



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS**  
**APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**TEMA:**

**“COMPARACIÓN ECONÓMICA Y TÉCNICA DE MOTOS ELÉCTRICAS Y  
DE COMBUSTIÓN”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**Línea de investigación:** Producción industrial y tecnología sostenible

**AUTOR:**

José Ismael Camacho Del Pozo

**DIRECTOR:**

Ing. Zamir Andrés Mera Rosero PhD.

**Ibarra – Ecuador 2026**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	0401890702		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Camacho Del Pozo José Ismael		
<b>DIRECCIÓN:</b>	San Alfonso de Ambuquí – Imbabura - Ibarra		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:jicamachod@utn.edu.ec">jicamachod@utn.edu.ec</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	2698045	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0991493861

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	Comparación económica y técnica de motos eléctricas y de combustión.
<b>AUTOR:</b>	José Ismael Camacho Del Pozo
<b>FECHA:</b>	2026/02/03
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
<b>CARRERA/PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero Automotriz
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Zamir Andrés Mera Rosero PhD.

## CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 03 días, del mes de febrero de 2026.

### EL AUTOR:

Firma.....

Nombre: Camacho Del Pozo José Ismael

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 03 de febrero de 2026

PhD. Mera Rosero Zamir Andrés

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

*f)* .....

Ing. Mera Rosero Zamir Andrés PhD.

*C.C.: 1003184478*

## APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “Comparación económica y técnica de motos eléctricas y de combustión” elaborado por Camacho Del Pozo José Ismael, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f):.....

Ing. Mera Rosero Zamir Andrés PhD.

C.C.: 1003184478

(f):.....

Ing. Rosero Añazco Ramiro Andrés MSc.

C.C.: 1718193616

## DEDICATORIA

Este trabajo no es solo un requisito académico; es el reflejo de un camino andado con esfuerzo, tropiezos, aprendizajes y, principalmente, compañía. A mis papás, porque en cada etapa de mi vida estuvieron ahí, a pesar de que no siempre supieron cómo ayudarme, pero nunca dejaron de tener fe; porque me instruyeron que el esfuerzo vale la pena y que los sueños se logran cuando se siguen valores. Ojalá al verme hoy puedan sentirse orgullosos de la persona en la que me he convertido, porque cada logro lleva su nombre escrito en silencio. A mi hermana, por ser apoyo constante, por estar en los momentos difíciles y por recordarme que no estoy solo, que siempre hay alguien que acompaña incluso cuando no dice nada. A todas aquellas personas que aportaron su granito de arena en este proceso, gracias por las palabras, el tiempo, la ayuda y las enseñanzas que, sin saberlo, marcaron mi crecimiento personal y profesional. Y a ti mi negrita, que llegaste para quedarte, gracias por creer en mí desde el inicio, por impulsarme a crecer, por sostenerme cuando dudé y por ayudarme a convertirme en una mejor versión de quien era; este logro también es tuyo, porque en cada paso firme hubo alguien que confió antes que yo. A todos ustedes, gracias por ser parte de este triunfo que no solo marca el final de una etapa, sino el inicio de todo lo que aún está por venir.

**“Este logro es la prueba de que el amor, el esfuerzo y la constancia sí transforman los sueños en realidades; hoy puedo decir, con orgullo, que no llegué solo.”**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la fortaleza, la salud y la constancia necesarias para culminar esta etapa, y por acompañarme incluso en los momentos de duda, cuando el cansancio parecía más fuerte que la motivación.

A la Universidad Técnica Del Norte, que me brindó la formación profesional y las instalaciones que me permitieron desarrollarme, así como a los profesores que durante mi formación aportaron sus conocimientos, experiencia y requerimientos en mi crecimiento como ingeniero.

De manera especial agradezco a mi asesor de tesis, el Ing. Zamir Mera por su guía, paciencia y apoyo durante el desarrollo de este artículo, así como por sus observaciones y correcciones que permitieron fortalecer el rigor técnico y académico del estudio. También agradezco a quienes directa o indirectamente contribuyeron a la realización de este proyecto brindando consejos, sugerencias, apoyo técnico o palabras de aliento; Cada contribución, por pequeña que sea, fue clave para hacer avanzar este proceso y completarlo.

Finalmente, mi más profundo agradecimiento a mi familia y a mi pequeña por su apoyo incondicional, comprensión y confianza durante esta etapa. Su apoyo fue la fuerza impulsora que me animó a no rendirme y a creer en mis capacidades incluso cuando las cosas se pusieron difíciles. Este logro no habría sido posible sin ustedes.

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo realizar una comparación técnica, económica y ambiental entre una motocicleta eléctrica y una motocicleta de combustión interna, la metodología empleada se basó en la adquisición y análisis de datos reales de consumo energético, obtenidos a partir de una ruta experimental desarrollado sobre una ruta mixta, que incluye tramos urbanos, rurales y de autopista. A partir de estos datos se determinó el consumo energético específico de cada motocicleta, el Costo Total de Propiedad (TCO) considerando una vida útil de 12 años y un kilometraje anual de 8 300 km, así como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) enfocado en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Los resultados fueron de un consumo total de 3,40 kWh/100 km en la ruta analizada, equivalente a 0,38 litros equivalentes de gasolina, mientras que la motocicleta de combustión Benelli TNT 25N consumió 3,40 L/100 km de gasolina para el mismo recorrido, confirmando una mayor eficiencia energética del sistema eléctrico bajo condiciones reales de operación.

En términos económicos, el análisis del TCO mostró que la motocicleta eléctrica alcanza un costo acumulado aproximado de 8767 USD durante su vida útil, significativamente inferior al de la motocicleta de combustión interna, cuyo TCO asciende a 12831 USD. Desde el punto de vista ambiental, el análisis de ciclo de vida evidenció que la Super Soco TC Max genera 4,68 toneladas de CO<sub>2</sub> a lo largo de su ciclo de vida, frente a 12,6 toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas por la Benelli TNT 25N.

**Palabras clave:** ciclo de vida, costo total de propiedad, consumo energético, emisiones CO<sub>2</sub>.

## ABSTRACT

This undergraduate thesis presents a technical, economic, and environmental comparison between an electric motorcycle and an internal combustion motorcycle. The methodology was based on the acquisition and analysis of real-world energy consumption data, obtained from an experimental driving profile, including urban, rural, and highway sections. Based on these data, the specific energy consumption of each motorcycle was determined, along with the Total Cost of Ownership (TCO) over a 12-year service life with an annual mileage of 8,300 km, and a Life Cycle Assessment (LCA) focused on CO<sub>2</sub> emissions.

The results show that the electric motorcycle Super Soco TC Max recorded a total energy consumption of 3,40 kWh/100 km along the analyzed route, equivalent to 0,38 gasoline-equivalent liters, whereas the internal combustion motorcycle Benelli TNT 25N consumed 3,40 L/100 km liters of gasoline over the same distance. These results confirm the higher energy efficiency of the electric powertrain under real operating conditions.

From an economic perspective, the TCO analysis indicates that the electric motorcycle reaches an accumulated cost of approximately USD 8767 over its service life, which is significantly lower than that of the internal combustion motorcycle, whose TCO amounts to USD 12831.

From an environmental standpoint, the life cycle assessment shows that the Super Soco TC Max generates 4,68 t CO<sub>2</sub> throughout its life cycle, compared to 12,6 t CO<sub>2</sub> emitted by the Benelli TNT 25N.

**Keywords:** life cycle, total cost of ownership, energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions.

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	6
AGRADECIMIENTO .....	7
RESUMEN EJECUTIVO .....	8
ABSTRACT .....	9
CAPITULO I .....	19
1. Antecedentes.....	19
1.1 Planteamiento del problema.....	21
1.2 Objetivos.....	22
1.2.1 Objetivo General.....	22
1.2.2 Objetivos Específicos.....	22
1.3 Alcance.....	23
1.4 Justificación.....	23
CAPÍTULO II .....	24
2. Marco Teórico .....	24
2.1 Tren de potencia de vehículos eléctricos y de combustión .....	24
2.1.1 Sistemas principales: Motor, Transmisión. ....	24
2.1.1.2 Motores de combustión interna .....	28

2.1.1.3 Baterías .....	29
2.1.1.4 Características de la batería .....	30
2.1.2 Energía y combustibles en el Ecuador .....	32
2.1.3 Vehículos de dos Ruedas.....	34
2.1.4 Ciclos de Conducción WMTC .....	36
2.2 Normativa ecuatoriana de vehículos de dos ruedas .....	38
2.3 Costo Total de Propiedad.....	40
2.4 Emisiones provenientes del transporte.....	43
2.4.1 Ciclo de vida del vehículo.....	46
CAPITULO III.....	50
3 Materiales y métodos.....	50
3.1 Materiales .....	50
3.1.1 Moto Eléctrica Super Soco TC MAX.....	51
3.1.2 Moto Combustión Benelli TNT 25N.....	53
3.1.3 Canedge2 (Datalogger).....	55
3.1.4 Sistema de Adquisición de Datos ELM327.....	55
3.2 Métodos.....	56
3.2.1 Análisis de mercado selección de modelo combustión interna .....	56

3.2.2 Costo total de propiedad.....	59
3.2.3.1 Análisis Ciclo de Vida.....	63
3.2.3.2 Caracterización de Componentes .....	66
3.2.3.3 Accesorios .....	67
3.2.3.4 Batería/Sistema Energético.....	68
3.2.3.4 Chasis.....	69
3.2.3.5 Frenos y Ruedas.....	70
3.2.3.6 Componentes Eléctricos .....	71
3.2.3.7 Electrónica.....	72
3.2.3.8 Componentes mecánicos .....	73
3.2.3.9 Mecatrónica .....	74
3.2.3.10 Motor .....	75
3.2.3.11 Dirección y Transmisión .....	76
3.2.3.12 Suspensión.....	77
3.2.3.13 Neumáticos .....	78
3.3.1 Ruta en condiciones reales de operación.....	79
3.3.1.1 Obtención de ruta.....	80
3.3.1.2 Zona urbana ciudad Ibarra.....	81

3.3.1.3 Zona rural ciudad Ibarra .....	82
3.3.1.4 Zona autopista ciudad Ibarra .....	83
CAPITULO IV .....	87
4. Análisis de resultados.....	87
4.1 Rutas de ensayo Ibarra .....	87
4.1.1 Ruta modo 1.....	88
4.1.2 Ruta modo 2.....	89
4.1.3 Ruta modo 3.....	90
4.1.4 Obtención de resultados moto eléctrica.....	91
4.1.5 Ruta moto combustión estándar .....	92
4.1.6 Obtención de resultados moto combustión.....	93
4.1.7 Comparación de graficas ruta.....	94
4.1.8 Comparación consumo ruta .....	97
4.2 Costo total de propiedad.....	100
4.3 Ciclo de vida.....	104
4.3.1 Análisis de resultados de ciclo de vida.....	106
4.3.2 Análisis de Gráficos Ciclo de Vida .....	108
CAPITULO V .....	111

5. Conclusiones y recomendaciones.....	111
5.1 Conclusiones.....	111
5.2 Recomendaciones .....	113
6. Bibliografía.....	114
ANEXOS .....	124

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Grafico Torque-RPM.....	25
<b>Figura 2</b> Sistema De Propulsión .....	26
<b>Figura 3</b> Diagrama P-V.....	28
<b>Figura 4</b> Potencia Generación de Energía Eléctrica Ecuador .....	33
<b>Figura 5</b> Ventas anuales de motos Ecuador.....	34
<b>Figura 6</b> Ciclo de conducción WMTC.....	37
<b>Figura 7</b> Consumo de Energía Transporte .....	43
<b>Figura 8</b> Consumo por tipo de Transporte.....	44
<b>Figura 9</b> Gases de Efecto Invernadero por Año.....	45
<b>Figura 10</b> Ciclo de Vida.....	47
<b>Figura 11</b> Ciclo de vida del vehículo.....	49
<b>Figura 12</b> Moto Eléctrica SuperSoco TC Max .....	51
<b>Figura 13</b> Moto Combustión Benelli TNT 25N.....	53
<b>Figura 14</b> Can Edge (Data Logger).....	55
<b>Figura 15</b> ELM327.....	55
<b>Figura 16</b> Ventas Anuales Motocicletas .....	57
<b>Figura 17</b> Venta de Motos Por Marca.....	58
<b>Figura 18</b> Flujograma Ruta en condiciones reales de operación .....	79
<b>Figura 19</b> Mapa Zona Urbana.....	81
<b>Figura 20</b> Mapa Zona Rural.....	82

<b>Figura 21</b> Mapa Zona Autopista .....	83
<b>Figura 22</b> Gráfica Ruta Modo 1 .....	88
<b>Figura 23</b> Grafica Ruta Modo 2 .....	89
<b>Figura 24</b> Gráfica Ruta Modo 3 .....	90
<b>Figura 25</b> Ruta Benelli .....	92
<b>Figura 26</b> Consumo combustible instantáneo .....	97
<b>Figura 27</b> Consumo eléctrico instantáneo .....	98
<b>Figura 28</b> Costo Total De Propiedad .....	102
<b>Figura 29</b> Toneladas de CO <sub>2</sub> Ciclo de Vida .....	108
<b>Figura 30</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> por km .....	110

