Green and sustainable logistics network: Micro mobility in the first - last mile. <https://repository.unescap.org/handle/20.500.12870/3850>
- McQueen, M., Abou-Zeid, G., MacArthur, J., & Clifton, K. (2021). Transportation Transformation: Is Micromobility Making a Macro Impact on Sustainability? *Journal of Planning Literature*, 36(1), 46–61. <https://doi.org/10.1177/0885412220972696>
- Olabi, A. G., Wilberforce, T., Obaideen, K., Sayed, E. T., Shehata, N., Alami, A. H., & Abdelkareem, M. A. (2023). Micromobility: Progress, benefits, challenges, policy and regulations, energy sources and storage, and its role in achieving sustainable development goals. *International Journal of Thermofluids*, 17, 100292. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100292>
- Mendoza, Pillco, I. P. (2023). Estimación de la demanda energética de bicicletas eléctricas para su uso en instituciones públicas y privadas de la ciudad de Cuenca. DSpace. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/13455>
- Muriel, J. (n.d.). Calcular consumo de combustible por kilómetro. Sr Ruedas. com. <https://srruedas.com/motor/calcular-consumo-de-combustible-por-kilometro/>
- Pulkrabek, W. (2004, Enero). Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine. ASME. <https://doi.org/10.1115/1.1669459>