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Tipos de baterías .....	29
<b>Tabla 2</b> Características batería .....	31
<b>Tabla 3</b> Marcas de motos más vendidas Ecuador .....	35
<b>Tabla 4</b> Parámetros Generales Ciclo WMTC.....	36
<b>Tabla 5</b> Requisitos Mínimos para Aprobación.....	39
<b>Tabla 6</b> Emisiones de Gases De Efecto Invernadero por Tipo de Fuente.....	46
<b>Tabla 7</b> Etapas Ciclo de Vida.....	48
<b>Tabla 8</b> Ficha técnica de la moto eléctrica super soco TC MAX (manual SuperSoco).....	52
<b>Tabla 9</b> Especificaciones Técnicas Benelli TNT 25N .....	54
<b>Tabla 10</b> Datos TCO .....	60
<b>Tabla 11</b> Ecuaciones para el cálculo TCO.....	61
<b>Tabla 12</b> Formulas Ciclo De Vida .....	64
<b>Tabla 13</b> Accesorios.....	67
<b>Tabla 14</b> Batería/sistema energético .....	68
<b>Tabla 15</b> Chasis.....	69
<b>Tabla 16</b> Frenos y Ruedas.....	70
<b>Tabla 17</b> Componentes Eléctricos.....	71
<b>Tabla 18</b> Electrónica .....	72
<b>Tabla 19</b> Componentes mecánicos.....	73
<b>Tabla 20</b> Mecatrónica.....	74

<b>Tabla 21</b> Motor.....	75
<b>Tabla 22</b> Dirección y Transmisión.....	76
<b>Tabla 23</b> Suspensión .....	77
<b>Tabla 24</b> Neumáticos.....	78
<b>Tabla 25</b> Consideraciones Moto Eléctrica .....	80
<b>Tabla 26</b> Consideraciones Moto Combustión.....	80
<b>Tabla 27</b> Características de la ruta en función de la Norma Moto eléctrica .....	84
<b>Tabla 28</b> Características de la ruta en función de la Norma Moto Combustión .....	86
<b>Tabla 29</b> Datos Obtenidos Super Soco Tc Max.....	91
<b>Tabla 30</b> Datos Obtenidos Benelli .....	94
<b>Tabla 31</b> Comparación Datos Ruta .....	95
<b>Tabla 32</b> Consumo por zona .....	99
<b>Tabla 33</b> Consumo por zona normalizado .....	99
<b>Tabla 34</b> Resultados Costo Total de Propiedad.....	101
<b>Tabla 35</b> Parámetros Ciclo de Vida .....	104
<b>Tabla 36</b> Ciclo de Vida Super Soco Tc Max.....	106
<b>Tabla 37</b> Ciclo de Vida Benelli TNT 25N .....	107

# CAPITULO I

## 1. Antecedentes

Las motocicletas eléctricas están reemplazando cada vez más a las motocicletas con motor de combustión. Sin embargo, Daniel Castillo menciona que no se han determinado aún los impactos ambientales de los ciclos de vida de ambas opciones mediante datos reales de campo, lo que permitiría tener información específica sobre su efecto en el medio ambiente. Se realizó una comparación entre los ciclos de vida de motocicletas eléctricas y de combustión, utilizando factores de emisiones. Los resultados indicaron que las motocicletas eléctricas presentan un menor impacto en cuanto al calentamiento global y al uso de recursos fósiles. Es importante destacar que, en la etapa de operación, las motocicletas eléctricas superaron a las de combustión [1]. En cuanto a las motocicletas a combustión, aquellas con sistema de inyección son generalmente más eficientes, especialmente las de alta cilindrada. Hazlina Selamat menciona que los motores pequeños con carburador tienen baja eficiencia operativa, alto consumo de combustible y altos niveles de emisiones. En este estudio, se compararon tres esquemas principales: inyección del cuerpo del acelerador, inyección de combustible en puerto e inyección directa, destacando las ventajas y desventajas de cada uno en términos de eficiencia operativa, consumo de combustible y emisiones, ofreciendo así una alternativa de bajo costo para mejorar el consumo de combustible y reducir las emisiones[2]. Cheng-Ta Chung explica que la transmisión electrónica continuamente variable es ampliamente aceptada como la arquitectura principal para el desarrollo de vehículos eléctricos. Los resultados mostraron que la motocicleta ofrece un alto rendimiento de conducción y una economía de combustible mejorada

---

en un 32%, lo que indica el gran potencial y viabilidad de esta tecnología[3]. La tendencia es reducir la contaminación al mínimo posible, por lo que se buscan alternativas que no utilicen combustibles fósiles. Las motocicletas eléctricas no emiten contaminantes durante su uso, aunque sí lo hacen en otras etapas. Josep Fanal realizó un análisis del ciclo de vida y un estudio económico comparativo entre motos eléctricas y de combustión interna y descubrió que las motos de combustión interna contaminan cinco veces más debido al uso de combustibles fósiles. Las motos eléctricas, en cambio, contaminan más durante la fase de producción, especialmente en la producción de baterías, aunque son más económicas durante toda su vida útil y son una solución más adecuada para reducir la contaminación del aire[4]. El consumo de energía de las motocicletas eléctricas es un punto clave para su análisis. Pablo D. Walker realizó un estudio comparativo de la economía energética y los costos de las motocicletas eléctricas utilizando simulaciones para evaluar la autonomía de conducción, comparando la economía de combustible y los costos. Se concluyó que los costos adicionales asociados con la electrificación representan un obstáculo significativo, aunque la motocicleta eléctrica demostró ser rentable a lo largo de su vida útil en comparación con la de combustión[5]. En Ecuador, las motocicletas eléctricas han mostrado un crecimiento significativo en los últimos años. Según ANESDOR, en 2021 se matricularon 6654 motocicletas eléctricas en Ecuador, superando en un 2,76% a los coches eléctricos, esto en parte porque las motocicletas eléctricas con valores hasta los 50000 dólares no pagan aranceles[6]. Las motocicletas eléctricas se perfilan como una solución a gran escala por ser un medio de transporte popular y económico, y su viabilidad es alta ya que eliminan por completo el uso de combustibles fósiles[7].

## 1.1 Planteamiento del problema

A pesar de la creciente conciencia sobre la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y minimizar la dependencia de los combustibles fósiles, las investigaciones actuales muestran que las motocicletas eléctricas generalmente tienen un menor impacto ambiental, además en lo que se refiere al calentamiento global y la falta de combustibles fósiles, es una alternativa prometedora a las motos a combustión. Las motos eléctricas se están convirtiendo cada vez más en alternativas populares, especialmente en el sector de uso personal, donde constituyen una gran parte del mercado[8]. Sin embargo, a pesar del creciente uso de las motos eléctricas, todavía tenemos lagunas de conocimiento sobre el impacto medioambiental de las motos eléctricas a lo largo de su ciclo de vida. Las motocicletas que utilizan motores de combustión interna están relacionadas con una grave contaminación del aire y problemas de salud. La falta de información clara y comparable sobre los modelos disponibles, así como los costos asociados con la compra, uso y mantenimiento de ambos tipos de motocicletas, complica aún más la capacidad de los consumidores, sectores y agencias para tomar decisiones gubernamentales informadas[9]. Además, las calificaciones de rendimiento de estas motocicletas en condiciones operativas del mundo real son limitadas. En este contexto, se hace evidente la necesidad de realizar una comparación entre las motocicletas eléctricas y de combustión desde un punto de vista económico y técnico. Esta comparación no sólo ayuda a comprender mejor las diferencias entre ambos tipos de vehículos, sino que también puede proporcionar información relevante para ayudar en la transición hacia un transporte más sostenible y eficiente.

## **1.2 Objetivos**

El presente apartado establece los objetivos que orientan el desarrollo de la investigación, definiendo de manera clara el propósito general y los alcances específicos del estudio. Estos objetivos permiten estructurar el análisis técnico y económico de las motocicletas evaluadas, asegurando coherencia entre el problema planteado, la metodología aplicada y los resultados obtenidos.

### **1.2.1 Objetivo General**

Realizar una comparación técnica y económica de motocicletas eléctricas y de combustión interna, para facilitar la toma de decisiones sobre su adquisición y utilización.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar un modelo representativo de motocicleta combustión interna en el Ecuador, que permita la comparación técnica, económica y ambiental.
- Diseñar la caracterización de todas las partes y componentes de las motocicletas.
- Realizar un análisis de los costos, uso y mantenimiento de cada tipo de motocicleta.
- Evaluar la autonomía y consumo energético de las motocicletas mediante una ruta en condiciones reales de operación.
- Presentar los resultados obtenidos de la comparación económica y técnica.

### **1.3 Alcance**

El alcance de este trabajo es una comparación económica, técnica y ambiental entre una motocicleta eléctrica y una motocicleta de combustión interna en la ciudad de Ibarra. Para ello, se seleccionaron modelos representativos de cada tecnología y se realizó una caracterización de sus principales componentes y sistemas. El análisis tiene en cuenta el consumo de energía derivado de perfiles de conducción reales en zonas urbanas, rurales y de autopistas, así como la evaluación del coste total de propiedad (TCO) y del análisis del ciclo de vida (LCA) durante la vida útil del vehículo. Los resultados nos permiten identificar diferencias claras en eficiencia energética, costes operativos e impacto ambiental en condiciones reales de uso.

### **1.4 Justificación**

La transición hacia una movilidad más sostenible es un desafío global debido a las crecientes preocupaciones económicas y ambientales en torno al uso de vehículos de combustión [10]. En este contexto, las motocicletas eléctricas son una alternativa prometedora, que ofrece beneficios potenciales tanto en términos de reducción de emisiones como de costos operativos a largo plazo. Sin embargo, la adopción generalizada de estas tecnologías todavía enfrenta obstáculos importantes, incluidas preocupaciones sobre su viabilidad económica y técnica. Por tanto, este estudio viene motivado por la necesidad de realizar una comparación de las motocicletas eléctricas y de combustión interna desde dos perspectivas fundamentales: la económica y la técnica. Por un lado, pretende estimar el coste total de propiedad, por otro lado, se pretende analizar los parámetros técnicos de cada tipo de motocicleta, teniendo en cuenta aspectos como las características de conducción autónoma, las características del sistema de propulsión y el impacto ambiental.

## CAPÍTULO II

### 2. Marco Teórico

Este capítulo establece el fundamento teórico-científico para la comparación técnica y económica entre motocicletas de combustión interna y motocicletas eléctricas. Se desarrollará una revisión de la literatura en los principios de propulsión, los sistemas de almacenamiento de energía, los marcos regulatorios y de evaluación estandarizados, y las metodologías de económico y ambiental.

#### 2.1 Tren de potencia de vehículos eléctricos y de combustión

El tren de potencia o motriz es el conjunto de componentes que generan y transmiten la energía necesaria para mover el vehículo. Sus diferencias fundamentales entre un vehículo de combustión interna (ICEV) y un vehículo eléctrico de batería (BEV) definen por completo su rendimiento, eficiencia y perfil de emisiones [4]

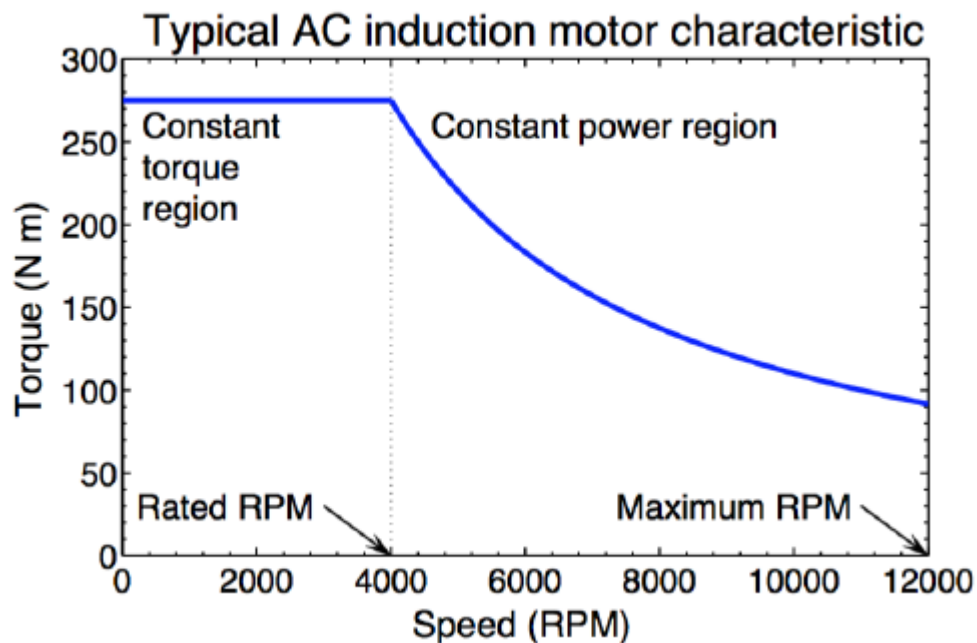
En el contexto de las motocicletas, el diseño del tren de potencia representa una de las partes fundamentales y punto de partida para otros componentes funcionales, determinando aspectos como la autonomía, velocidad máxima y capacidad de aceleración [11]

##### 2.1.1 Sistemas principales: Motor, Transmisión.

El tren de potencia de una motocicleta eléctrica es mecánicamente más simple, lo que se traduce en menores costos de mantenimiento. Sus componentes principales son el sistema de acumulación (batería), un convertidor de potencia y un motor eléctrico, que generalmente es de imanes permanentes [4]. A diferencia de un ICEV, un BEV no requiere una caja de cambios con múltiples velocidades, ya que el motor eléctrico puede entregar un par motor elevado en un rango muy

amplio de velocidades. Esta característica permite simplificar significativamente el sistema de transmisión, frecuentemente eliminando la necesidad de caja de cambios tradicional. A continuación en la figura 1 se muestra la gráfica de torque y rpm típico de vehículos eléctricos [11].

**Figura 1** Grafico Torque-RPM

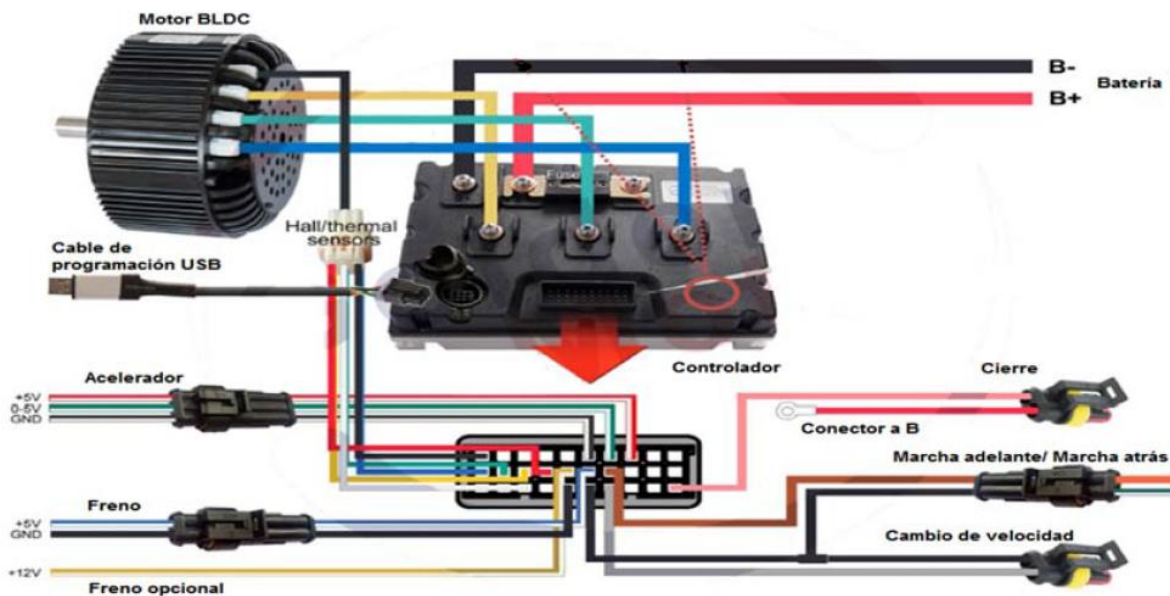


(Bjørn Kvaale, 2017, pág. 19)

En la figura 1 La gráfica muestra la característica típica de un motor de inducción AC, donde el par se mantiene constante hasta cerca de 4000 RPM. En esta región el motor entrega su máximo par, lo que permite una aceleración rápida y una respuesta inmediata. A partir de ese punto inicia la zona de potencia constante, donde el par disminuye mientras la velocidad aumenta [11].

En lo que se refiere a motos eléctricas tenemos los controladores de velocidad electrónicos que permiten gestionar la potencia del motor eléctrico de manera precisa y eficiente, habilitando múltiples modos de conducción adaptados a diferentes condiciones operativas. Los sistemas típicos incorporan configuraciones de múltiples velocidades, como los sistemas de 3 velocidades con limitaciones, proporcionando opciones de conducción urbana y semiurbana según las necesidades del usuario. En la figura 2 se observa el sistema de propulsión de un vehículo eléctrico.

**Figura 2** Sistema De Propulsión



(Alfredo López Valdés, Ministerio Industrias, Cuba, 2022, pág. 3)

El proceso se origina en el Sistema de Almacenamiento de Energía (ESS), un paquete de baterías de iones de litio configurado en serie y paralelo para alcanzar el voltaje y la capacidad nominales, cuya seguridad, estado de carga (SoC) y salud (SoH) son rigurosamente gestionados por un Sistema de Gestión de Baterías (BMS) integrado[12].

A demanda del piloto, manifestada a través de un acelerador electrónico, la Unidad de Control del Motor (MCU) o inversor actúa como el cerebro del sistema. Esta unidad de potencia electrónica, empleando semiconductores como MOSFETs o IGBTs, extrae la corriente continua (DC) de la batería y la transforma en una corriente alterna (AC) trifásica de frecuencia y amplitud variables[13].

Para lograr un control preciso del par y la velocidad, la MCU implementa algoritmos predominantemente el Control Vectorial (FOC), que mediante Modulación por Ancho de Pulso (PWM) ajusta con exactitud la forma de onda de la corriente enviada al motor. Esta corriente energiza los devanados del estator del motor, comúnmente un Motor Síncrono de Imanes Permanentes (PMSM), generando un campo magnético giratorio[14].

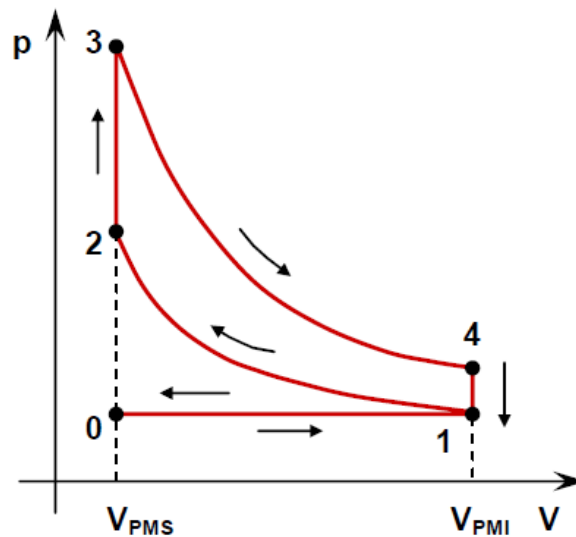
Dicho campo interactúa con los imanes permanentes del rotor, produciendo un par electromagnético que impulsa el eje del motor, el cual se transmite a la rueda trasera a través de una transmisión mecánica, generalmente de una sola etapa. Este sistema permite una entrega de par máxima desde las 0 RPM hasta una velocidad en la que, para seguir acelerando, la MCU entra en un modo de debilitamiento de campo para superar la fuerza contraelectromotriz.

Adicionalmente, durante la deceleración, el sistema invierte su función en un proceso de frenado regenerativo, donde la MCU reconfigura la conmutación para que el motor opere como un generador, convirtiendo la energía cinética del vehículo de nuevo en energía eléctrica para recargar la batería, optimizando así la eficiencia global del sistema.[15].

### 2.1.1.2 Motores de combustión interna

El motor, típicamente de cuatro tiempos en los modelos modernos, es el componente central que convierte la energía química del combustible en energía mecánica. La transmisión, se encarga de transmitir una velocidad y un par motor específicos a la rueda trasera. En la figura 3 se observa el grafico de presión – volumen de un motor a 4 tiempos.

**Figura 3** Diagrama P-V



(Y. Cengel, M. Boles, and M. Kanoglu, 2019, pág. 60)

El ciclo describe el funcionamiento en cuatro etapas principales: comenzando en el punto 1, la mezcla de aire y combustible es comprimida sin intercambio de calor hasta el punto 2. Entre los puntos 2 y 3, se produce una adición de calor a volumen constante que, simula la ignición por la chispa y la combustión. La fase de 3 a 4 es la carrera de expansión o de potencia, donde los gases calientes se expanden adiabáticamente. Finalmente, de 4 a 1, ocurre un rechazo de calor a volumen constante, donde la presión cae rápidamente al abrirse la válvula de escape [16].

### 2.1.1.3 Baterías

La tabla siguiente presenta un análisis comparativo de las diferentes tecnologías de baterías utilizadas en vehículos, organizadas cronológicamente desde las implementaciones más tempranas hasta las tecnologías emergentes que están definiendo el futuro de la movilidad eléctrica.

**Tabla 1** Tipos de baterías

Época de adopción	Química / formato principal	Energía específica típica (Wh/kg)	Ventajas clave	Limitaciones principales	Estado de madurez
1859 → hoy	Plomo-ácido inundada (FLA)	35-45 Wh/kg	Muy barata, alta corriente de arranque, reciclaje consolidado [17]	Peso elevado, baja densidad energética, mantenimiento periódico	Tecnología plenamente establecida
Década de 1970	Plomo-ácido VRLA sellada (GEL y AGM)	35-45 Wh/kg (similar a FLA)	Sin derrames, libre de mantenimiento, mayor resistencia a vibraciones [18]	Coste y peso siguen siendo altos, poca aptitud para ciclos profundos	Comercial madura
1997 → hoy	Níquel-metal hidruro (NiMH)	60-120 Wh/kg	Larga vida, buena potencia, seguridad elevada, reciclaje conocido [19]	Menor energía que Li-ion, autodescarga alta, “efecto memoria”	Muy consolidada en HEV

Seguido de tabla...

<b>2008 → hoy</b>	Litio-ion NMC / NCA (cilíndrica, prisma, pouch)	150-260 Wh/kg	Alta densidad energética, carga rápida, madurez industrial [20]	Uso de cobalto y níquel (coste, ESG), riesgo térmico requiere BMS	Estándar actual en BEV
<b>2013 → hoy</b>	Litio-ion LFP	90-160 Wh/kg	Muy segura (sin cobalto), ciclo de vida largo, coste bajo [21]	Menor autonomía que NMC/NCA, peor rendimiento a baja T.	Rápida expansión; ya >60% de la producción china
<b>2025 → inicio comercial (pilotos)</b>	Batería sólida (electrolito sólido sulfuro, óxido o polímero)	375-450 Wh/kg en celdas de validación	+70% de energía vs. Li-ion actual, carga 10-80% ≈10-15 min, mayor seguridad	Escala de fabricación, coste y ciclo de vida aún en desarrollo	Fase de pre-producción; llegada a mercado prevista 2027-30

(Tabla elaborada e investigación autoría propia)

#### 2.1.1.4 Características de la batería

Para comprender y comparar adecuadamente las baterías utilizadas en vehículos, es fundamental conocer los principales parámetros técnicos que definen su rendimiento, durabilidad y adecuación a distintas aplicaciones. Estos parámetros permiten evaluar no solo la energía y capacidad que puede entregar una batería, sino también su eficiencia, vida útil, velocidad de recarga y comportamiento bajo diferentes condiciones de uso. La siguiente tabla 2 resume y explica los conceptos clave más relevantes en la caracterización de baterías vehiculares.

**Tabla 2** Características batería

<b>Parámetro</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Importancia</b>	<b>Mejor Tecnología</b>
<b>Voltaje de Celda</b>	Voltaje nominal por celda individual según tecnología electroquímica[22].	Voltios (V)	Determina densidad energética del sistema	Litio-ion (3,6-4,0V)
<b>Estado de Carga (SOC)</b>	Porcentaje de energía disponible en relación con la capacidad máxima [22].	Porcentaje (%), Voltios (V)	Permite determinar nivel de carga mediante medición directa	LFP (mejor estabilidad)
<b>Profundidad de Descarga (DOD)</b>	Porcentaje máximo de capacidad que puede extraerse sin comprometer vida útil [22].	Porcentaje (%)	Crucial para longevidad y rendimiento óptimo	Baterías sólidas (95%)
<b>Energía Específica</b>	Cantidad de energía almacenada por unidad de masa (Wh/kg) [22].	Vatios-hora por kilogramo (Wh/kg)	Determinante en aplicaciones donde peso es crítico	Baterías sólidas (375-450 Wh/kg)
<b>Vida Útil en Ciclos</b>	Número de ciclos completos antes de reducir capacidad al 80% del valor original [22].	Número de ciclos	Indicador de durabilidad y costo total de propiedad	LFP (3000-6000 ciclos)
<b>Eficiencia Energética</b>	Porcentaje de energía recuperable durante descarga respecto a energía suministrada en carga [22].	Porcentaje (%)	Afecta autonomía y costo operativo del vehículo	Baterías sólidas (95-98%)
<b>Tiempo de Recarga</b>	Periodo necesario para alcanzar 80-100% de capacidad nominal con carga estándar [22].	Horas (h)	Impacta conveniencia y usabilidad del sistema	Baterías sólidas (0,5-2h)

(Tabla e investigación autoría propia)

### **2.1.2 Energía y combustibles en el Ecuador**

El Ecuador se encuentra en una encrucijada energética. Por un lado, posee una alta dependencia del petróleo, tanto para el consumo interno como para la exportación. Esto lo hace vulnerable a las fluctuaciones del precio del mercado internacional, generando inestabilidad económica y una fuerte dependencia externa. Las cifras lo demuestran: en 2022, las importaciones de derivados de petróleo ascendieron a USD 6644 millones, lo que representa el 31% de las importaciones totales del país [23].

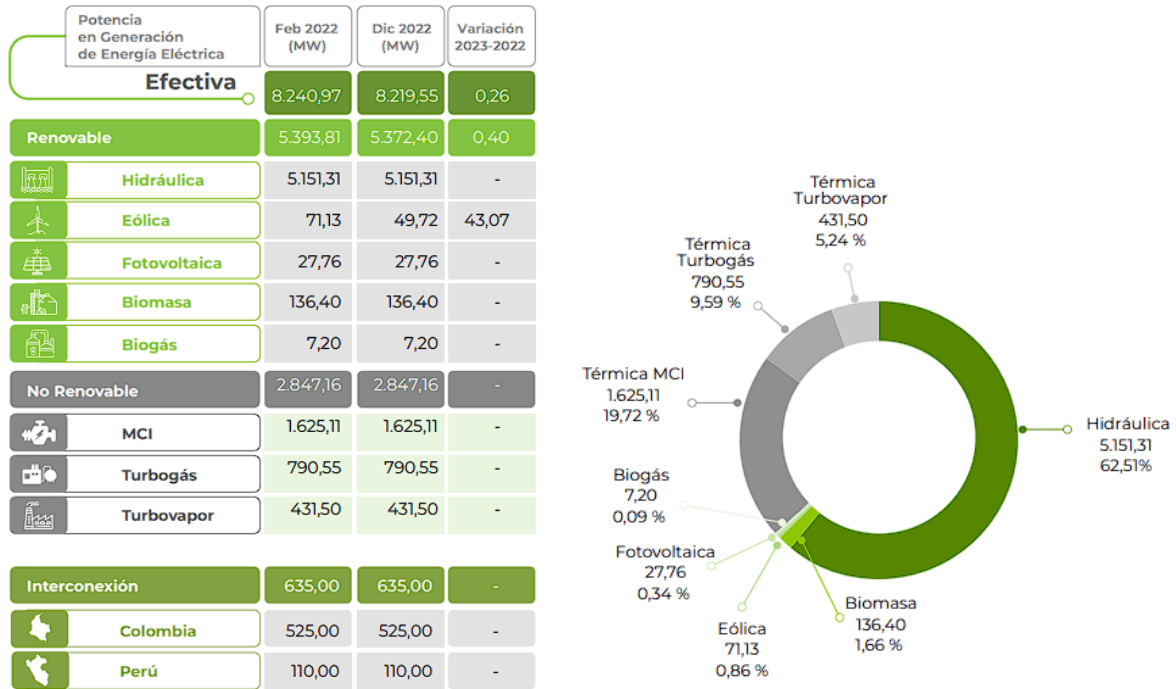
Además del impacto económico, la extracción, refinación y combustión del petróleo tienen un alto costo ambiental. La contaminación del aire, las emisiones de gases de efecto invernadero y el cambio climático son solo algunas de las consecuencias negativas de esta dependencia.

Afortunadamente, el Ecuador goza de un enorme potencial para generar energía a partir de fuentes renovables. La hidráulica la abundancia de recursos hídricos convierte al país en un referente para la generación de energía hidroeléctrica. Centrales como Paute, Mazar y Sopladora son ejemplos de este potencial [24].

También energía solar las extensas zonas con alta insolación, especialmente en la región de la Costa, hacen de la energía solar una alternativa atractiva [25]. Además de energía eólica zonas ventosas en la región Interandina, como Loja y Azuay, presentan un alto potencial para la generación de energía eólica[26].

Y biomasa los residuos agrícolas y forestales, abundantes en el país, pueden ser aprovechados para la producción de biogás y biocombustibles, diversificando aún más la matriz energética. En la figura 4 se presenta la generación de energía por tipo en el Ecuador.

**Figura 4** Potencia Generación de Energía Eléctrica Ecuador



(Informe Generación Energía ARCONEL, 2023, Capítulo 3 Generación Energía)

Se observa que la potencia efectiva total se mantuvo relativamente estable, alrededor de los 8200 MW, con una clara predominancia de las fuentes renovables, que constituyeron aproximadamente dos tercios de la capacidad total. Dentro de estas, la energía hidráulica es, con diferencia, la fuente principal, aportando consistentemente 5151,31 MW y representando más del 62% de la potencia efectiva, lo que subraya la gran dependencia y el aprovechamiento de los recursos hídricos nacionales. Aunque otras renovables como la fotovoltaica, biomasa y biogás mantuvieron su

capacidad, la energía eólica mostró una disminución notable de 71,13 MW a 49,72 MW entre febrero y diciembre de 2022 [27].

Por otro lado, las fuentes no renovables conservaron una capacidad de 2847.16 MW, siendo las térmicas de Motores de Combustión Interna, Turbo gas y Turbo vapor cruciales para la estabilidad y el respaldo del sistema, representando en conjunto cerca del 35% de la potencia. Finalmente, la capacidad de interconexión eléctrica con Colombia y Perú se mantuvo estable en 635 MW [28].

### 2.1.3 Vehículos de dos Ruedas

En los vehículos de dos ruedas llega a ser un vehículo de transporte más accesible y mucho más económico en lo que se refiere a costos de mantenimiento. Es por ello que a través de los años se ha ido incrementando la adquisición de motocicletas en Ecuador, a continuación, en la figura 5 se muestra las ventas anuales de motos en el Ecuador.

**Figura 5** Ventas anuales de motos Ecuador



(Anuario AEADE, 2024, pág. 105)

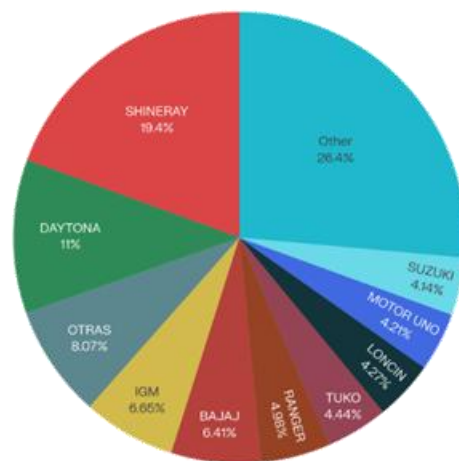
Inicialmente, el mercado presentó fluctuaciones, comenzando con 94864 unidades en 2014, descendiendo a un mínimo de 74212 en 2016 y recuperándose a 94350 en 2017. Posteriormente, se observó un crecimiento sostenido hasta 2019, alcanzando las 144727 unidades, aunque hubo un descenso a 130483 en 2020, posiblemente debido al impacto de la pandemia.

Sin embargo, el período postpandemia, de 2021 a 2024, ha sido testigo de una fuerte y constante expansión, con ventas que ascendieron a 169741 en 2021, 188288 en 2022 y 198531 en 2023, proyectándose un nuevo pico de 219280 unidades para 2024[29].

Solo entre enero y agosto de este 2024 se han comercializado 144180 motocicletas nuevas en el país, de acuerdo con los registros del Servicio de Rentas Internas (SRI), expone la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (Aeade) en su reciente boletín presentado a continuación:

**Tabla 3** Marcas de motos más vendidas Ecuador

Marcas	Unidades
SHINERAY	28.000
DAYTONA	15.842
IGM	9.583
BAJAJ	9.249
RANGER	7.187
TUKO	6.405
LONCIN	6.154
MOTOR UNO	6.072
SUZUKI	5.970
YAMAHA	5.600
HONDA	5.286
THUNDER	4.612
Z1	4.491
DUKARE	3.900
TUNDRA	3.350
FACTORY BIKE	2.716
SUKIDA	2.224
ICS	2.182
TVS	1.958
ZONGSHEN	1.770
OTRAS	11.629
<b>TOTAL</b>	<b>144.180</b>



(Boletín Enero-Agosto AEADE, 2024, pág. 24)

La marca Shineray ejerce una dominancia considerable, acaparando el 19,4% del mercado total con 28000 unidades. Esta cifra es casi el doble que la de su competidor más cercano, Daytona, que ostenta un 11,0% (15,842 unidades). Juntas, estas dos marcas controlan más del 30% del mercado total. Si extendemos el análisis a las cinco primeras marcas (Shineray, Daytona, IGM, Bajaj y Ranger), estas suman 70041 unidades, lo que representa el 48,6% del mercado.

### 2.1.4 Ciclos de Conducción WMTC

El World Motorcycle Test Cycle (WMTC), desarrollado por la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE/UNECE), constituye un protocolo estandarizado diseñado para cuantificar parámetros de consumo energético y emisiones contaminantes en motocicletas en función de variables temporales.

Al incluir fases de arranque en frío, el WMTC también permite una evaluación más completa del impacto de las emisiones. También permite saber el consumo de combustible y emisiones, establecer estándares de emisiones para motocicletas [30]. En la tabla 4 a continuación se muestran los parámetros del ciclo WMTC.

**Tabla 4** Parámetros Generales Ciclo WMTC

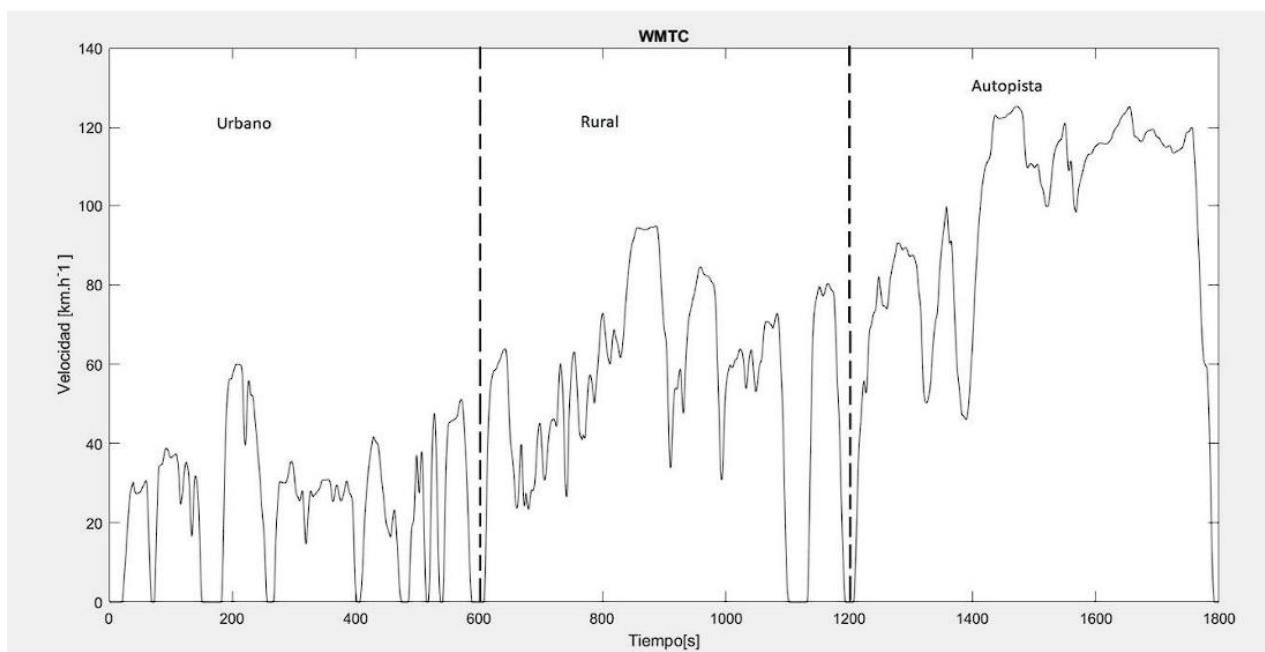
Fase	Duración (s)	Distancia (km)	Velocidad Media (km/h)	Perfil de Velocidad (km/h)
Urbana	600	4,1	24,4	0–60 (aceleraciones suaves)
Rural	600	9,1	54,7	50–95 (aceleraciones moderadas)
Autopista	600	15,7	94,4	70–125 (aceleraciones bruscas)

(UNECE WMTC, 2023, pág. 50)

En la figura 6 se presenta el diagrama del ciclo WMTC presenta un perfil de conducción estandarizado desarrollado mediante la integración de datos empíricos sobre patrones de operación real (aceleraciones, frenadas y velocidades características) y análisis estadísticos del uso global de motocicletas, conformando una base de datos representativa que permite evaluar emisiones y consumo energético bajo condiciones dinámicas homologadas[31].

Este ciclo, establecido en la regulación GTR No. 2 de la UNECE, supera los enfoques estáticos tradicionales al incorporar escenarios operativos urbanos, suburbanos y de carretera validados internacionalmente, siendo implementado en bancos de prueba mediante sistemas de medición certificados para garantizar la reproducibilidad de los resultados [32].

**Figura 6** Ciclo de conducción WMTC



(UNECE WMTC, 2023, pág. 61)

## 2.2 Normativa ecuatoriana de vehículos de dos ruedas

Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, esta ley aprobada en 2021, es el marco legal principal que regula el transporte terrestre en el Ecuador. En ella se establecen las normas generales para la circulación de vehículos, incluyendo motocicletas, ciclomotores y cuadrones[33].

Se regulan aspectos como la velocidad máxima permitida, la circulación por carriles, el adelantamiento y la señalización, se establece la obligatoriedad de utilizar casco homologado, cinturón de seguridad (para cuadrones) y otros elementos de protección personal. En el reglamento complementa la Ley Orgánica y detalla las normas específicas para la circulación, seguridad y control técnico de los vehículos de dos ruedas [34].

En lo referente a normativa y reglamento ecuatoriano de motocicletas tenemos el RTE INEN 136 (1R), el cual establece los requisitos que deben cumplir las motocicletas con la finalidad de proteger la vida y la seguridad de las personas, el ambiente y evitar las practicas que pueden inducir a error a los usuarios de las motocicletas[35].

Para certificación se exige cumplimiento mediante certificados y pruebas de laboratorio acreditadas, los requisitos mínimos para aprobación se muestran en la tabla 5 a continuación:

**Tabla 5** Requisitos Mínimos para Aprobación

Aspectos Clave	Requisitos y Rangos de Medición para Aprobación	Motivos de Rechazo
<b>Sistema de Frenos</b>	Conforme a NTE INEN 2558:2018. Frenado efectivo con recorrido de pedal/manillar $\leq$ especificado (normalmente $\leq$ 30-40 mm). Fuerza mínima de frenado: $\geq$ 30% de la fuerza máxima posible[36]. Prueba de frenado en dinamómetro con desaceleración uniforme.	Frenos con recorrido excesivo, pérdida de presión, desequilibrio entre frenos delantero y trasero, fallas en respuesta.
<b>Neumáticos</b>	Según RTE INEN 011: Profundidad mínima del dibujo $\geq$ 1,6 mm; presión recomendada por fabricante; sin cortes, deformaciones o desgaste irregular[37].	Dibujo inferior a 1.6 mm, neumáticos con daños visibles, presión incorrecta, neumáticos no homologados o incompatibles.
<b>Sistema de suspensión</b>	Según NTE INEN 2559: Amortiguadores sin fugas de aceite; recorrido y respuesta dentro de especificaciones; sin ruidos anormales; capacidad de absorción de impactos adecuada[38].	Fugas de aceite, resortes rotos, amortiguadores sin respuesta o con ruidos, modificaciones no autorizadas.
<b>Dirección</b>	Conforme a NTE INEN 2557: Juego axial y radial máximo permitido $\leq$ 2 mm; sin ruidos o bloqueos; respuesta precisa al giro[39].	Juego excesivo ( $>$ 2 mm), ruidos, bloqueos parciales o totales, daños en componentes.

Seguido de tabla...

<b>Emisiones gaseosas</b>	Prueba estática en ralentí: CO $\leq 3.5\%$ volumen, HC $\leq 2000$ ppm (para motos modelo $\geq 2014$ ).	Emisiones superiores a los límites, ausencia de certificado de prueba, manipulación del sistema de escape o motor.
<b>Sistema de escape</b>	Resistencia a corrosión, sin bordes cortantes, distancia mínima al suelo $\geq 100$ mm, temperatura superficial $\leq 150$ °C, espacio suficiente para amortiguadores y conducciones.	Corrosión avanzada, bordes cortantes, distancia al suelo insuficiente, temperaturas peligrosas, fugas o daños.
<b>Demostración de conformidad</b>	Presentar certificado de conformidad emitido por organismo acreditado (SAE, MIPRO o reconocido internacionalmente); informes técnicos de inspección de emisiones y ruido.	Ausencia o invalidez del certificado, informes incompletos o no acreditados, incumplimiento de normativas vigentes.

(Investigación y elaboración tabla autoría propia)

### 2.3 Costo Total de Propiedad

En el ámbito vehicular, esta metodología ha sido ampliamente empleada por organismos internacionales como el International Council on Clean Transportation (ICCT), debido a su capacidad para comparar tecnologías convencionales y alternativas bajo un marco económico homogéneo y comparable.[40]. Según la definición de Bill Kirwin, analista de Gartner, el TCO representa "el costo total de adquirir, usar, gestionar y retirar un activo durante todo su ciclo de vida" [41].

Mientras que los vehículos eléctricos suelen tener un mayor costo de adquisición inicial, compensan esta diferencia con menores costos operativos. Por el contrario, los vehículos de combustión interna presentan precios iniciales competitivos, pero mayores costos acumulados[42].

El análisis del TCO cobra especial importancia debido a su uso intensivo en entornos urbanos y suburbanos, donde el kilometraje anual, los costes de energía o combustible, el mantenimiento y los seguros afectan significativamente al coste total[43]. Como se presenta la tabla a continuación:

<b>Componente del TCO</b>	<b>Descripción</b>
<i><b>Costo de adquisición</b></i>	Precio inicial del vehículo y costos administrativos necesarios para su puesta en operación [42].
<i><b>Costos de energía / combustible</b></i>	Gasto asociado al consumo energético durante el uso del vehículo [44].
<i><b>Mantenimiento</b></i>	Costos de servicios periódicos y reemplazo de componentes por desgaste[41].
<i><b>Seguro</b></i>	Costos obligatorios o voluntarios asociados a la protección del vehículo[41].
<i><b>Impuestos y tasas</b></i>	Costos regulatorios vinculados a la circulación del vehículo[41].
<i><b>Reemplazo de componentes</b></i>	Sustitución de elementos críticos, como baterías en vehículos eléctricos[41].

(investigación y elaboración de tabla autoría propia)

En esta investigación, el análisis del Costo Total de Propiedad se fundamenta en la metodología propuesta por el ICCT, considerando un horizonte de vida útil definido y un patrón de uso equivalente para ambas motocicletas. La expresión matemática fundamental del TCO se representa como:

$$\text{Ecu. 1} \quad TCO = C_{base} + C_{IVA} + C_{Insc} + C_{Mat} + C_{Ener} + C_{seg} + C_{mant} + C_{rep}$$

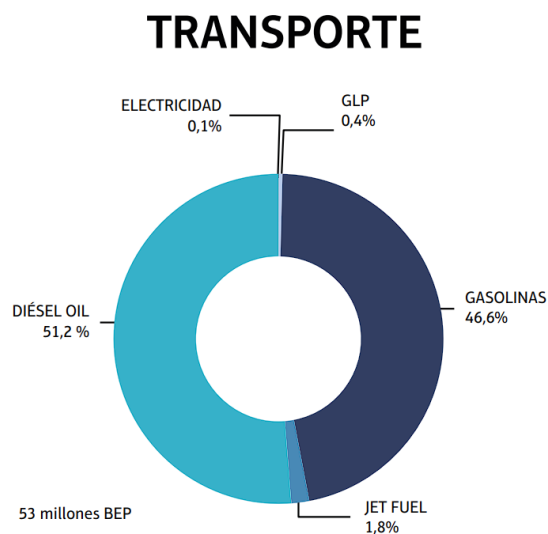
Donde:

- $C_{base}$ : precio base de adquisición del vehículo [USD]
- $C_{IVA}$ : impuesto al valor añadido aplicado al vehículo [USD]
- $C_{insc}$ : cuota de inscripción inicial [USD]
- $C_{Mat}$ : costo acumulado de matrícula durante la vida útil [USD]
- $C_{Ener}$ : costo acumulado de energía o combustible [USD]
- $C_{seg}$ : costo acumulado del seguro [USD]
- $C_{Mant}$ : costo acumulado de mantenimiento [USD]
- $C_{rep}$ : costo de reemplazo de componentes mayores, como la batería en el caso de la motocicleta eléctrica [USD]

## 2.4 Emisiones provenientes del transporte

El sector transporte en Ecuador es una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y contaminantes atmosféricos, lo que representa un desafío significativo para la salud ambiental y el cumplimiento de los compromisos climáticos del país. En la figura 7 se presenta el consumo de energía en 2023. Puede observarse que 97,8 % de la energía consumida por el sector transporte provino de diésel oil y gasolinas[45].

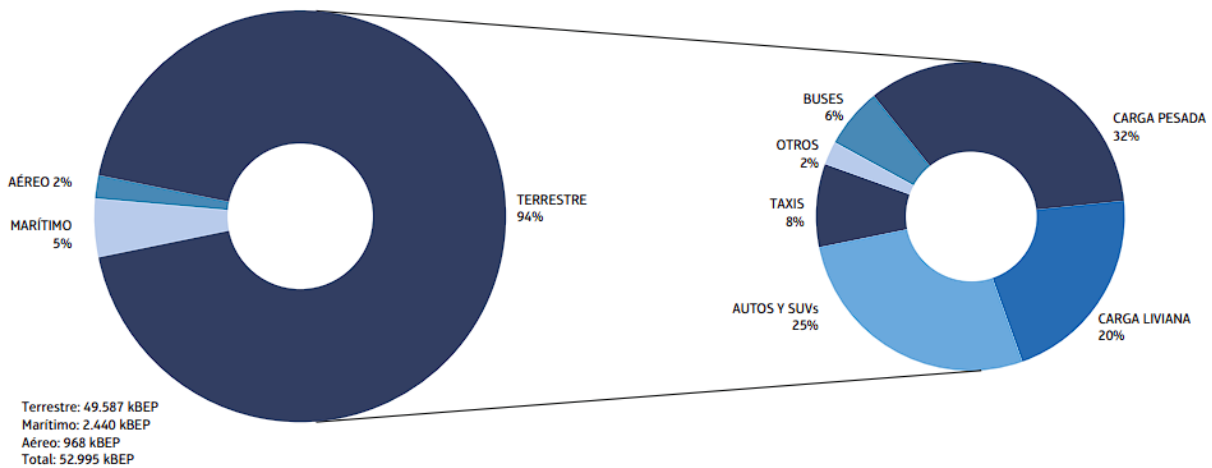
**Figura 7** Consumo de Energía Transporte



(Balance Energético de Recursos y Energía Ecuador, 2023, pág. 14)

Observamos que es mínimo el uso de gas licuado de petróleo, y en lo que refiere a electricidad apenas es el 0,1% del transporte en el Ecuador. El transporte terrestre presentó una demanda equivalente a 94 % del total, siendo el segmento de mayor participación el transporte de carga pesada con 32 %. Por su parte, el transporte marítimo consumió 5 % y el restante 2 % correspondió al consumo del transporte aéreo tal como se observa en la figura 9 a continuación:

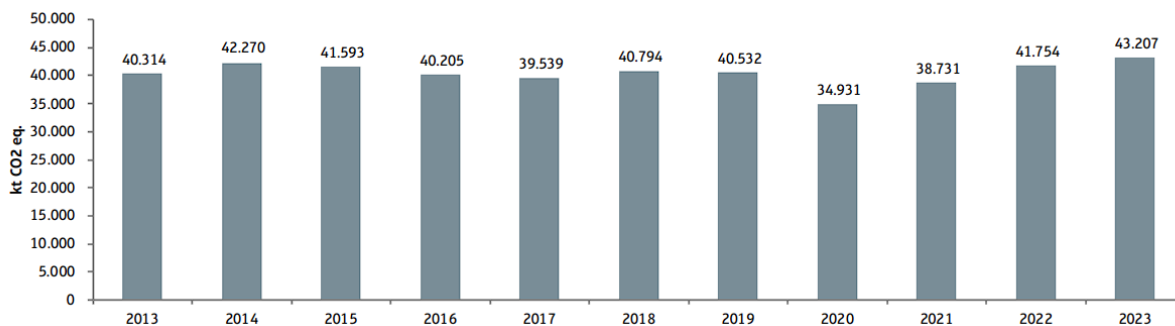
**Figura 8** Consumo por tipo de Transporte



(Balance Energético de Recursos y Energía Ecuador, 2023, pág. 15)

Como observamos en la figura 8 el sector terrestre contiene cerca de 49587 kBEP es el sector con más consumo, llega cerca del 94% una cifra bastante alta en comparación con los otros tipos de transporte[45]. Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, especialmente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), son responsables del calentamiento global y de sus consecuencias. Por esta razón, es fundamental monitorear la evolución de estas emisiones a lo largo del tiempo para diseñar políticas efectivas de mitigación y adaptación, en la figura 9 a continuación se observa la evolución de GEI a lo largo de los años.

**Figura 9** Gases de Efecto Invernadero por Año



(GEI balance y Energía Ecuador, 2023, pág. 20)

A lo largo de este periodo, se observa una tendencia general con fluctuaciones. En 2013 las emisiones fueron de 40,314 kton, aumentando en 2014 a 42,270 kton, su valor más alto hasta ese momento. Posteriormente, entre 2015 y 2019, las emisiones se mantuvieron relativamente estables, con ligeras variaciones que oscilaron entre los 39,539 kton y los 41,593 kton. En el año 2020 se registró una caída significativa hasta los 34,931 kton, probablemente como consecuencia de la disminución de la actividad económica a raíz de la pandemia por COVID-19. Sin embargo, desde 2021 las emisiones retomaron una tendencia ascendente, alcanzando los 43,207 kton en 2023, el valor más alto de toda la serie[45].

El sector transporte representa uno de los principales generadores de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, debido a su alta dependencia de combustibles fósiles. Su impacto ambiental es significativo, no solo por la magnitud de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sino también por la liberación de otros gases como el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) como observamos en la tabla 6 a continuación.

**Tabla 6** Emisiones de Gases De Efecto Invernadero por Tipo de Fuente

Fuente	1994	2000	2006	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2021	2022
Queroseno para motor de reacción	509,2	216,3	501,9	587,7	452,1	494,7	293,3	276,0	125,5	170,5	312,6
Gasolina para aviación	-	10,7	-	9,3	11,2	13,5	12,5	13,4	11,9	13,9	14,8
Gasolina para motores	3.964,1	3.822,2	4.116,6	5.683,7	6.439,4	7.096,0	8.062,3	8.520,0	6.957,8	9.237,6	9.466,8
Gas / Diesel Oil	3.984,2	3.647,6	5.735,3	6.513,0	7.412,0	8.822,3	9.582,3	10.524,0	8.729,1	10.240,1	10.870,2
Gases licuados de petróleo	-	-	-	33,0	30,8	32,4	19,0	16,5	20,4	35,8	80,5
Biogasolina	-	-	-	-	1,3	2,3	5,2	8,3	5,6	9,0	10,5
Fuelóleo residual	-	-	-	27,3	33,8	24,1	28,7	28,8	14,6	-	-
Petróleo crudo	251,0	323,9	288,5	390,0	407,3	440,8	429,1	447,2	454,9	437,8	426,6
<b>Total</b>	<b>8.708,5</b>	<b>8.020,8</b>	<b>10.642,3</b>	<b>13.244,1</b>	<b>14.787,8</b>	<b>16.926,0</b>	<b>18.432,4</b>	<b>19.834,2</b>	<b>16.319,7</b>	<b>20.144,7</b>	<b>21.182,1</b>

(DIN Gases efecto Invernadero Ecuador, 2022, pág. 100)

Esto evidencia la fuerte dependencia del transporte ecuatoriano hacia los combustibles fósiles, lo cual contribuye de manera notable a las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero y a la contaminación ambiental[45].

Aunque en los últimos años se observa la incorporación de combustibles alternativos como la biogasolina y los gases licuados de petróleo, su participación sigue siendo marginal frente a los derivados tradicionales del petróleo. Este patrón creciente demanda la implementación de políticas públicas orientadas a la diversificación de la matriz energética, la promoción de tecnologías más limpias y eficientes[46].

#### 2.4.1 Ciclo de vida del vehículo

La fabricación de un vehículo requiere la extracción y procesamiento de diversos materiales, como acero, aluminio, cobre, caucho y plásticos. Estas actividades generan emisiones de GEI, contaminación del aire y agua, y consumo de recursos naturales. El proceso de ensamblaje del vehículo implica el uso de energía, principalmente de fuentes fósiles, lo que genera emisiones de GEI y contaminantes atmosféricos [47].

Además, se generan residuos sólidos y líquidos, la operación del vehículo genera emisiones directas de GEI y contaminantes atmosféricos, que contribuyen al cambio climático, la degradación de la calidad del aire y problemas respiratorios[48].

La figura 10 representa el ciclo de vida, destacando cinco fases clave: extracción de materiales, fabricación y ensamblaje, logística, uso, y reciclaje o disposición final. Comprender este ciclo permite identificar oportunidades para reducir el impacto ambiental del vehículo.

**Figura 10** Ciclo de Vida



(IK Ingeniería, 2022)

Los vehículos están compuestos por varios sistemas fundamentales que permiten su funcionamiento. A continuación, se presenta en la tabla 7 las etapas del ciclo de vida desde la cuna hasta la tumba:

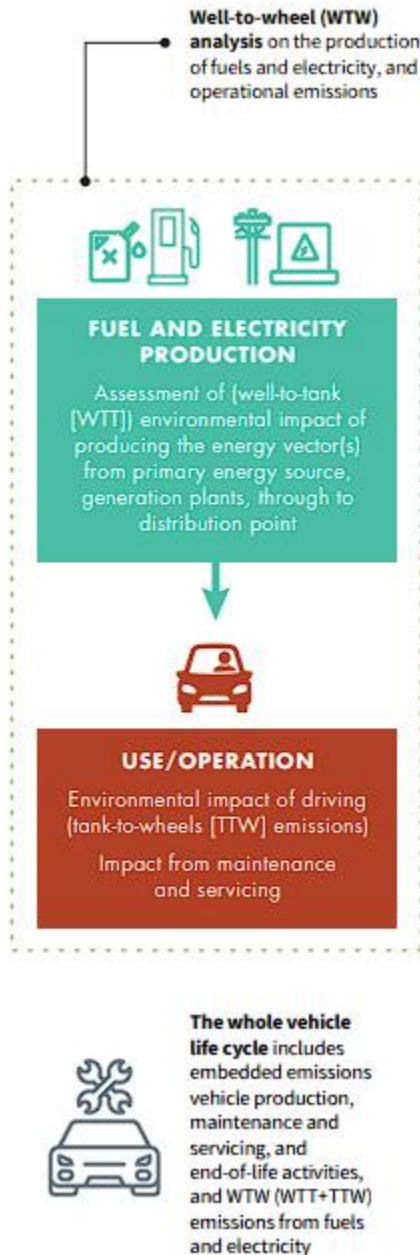
**Tabla 7** Etapas Ciclo de Vida

<b>Etapa</b>	<b>Descripción</b>
<i><b>Adquisición de materia prima</b></i>	Extracción y tratamiento de los materiales necesarios para fabricar componentes del vehículo, incluyendo minería de litio para baterías y producción de acero y aluminio para estructura [49].
<i><b>Fabricación de componentes</b></i>	Procesos industriales para convertir materias primas en piezas, como celdas de baterías de ion-litio, motor eléctrico y electrónica de potencia [50].
<i><b>Ensamblaje</b></i>	Integración de componentes en el producto final, abarcando montaje de tren motriz, carrocería y sistema eléctrico [51].
<i><b>Transporte y distribución</b></i>	Movilización de materiales y vehículo terminado desde fábricas hasta puntos de venta o usuario final, calculando emisiones de camiones y barcos por kilómetro recorrido.
<i><b>Uso y mantenimiento</b></i>	Consumo de electricidad o combustible durante la operación diaria, incluyendo recargas o repostajes y mantenimiento de sistemas de transmisión y baterías [52].
<i><b>Producción de combustible y electricidad</b></i>	Generación y entrega de energía necesaria, ya sea refinería de combustibles fósiles o mezcla del mix eléctrico nacional; incluye pérdidas en redes y refinerías[52].
<i><b>Fin de vida</b></i>	Gestión de baterías y materiales al término de su vida útil: reciclaje de metales, recuperación de electrolito y disposición de residuos peligrosos [53].

(Elaboración e Investigación autoría propia)

Cada etapa del ciclo de vida descrita en la tabla 7 el enfoque cuna-tumba donde hay flujos de energía y materiales, como puntos críticos donde se concentran las emisiones de gases de efecto invernadero, consumo de recursos y generación de residuos peligrosos, en la figura 11 presentada a continuación mediante un diagrama se explica mejor el ciclo de vida del vehículo.

**Figura 11** Ciclo de vida del vehículo



Este diagrama conceptualiza el análisis "del pozo a la rueda" (WTW), un método integral para evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas con los vehículos. El proceso se divide en dos fases principales: primero, la "Producción de Combustible y Electricidad", que representa el impacto ambiental desde la extracción de la fuente de energía primaria hasta su punto de distribución, conocida como la fase "del pozo al tanque" (WTT). Seguidamente, la fase de "Uso/Operación" del vehículo abarca el impacto ambiental directo de la conducción, referido como las emisiones "del tanque a la rueda" (TTW), e incluye también el impacto derivado del mantenimiento y servicio del vehículo. Además, el diagrama complementa esta visión con el concepto del "ciclo de vida completo del vehículo".

(Life Cycle Transportation Energy, 2022, pág. 33)

## **CAPITULO III**

### **3 Materiales y métodos**

En este capítulo se describen los materiales, herramientas y procedimientos empleados para el desarrollo de la investigación. Se detallan las motocicletas analizadas, los equipos utilizados para la medición de variables técnicas y energéticas, así como el método seguido para la recolección y procesamiento de los datos.

#### **3.1 Materiales**

Este capítulo documenta los materiales, metodologías y protocolos experimentales implementados en la investigación para alcanzar los objetivos establecidos. Incluye: caracterización detallada de la motocicleta eléctrica y de combustión interna, procedimientos de ensayo estandarizados y análisis comparativo de costos totales de adquisición. Adicionalmente, se especifican los parámetros operacionales empleados durante la ejecución del ciclo bajo condiciones reales de conducción, garantizando la validez técnica de los resultados obtenidos.

### 3.1.1 Moto Eléctrica Super Soco TC MAX

Para esta investigación se utilizó la motocicleta SuperSoco TC MAX, debido a sus características técnicas, la incorporación de un puerto DLC (Data Link Connector) para diagnóstico vehicular mediante escáner OBD-II, funcionalidad disponible únicamente en mercados selectos y que facilita el monitoreo remoto de parámetros de operación. Esta configuración particular resultó idónea para los requerimientos metodológicos del estudio.

**Figura 12** Moto Eléctrica SuperSoco TC Max



(Manual Técnico Supersoco TCMáx, 2020)

En la figura 12 se muestra la Super Soco TC Max es una motocicleta eléctrica urbana de fabricación china, con capacidad para dos ocupantes, equipada con un motor eléctrico Bosch y batería de iones de litio Panasonic. Su tablero digital incluye un tacómetro que muestra parámetros operativos clave como el estado de carga (SOC), temperatura del sistema y velocidad en tiempo real, características que la convierten en una solución óptima para la movilidad urbana sostenible.

**Tabla 8** Ficha técnica de la moto eléctrica super soco TC MAX (manual SuperSoco)

<b>SuperSoco TCMAX</b>	<b>Característica</b>	<b>Parámetro</b>
<b>CAPACIDAD</b>	Velocidad máxima	90 km/h
	Autonomía	110 km (1 batería)
	Peso	113 kg
	Distancia entre ejes	1320 mm
	Carga máxima	160 kg
<b>BATERÍA</b>	Fabricante	Panasonic
	Tipo de batería	Celdas de litio
	Fuente de alimentación	72 V
	Capacidad	45 Ah
	Carga	5h a 6h
	Cargador	110 V - 60 V/4Ah
<b>MOTOR</b>	Potencia máxima	4500 W
	Tipo de motor	Central con correa
	Fabricante	Bosch
	Controlador	Control preciso de par y velocidad
	Max Torque	180 Nm

### 3.1.2 Moto Combustión Benelli TNT 25N

La Benelli TNT 25N es una motocicleta urbana-deportiva de fabricación italiana (del grupo chino Qianjiang), diseñada para ofrecer agilidad y rendimiento en entornos urbanos y carreteras secundarias.

**Figura 13** *Moto Combustión Benelli TNT 25N*



(Manual Técnico Benelli TNT25N, 2017)

Con capacidad para dos ocupantes, está equipada con un motor mono cilíndrico de 249 cc refrigerado por aire, tecnología de inyección electrónica y un chasis tubular de acero que garantiza robustez y maniobrabilidad. Su tablero digital incluye indicadores clave como el tacómetro, velocímetro, nivel de combustible y temperatura del motor, brindando información en tiempo real para una conducción segura y dinámica.

**Tabla 9 Especificaciones Técnicas Benelli TNT 25N**

<b>Benelli TNT 25N</b>	<b>Características</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>
<b>Capacidad</b>	Velocidad máxima	160	km/h
	Autonomía	300	km/tanque lleno
	Peso	157,75	kg
	Distancia entre ejes	1370	mm
	Carga Máxima	150	kg (con piloto)
<b>Motor</b>	Tipo de Motor	mono-cilindro 4T	
	Cilindrada	249	cc
	Potencia Máxima	29	CV
	Torque máximo	21	Nm
	sistema de alimentación	inyección electrónica	
	Encendido	Digital	CDI
<b>Transmisión</b>	Tipo	Cadena	
	Embrague	Multidisco	
	Cambio	6 velocidades	
<b>Chasis</b>	Tipo De Chasis	Tubular de Acero	
	Suspensión Delantera	Horquilla Invertida	
	Suspensión Trasera	Mono amortiguador	
	Frenos Delanteros	Disco Simple	
	Frenos Traseros	Disco Simple	
<b>Dimensiones</b>	Altura del Asiento	780	mm
	Capacidad De Tanque	14	l
<b>Neumáticos</b>	Delantero	110/70-17	
	Trasero	140/60-17	
<b>Electrónica</b>	Sistema de luces	LED	
	Instrumentación	Panel digital	

### 3.1.3 Canedge2 (Datalogger)

En la figura 14 se muestra el equipo es un dispositivo electrónico diseñado para registrar, almacenar y transmitir datos de geolocalización y las variables de velocidad, aceleración, tiempo, entre otros. Durante la operación de un vehículo, el equipo captura coordenadas geográficas mediante señales de satélite GPS. El registro de intervalos configurable es de 1Hz – 10 Hz.

**Figura 14** Can Edge (Data Logger)



### 3.1.4 Sistema de Adquisición de Datos ELM327

El ELM327 es un microcontrolador y dispositivo electrónico diseñado para actuar como interfaz entre la computadora de diagnóstico a bordo (OBDII) de un vehículo y dispositivos externos, como smartphones, tablets o computadoras. Permite leer y borrar códigos de error, visualizar datos en tiempo real de sensores y sistemas del motor, y monitorear otros parámetros del vehículo a través de aplicaciones compatibles.

**Figura 15** ELM327



## **3.2 Métodos**

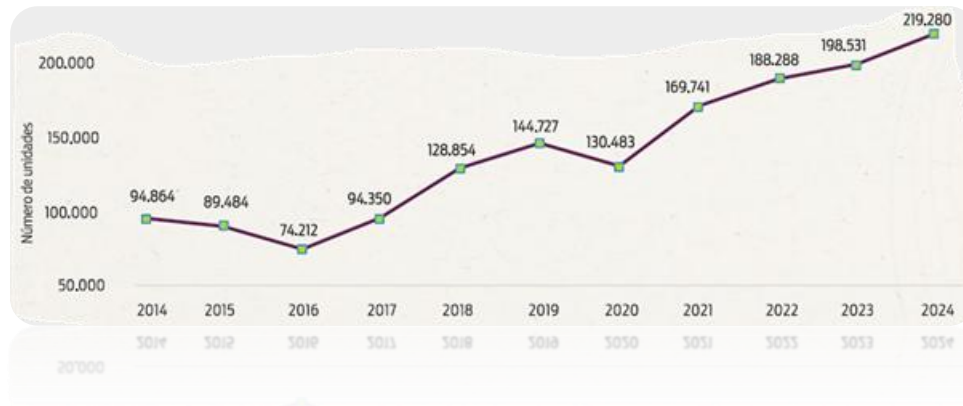
En este capítulo se presenta la ruta en condiciones reales de operación, las metodologías destinadas a la obtención del costo total de adquisición y el ciclo de vida. Se presenta el procedimiento para la selección de rutas que pasen por los puntos de atracción de la ciudad, con el fin de que sea un procedimiento aplicable a diferentes tipos de vehículos.

### **3.2.1 Análisis de mercado selección de modelo combustión interna**

El mercado de motocicletas en Ecuador ha mostrado un crecimiento constante, consolidándose como una de las soluciones de movilidad más utilizadas por la población. Este comportamiento se explica por factores como su bajo costo de adquisición, facilidad de mantenimiento, autonomía adecuada para desplazamientos urbanos y la creciente demanda de medios de transporte individuales. Para seleccionar la motocicleta de combustión, fue necesario analizar el comportamiento del mercado, las tendencias de consumo y la disponibilidad.

Durante 2024 y 2025, las ventas de motocicletas alcanzaron cifras históricas. Según datos reportados por AEADE y estimaciones basadas en el crecimiento del sector, el país superó las 200.000 unidades vendidas en 2024 que se tenía previsto, mientras que para 2025 se proyecta un incremento superior al 40 % [29].

**Figura 16** Ventas Anuales Motocicletas



(Gráfica extraída informe anual AEADE, 2024)

La figura muestra el incremento en la comercialización de motocicletas a lo largo de los años, evidenciando un crecimiento significativo del mercado nacional. Datos basados en reportes de AEADE (2024) y proyecciones estimadas para 2025 [29].

El mercado ecuatoriano está dominado por las motocicletas de combustión interna, especialmente con cilindrada entre 125 cc y 250 cc, debido a su disponibilidad económica y disponibilidad de repuestos. A continuación, se presentan las marcas líderes en ventas y los modelos más comercializados.

**Figura 17** Venta de Motos Por Marca

MARCA	2020	% participación 2020	2021	% participación 2021	2022	% participación 2022	2023	% participación 2023	2024	% participación 2024
SHINERAY	15.688	12,0%	21.087	12,4%	29.032	15,4%	35.228	17,7%	46.434	21,2%
DAYTONA	9.991	7,7%	14.603	8,6%	15.652	8,3%	17.658	8,9%	24.673	11,3%
IGM	6.919	5,3%	9.921	5,8%	13.598	7,2%	16.982	8,6%	15.709	7,2%
BAJAJ	8.018	6,1%	11.741	6,9%	11.327	6,0%	11.454	5,8%	12.498	5,7%
RANGER	11.901	9,1%	13.658	8,0%	13.515	7,2%	10.697	5,4%	10.311	4,7%
TUKO	6.205	4,8%	7.359	4,3%	9.402	5,0%	8.236	4,1%	10.234	4,7%
SUZUKI	10.223	7,8%	9.785	5,8%	9.837	5,2%	7.674	3,9%	9.563	4,4%
LONCIN	3.768	2,9%	4.835	2,8%	7.379	3,9%	7.423	3,7%	9.337	4,3%
MOTOR UNO	7.196	5,5%	8.684	5,1%	7.561	4,0%	7.806	3,9%	8.949	4,1%
YAMAHA	6.107	4,7%	8.597	5,1%	7.793	4,1%	8.030	4,0%	8.600	3,9%
HONDA	5.278	4,0%	5.839	3,4%	7.241	3,8%	7.581	3,8%	7.631	3,5%
THUNDER	2.801	2,1%	3.474	2,0%	6.673	3,5%	5.192	2,6%	7.128	3,3%
DUKARE	5.245	4,0%	5.600	3,3%	6.366	3,4%	5.748	2,9%	5.609	2,6%

(Tabla extraída de AEADE, 2024)

En la figura 17 la evolución de ventas entre 2020 y 2024 muestra un crecimiento sostenido del mercado motociclista ecuatoriano, con un fuerte predominio de marcas de bajo costo, especialmente de origen chino. Shineray encabeza el mercado con crecimientos constantes año tras año, consolidándose como la marca preferida por su combinación de precio, disponibilidad y uso extendido en actividades laborales y urbanas.

Con base en el análisis del mercado y en el cumplimiento de identificar un modelo para la motocicleta combustion interna se seleccionó, la Benelli TNT 25N que se encuentra dentro del segmento de 250cc y motocicleta china, su bajo costo de mantenimiento y el modelo que es utilizado en entornos urbanos, además que posee características técnicas similares a la motocicleta eléctrica, como en su precio de adquisición, potencia, peso entre otros. Características que favorecen a que la comparación sea igualitaria.

### 3.2.2 Costo total de propiedad

Es un enfoque de análisis económico que permite estimar el costo real asociado a la adquisición y uso de un vehículo durante toda su vida útil. A diferencia de las valoraciones basadas únicamente en el precio de compra, el TCO incluye costos que ocurren a lo largo del tiempo, como el consumo de energía o combustible, mantenimiento, seguros, impuestos y otros gastos asociados con la operación de un vehículo.

Varias organizaciones internacionales han propuesto métodos estandarizados de cálculo del TCO para garantizar una comparación uniforme entre diferentes tipos de vehículos. Entre estas propuestas, destaca la metodología desarrollada por el International Council on Clean Transportation (ICCT), la cual estructura el TCO mediante la desagregación de los costos en componentes claramente definidos, tales como los costos de adquisición, los costos asociados al uso de energía y los costos de operación y mantenimiento. Este enfoque considera además un horizonte temporal de análisis y un patrón de uso representativo, lo que permite evaluar el comportamiento económico del vehículo a lo largo de su vida útil [54].

La metodología del ICCT ha sido ampliamente utilizada en estudios de movilidad sostenible debido a su claridad conceptual y a su aplicabilidad en distintos contextos geográficos. Su enfoque facilita la comparación entre vehículos eléctricos y de combustión interna bajo condiciones equivalentes de uso, permitiendo identificar no solo las diferencias en el costo inicial, sino también el peso relativo de los costos operativos en el largo plazo.

### 3.2.2.1 Recolección de datos base

Los datos presentados en la Tabla 10 constituyen los parámetros base utilizados para el cálculo del Costo Total de Propiedad (TCO), conforme a la metodología del International Council on Clean Transportation (ICCT). Estos valores permiten estimar los costos en un horizonte de 12 años.

**Tabla 10** Datos TCO

<b>Parámetros editables</b>	<b>Super Soco TC Max</b>	<b>Benelli TNT 25N</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fuente/Observación</b>
Precio inicial (USD)	<b>4000</b>	<b>4020</b>	USD	Precios mercado local 2024 – AEADE 2024 [55].
Vida útil (años)	<b>12</b>	<b>12</b>	años	Vida útil vehiculo – ICCT [56]
Kilometraje anual (km)	<b>8300</b>	<b>8300</b>	km	Uso urbano promedio – ICCT [56]
Consumo por km	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	kWh/km y L/km	Especificaciones técnicas/ Perfil de Conducción
Precio energía & combustible	<b>0,10</b>	<b>0,75</b>	USD/kWh & USD/L	Tarifa CELEC 2024 [57]/ Petroecuador 2024[58].
Mantenimiento anual (USD)	<b>100</b>	<b>200</b>	USD	Estimación talleres – estudio de factibilidad para implementación de servicio [59]
Seguro anual (USD)	<b>85</b>	<b>150</b>	USD	Seguros Zurich precio básico [60] .
Matrícula/impuestos anuales	<b>50,70</b>	<b>63</b>	USD	ANT Ecuador [61].
Batería	<b>1600</b>	<b>40</b>	USD	Mercado Local.

El costo del seguro para motocicletas en Ecuador se determinó a partir de cotizaciones de aseguradoras locales en seguros Zurich, Freeway y latina seguros, donde se observó que una motocicleta eléctrica de uso urbano presenta un costo anual de seguro aproximadamente entre 85 y 150 USD [60].

### 3.2.2.2 Modelo matemático aplicado

El cálculo del Costo Total de Propiedad (TCO) se realizó siguiendo la metodología propuesta por el *International Council on Clean Transportation* (ICCT), la cual considera el TCO como la suma de los costos acumulados asociados a la adquisición, operación y mantenimiento del vehículo durante su vida útil. A diferencia de modelos financieros basados en la actualización del valor del dinero en el tiempo, este enfoque permite una comparación directa entre diferentes tecnologías bajo condiciones de uso equivalentes.

**Tabla 11** Ecuaciones para el cálculo TCO

<b>Concepto</b>	<b>Formula</b>
Precio base de adquisición	<b>Ecu. 2</b> $C_{base} = \text{precio de adquisición}$
Impuesto al valor añadido	$C_{IVA} = C_{base} * 15\%$
Costo de inscripción inicial	<b>Ecu. 3</b> $C_{insc} =$ <i>costo unico de inscripción del vehículo</i>
Costo de matrícula acumulado	<b>Ecu. 4</b> $C_{mat} = C_{mat,anual} * vida_{\acute{u}til}$
Kilometraje total	<b>Ecu. 5</b> $Km_{total} = Km_{anual} * vida_{\acute{u}til}$
Costo acumulado de energía/ combustible	<b>Ecu. 6</b> $C_{ener} = \left(\frac{cons}{100}\right) * Km_{total} * P_{ener}$
Costo acumulado de seguro	<b>Ecu. 7</b> $C_{seg} = C_{seg,anual} * vida_{\acute{u}til}$
Costo acumulado de mantenimiento	<b>Ecu. 8</b> $C_{mant} = C_{mant,anual} * vida_{\acute{u}til}$
Costo de reemplazo de batería	<b>Ecu. 9</b> $C_{rep} = \text{precio de batería}$

(elaboración de tabla autoría propia)

**Donde:**

- **TCO:** Costo Total de Propiedad [USD]
- **C<sub>base</sub>:** Precio base de adquisición del vehículo [USD]
- **C<sub>IVA</sub>:** Impuesto al Valor Añadido [USD]
- **T<sub>IVA</sub>:** Tasa de IVA aplicada
- **C<sub>insc</sub>:** Cuota de inscripción inicial [USD]
- **C<sub>mat</sub>:** Costo acumulado de matrícula [USD]
- **C<sub>ener</sub>:** Costo acumulado de energía eléctrica o combustible [USD]
- **C<sub>seg</sub>:** Costo acumulado de seguro [USD]
- **C<sub>mant</sub>:** Costo acumulado de mantenimiento [USD]
- **C<sub>rep</sub>:** Costo de reemplazo de batería (**solo motocicleta eléctrica**) [USD]
- **Cons:** Consumo específico (**kWh/100 km o L/100 km**)
- **Km<sub>anual</sub>:** Kilometraje anual [**km/año**]
- **Km<sub>tot</sub>:** Kilometraje total durante la vida útil [**km**]
- **Vida<sub>útil</sub>:** Vida útil del vehículo [**años**]
- **P<sub>ener</sub>:** Precio de la energía o combustible [**USD/kWh o USD/L**]

Para facilitar los cálculos con las fórmulas mencionadas anteriormente se procedió a usar la aplicación Excel que mediante una tabla de recolección de datos que se muestra en la tabla 11 nos ayuda a determinar el TCO y la comparación de estas dos motocicletas cabe agregar que se hicieron graficas comparativas de las motocicletas mencionadas.

### **3.2.3.1 Análisis Ciclo de Vida**

Es una metodología sistemática y estandarizada utilizada para evaluar el impacto ambiental de un producto, proceso o servicio durante todas las etapas de su existencia. Esta herramienta permite cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales asociados con cada fase del ciclo de vida de un producto, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final.

Mediante el uso de los factores, se procede a utilizar las siguientes fórmulas para calcular, las emisiones en fabricación, las emisiones en uso, las emisiones en mantenimiento y emisiones batería.

**Tabla 12** Formulas Ciclo De Vida

<b>Concepto</b>	<b>Fórmula</b>
<i>Emisiones de Fabricación Vehículo</i>	<b>Ecu. 10</b> $E_{fab} = \text{Peso}_{vehículo} * FE_{fab}$
<i>Emisiones de Fabricación Batería</i>	<b>Ecu. 11</b> $E_{bat} = \text{Capacidad}_{batería} * FE_{bat}$
<i>Energía eléctrica total</i>	<b>Ecu. 12</b> $E_{totalE} = \text{Consumo}_{kWh/100 km} * \frac{Km_{total}}{100}$
<i>Emisiones de uso eléctrico útil (WTW)</i>	<b>Ecu. 13</b> $E_{uso-elec} = E_{totalE} * FE_{elec}$
<i>Emisiones por pérdida de transmisión y distribución</i>	<b>Ecu. 14</b> $E_{T\&D} = E_{uso-elec} * \%T\&P$
<i>Emisiones perdidas de carga</i>	<b>Ecu. 15</b> $E_{carga} = E_{uso-elec} * \%eficiencia\ carga$
<i>Combustible total utilizado</i>	<b>Ecu. 16</b> $L_{totalComb} = \text{Consumo}_{L/100km} * \frac{Km_{total}}{100}$
<i>Masa de combustible</i>	<b>Ecu. 17</b> $m = L_{totalComb} * p_{gasolina}$

Seguido de tabla...

<i>Energía del combustible</i>	<b>Ecu. 18</b> $E_{MJ} = m * PCI$
<i>Emisiones por extracción y refinación</i>	<b>Ecu. 19</b> $E_{E\&R} = E_{MJ} * FE_{E\&R}$
<i>Emisiones de Uso (Combustión)</i>	<b>Ecu. 20</b> $E_{uso-combustion} = E_{MJ} * FE_{combustion}$
<i>Emisiones de Mantenimiento</i>	<b>Ecu. 21</b> $E_{mant} = Km_{total} * FE_{mant}$
<i>Emisiones Totales</i>	<b>Ecu. 22</b> $E_{total} = E_{fab} * E_{bat} * E_{uso} * E_{mant}$
<i>Emisiones por Kilómetro</i>	<b>Ecu. 23</b> $E_{km} = \frac{E_{total} * 1000}{km_{total}}$
<i>Reducción Porcentual</i>	<b>Ecu. 24</b> $Reducción_{\%} = \left( \frac{E_{comb} - E_{elec}}{E_{Comb}} \right) * 100$

(Investigación y elaboración de tabla autoría propia)

Leyenda de variables

**E<sub>fab</sub>** = emisiones de fabricación [tCO<sub>2</sub>]

**E<sub>bat</sub>** = emisiones de batería [tCO<sub>2</sub>]

**E<sub>uso-elec</sub>** = emisiones de uso eléctrico [tCO<sub>2</sub>]

**E<sub>t&d</sub>** = emisiones por pérdida de transferencia y distribución [tCO<sub>2</sub>]

**E<sub>carga</sub>** = emisiones por pérdida de carga [tCO<sub>2</sub>]

**L<sub>totalcomb</sub>** = combustible total utilizado [L]

**E<sub>MJ</sub>** = energía del combustible [MJ/kg]

$E_{\text{uso-combustion}}$  = emisiones de uso combustión [tCO<sub>2</sub>]

$E_{\text{mant}}$  = emisiones de mantenimiento [tCO<sub>2</sub>]

$E_{\text{total}}$  = emisiones totales [tCO<sub>2</sub>]

$E_{\text{km}}$  = emisiones por kilómetro [gCO<sub>2</sub>/km]

### 3.2.3.2 Caracterización de Componentes

En esta sección se explica la estructura que conforma cada una de las motocicletas, la motocicleta se divide en varios ensamblajes que comprende 12 caracterizaciones las cuales incluyen, accesorios, batería, chasis, frenos y ruedas, componentes eléctricos, mecatrónica, motor, dirección y transmisión, suspensión y neumáticos.

### 3.2.3.3 Accesorios

Los accesorios incluyen partes que no se mueven o no proporcionan resistencia mecánica a la motocicleta. Incluyen el asiento, las cubiertas de la carrocería, los puños y los guardabarros. Estos componentes se componen principalmente de plástico y algún otro material.

**Tabla 13** *Accesorios*

<b>Categoría</b>	<b>Componente</b>	<b>SuperSoco TC Max</b>	<b>Benelli TNT 25N 2017</b>	<b>Peso SuperSoco (kg)</b>	<b>Peso Benelli (kg)</b>
<b>1. Accesorios</b>	Sistema de iluminación	Luces LED inteligentes con adaptación automática	Faros halógenos delanteros, LED traseros	1,50	2,20
	Conectividad	Puerto USB para carga, conectividad por app	No disponible	0,30	0
	Almacenamiento	Compartimento extraíble	Almacenamiento bajo asiento básico	1,20	0,80
	Sistema de seguridad	Sistema de alarma antirrobo integrado	Luces de emergencia, switch de parada	0,50	0,30
	Extras	Pantalla LCD retroiluminada, cargador portátil	Panel digital básico, bocina	0,80	0,50

La tabla 13 compara los componentes de la categoría "Accesorios", desglosándolos en subcategorías como Sistema de Iluminación, Conectividad, Almacenamiento, Sistema de Seguridad y Extras, y especificando el peso de cada uno en ambas motocicletas.

### 3.2.3.4 Batería/Sistema Energético

La siguiente tabla presenta una comparación detallada entre el sistema energético de dos motocicletas, el análisis se centra en el componente de batería o sistema energético, considerando aspectos clave como el tipo de batería o combustible, capacidad energética, sistema de gestión, características particulares y tiempos de carga o repostaje.

**Tabla 14** *Batería/sistema energético*

<b>Categoría</b>	<b>Componente</b>	<b>SuperSoco TC Max</b>	<b>Benelli TNT 25N 2017</b>	<b>Peso SuperSoco (kg)</b>	<b>Peso Benelli (kg)</b>
<b>2. Batería/Sistema Energético</b>	Tipo	Batería de iones de litio 72V, 45Ah	Batería convencional 12V 6-8Ah + tanque combustible	22	3,5
	Capacidad	3,24 kWh	17 litros de combustible	0	12,75
	Gestión	BMS con algoritmo SOC avanzado	Sistema de inyección electrónica Delphi	1	2,80
	Características	Extraíble, resistente al agua IP65	Mantenimiento mínimo, instalación fija	0,50	1,20
	Sistema de carga/repostaje	8-9 horas estándar, 5 horas rápida	2-3 minutos repostaje	0,80	0,50

En la tabla 14 la Super Soco emplea una batería de iones de litio ATL de 72V y 45Ah, la Benelli junto con un tanque de combustible de 17 litros. La Super Soco tiene una capacidad de 3,24 kWh, mientras que la Benelli opera con base en su reserva de combustible

### 3.2.3.4 Chasis

Se presenta la tabla 15 comparativa detallada de los componentes del chasis entre dos motocicletas. La tabla desglosa las características de construcción, rigidez, subchasis y protecciones para cada modelo.

**Tabla 15 Chasis**

<b>Categoría</b>	<b>Componente</b>	<b>SuperSoco TC Max</b>	<b>Benelli TNT 25N 2017</b>	<b>Peso SuperSoco (kg)</b>	<b>Peso Benelli (kg)</b>
<b>3. Chasis</b>	Construcción	Estructura dual: acero carbono + aleación aluminio T6	Chasis tubular de acero	18,50	22
	Subchasis	Aluminio integrado	Acero soldado	3,20	4,80
	Protecciones	Guardabarros integrados	Protecciones básicas	1,80	2,10

En la tabla 15 se destaca que la SuperSoco utiliza una construcción híbrida de acero al carbono y aluminio T6, resultando en un chasis principal, subchasis y protecciones significativamente más ligeras en comparación con el chasis tubular de acero y subchasis de acero soldado de la Benelli.

### 3.2.3.5 Frenos y Ruedas

Se presenta una comparativa detallada de los sistemas de frenos y las características de las ruedas entre dos modelos de motocicletas: la SuperSoco TC Max y la Benelli TNT 25N 2017. Esta tabla desglosa los componentes clave, sus especificaciones y pesos.

**Tabla 16** *Frenos y Ruedas*

<b>Categoría</b>	<b>Componente</b>	<b>SuperSoco TC Max</b>	<b>Benelli TNT 25N 2017</b>	<b>Peso SuperSoco (kg)</b>	<b>Peso Benelli (kg)</b>
<b>4. Frenos y Ruedas</b>	Freno delantero	Disco 240 mm con pinza Brembo	Disco 280 mm	2,10	2,80
	Freno trasero	Disco 240 mm con CBS	Disco 220-240 mm	1,80	2,20
	Ruedas delanteras	17" aleación ligera	17" aleación estándar	3,20	4,10
	Ruedas traseras	17" aleación ligera	17" aleación estándar	3,80	4,90
	Sistema especial	EABS (frenado regenerativo)	Sistema convencional	0,50	0

La SuperSoco TC Max, con un peso total más ligero en este apartado, destaca por su freno delantero con pinza y la incorporación de un sistema EABS (frenado regenerativo), una característica avanzada que no está presente en la Benelli, la cual utiliza un sistema de frenado convencional.

### 3.2.3.6 Componentes Eléctricos

La Tabla 17 muestra una comparación detallada de los componentes eléctricos del SuperSoco TC Max y el Benelli TNT 25N 2017. Esta tabla destaca aspectos críticos como la arquitectura del sistema, el controlador, el cableado, los sensores y la presencia del generador.

**Tabla 17** *Componentes Eléctricos*

<b>Categoría</b>	<b>Componente</b>	<b>SuperSoco TC Max</b>	<b>Benelli TNT 25N 2017</b>	<b>Peso SuperSoco (kg)</b>	<b>Peso Benelli (kg)</b>
<b>5. Componentes Eléctricos</b>	Arquitectura	Sistema 72V con protección IP65	Sistema 12V convencional	2,30	1,80
	Controlador	Controlador de motor integrado	ECU Delphi para inyección	1,50	1,20
	Cableado	Resistente al agua y polvo	Cableado estándar	1,80	2,10
	Sensores	Sensores de torque, temperatura, BMS	Sensores básicos de motor e inyección	0,80	0,60
	Alternador/Generador	No requiere (sistema eléctrico)	Alternador convencional	0	2,50

Lo más destacado es la arquitectura de la SuperSoco, un "Sistema 72V con protección IP65", que indica una alta tensión y resistencia al agua y polvo, con un peso de 2,3 kg. En contraste, la Benelli utiliza un "Sistema 12V convencional" con un peso de 1,8 kg. La SuperSoco incorpora un "Controlador de motor integrado", mientras que la Benelli usa una "ECU Delphi para inyección".

### 3.2.3.7 Electrónica

En la tabla 18, se presenta una comparativa de los componentes electrónicos que definen la experiencia del usuario y la gestión del rendimiento en la SuperSoco TC Max y la Benelli TNT 25N 2017.

**Tabla 18** *Electrónica*

<b>Categoría</b>	<b>Componente</b>	<b>SuperSoco TC Max</b>	<b>Benelli TNT 25N 2017</b>	<b>Peso SuperSoco (kg)</b>	<b>Peso Benelli (kg)</b>
<b>6. Electrónica</b>	Dashboard	Pantalla LCD con SOC, autonomía, modos	Panel digital-analógico combinado	0,80	0,60
	Modos de conducción	3 modos: Eco, Normal, Sport	No disponible	0,20	0
	Gestión	Algoritmo inteligente de gestión energética	ECU básico de gestión motor	0,50	0,80
	Conectividad	Sistema keyless, app móvil	Sistema de llaves convencional	0,30	0,20

Un punto clave es la disponibilidad de 3 modos: Eco, Normal, Sport en la SuperSoco para adaptar la conducción, una característica No disponible en la Benelli. En cuanto a la Gestión, la SuperSoco emplea un Algoritmo inteligente de gestión energética, mientras que la Benelli utiliza una ECU básico de gestión motor.

### 3.2.3.8 Componentes mecánicos

En la tabla 19 se detalla las diferencias fundamentales en la transmisión, el embrague, la caja de cambios y el sistema de escape, reflejando las diferencias entre una motocicleta eléctrica y una de combustión interna.

**Tabla 19** *Componentes mecánicos*

<b>Categoría</b>	<b>Componente</b>	<b>SuperSoco TC Max</b>	<b>Benelli TNT 25N 2017</b>	<b>Peso SuperSoco (kg)</b>	<b>Peso Benelli (kg)</b>
<b>7. Componentes Mecánicos</b>	Transmisión	Correa dentada Kevlar	Cadena de 6 velocidades	2,80	4,50
	Embrague	No requiere (directo)	Embrague húmedo multidisco	0	3,20
	Caja de cambios	No requiere	Caja 6 velocidades	0	8,50
	Sistema de escape	No requiere	Sistema completo de escape	0	4,80

La SuperSoco no requiere de Embrague ni de Caja de cambios, eliminando la complejidad y el peso de un embrague húmedo multidisco y una Caja 6 velocidades presentes en la Benelli. De manera similar, la SuperSoco no requiere de un Sistema de escape, un componente que en la Benelli representa un Sistema completo de escape con un peso de 4,8 kg.

### 3.2.3.9 Mecatrónica

En la tabla 20 se centra en el sistema de frenado, la gestión energética y el nivel de integración, resaltando las soluciones tecnológicas que definen la eficiencia y seguridad en cada tipo de motocicleta.

**Tabla 20 Mecatrónica**

<b>Categoría</b>	<b>Componente</b>	<b>SuperSoco TC Max</b>	<b>Benelli TNT 25N 2017</b>	<b>Peso SuperSoco (kg)</b>	<b>Peso Benelli (kg)</b>
<b>8. Mecatrónica</b>	Sistema frenado	CBS + EABS coordinado	Frenos independientes	1,20	0,80
	Gestión energética	Algoritmo BMS optimiza recarga en frenado	No aplica	0,30	0
	Integración	Alta integración electrónica	Integración básica convencional	0,50	0,30

La gestión energética es un punto clave de diferenciación: la SuperSoco emplea un Algoritmo BMS optimiza recarga en frenado, una característica avanzada de optimización de energía que no aplica a la Benelli. El sistema de frenado de la SuperSoco, combina CBS + EABS coordinado, ofreciendo una frenada asistida y regenerativa, a diferencia de los Frenos independientes de la Benelli,

### 3.2.3.10 Motor

La tabla 21 detalla el tipo de motor, su potencia, torque, sistema de refrigeración y el material del bloque, resaltando las diferencias fundamentales entre un propulsor eléctrico y uno de combustión interna.

**Tabla 21 Motor**

<b>Categoría</b>	<b>Componente</b>	<b>SuperSoco TC Max</b>	<b>Benelli TNT 25N 2017</b>	<b>Peso SuperSoco (kg)</b>	<b>Peso Benelli (kg)</b>
<b>9. Motor</b>	Tipo	Motor eléctrico central 3900W nominal/5100W pico	Mono cilíndrico 4T DOHC 249,2 cc	15,50	28,50
	Refrigeración	Refrigeración por aire forzado	Refrigeración líquida	1,20	3,80

La SuperSoco TC Max es una moto eléctrica con un Motor eléctrico central de 5100W pico y 180 Nm de torque instantáneo y refrigeración por aire forzado. En contraste, la Benelli TNT 25N 2017 es de combustión con un Mono cilíndrico 4T DOHC 249,2 cc que entrega 24,5 HP, tiene un torque máximo de 21-21,2 Nm a altas RPM, y usa refrigeración líquida.

### 3.2.3.11 Dirección y Transmisión

Se presenta una comparativa de los sistemas de dirección y transmisión final de la SuperSoco TC Max y la Benelli TNT 25N 2017. Esta tabla 22 resalta las diferencias en el diseño y los componentes clave que influyen en la maniobrabilidad y la entrega de potencia de ambas motocicletas.

**Tabla 22** *Dirección y Transmisión*

<b>Categoría</b>	<b>Componente</b>	<b>SuperSoco TC Max</b>	<b>Benelli TNT 25N 2017</b>	<b>Peso SuperSoco (kg)</b>	<b>Peso Benelli (kg)</b>
<b>10. Dirección y Transmisión</b>	Sistema de dirección	Ángulo de giro 32°, manillar ancho	Manillar deportivo estándar	3,20	3,80
	Columna de dirección	Aleación ligera	Acero reforzado	1,80	2,50

La SuperSoco TC Max destaca por su diseño más ligero en la dirección comparado con la Benelli. La principal diferencia radical es su transmisión final directa sin embrague y de Reducción fija, lo que contrasta con la compleja 6 velocidades con embrague húmedo y relaciones variables de la Benelli.

### 3.2.3.12 Suspensión

Se presenta una comparativa de los sistemas de suspensión de la SuperSoco TC Max y la Benelli TNT 25N 2017. La tabla 23 detalla el tipo de horquillas, amortiguadores, muelles y ajustes, resaltando las diferencias en la tecnología y el rendimiento en la absorción de impactos.

**Tabla 23 Suspensión**

<b>Categoría</b>	<b>Componente</b>	<b>SuperSoco TC Max</b>	<b>Benelli TNT 25N 2017</b>	<b>Peso SuperSoco (kg)</b>	<b>Peso Benelli (kg)</b>
<b>11. Suspensión</b>	Suspensión delantera	Horquilla invertida 35mm, 110mm recorrido	Horquilla telescópica invertida	4,20	5,80
	Suspensión trasera	Amortiguador hidráulico ajustable	Mono amortiguador central hidráulico	2,80	3,50
	Muelles	Progresivos	Lineales	0,80	1,20

La SuperSoco TC Max ofrece una Suspensión más ligera y ajustable: su horquilla delantera invertida y amortiguador trasero ajustable son más livianos que los de la Benelli, Además, la SuperSoco utiliza "Muelles Progresivos" y permite Precarga ajustable, lo que no ocurre en la Benelli con sus muelles lineales y precarga básica.

### 3.2.3.13 Neumáticos

La tabla 24 detalla las dimensiones, presiones recomendadas y el tipo de neumático, resaltando las diferencias en la configuración y el rendimiento esperado en agarre y estabilidad.

**Tabla 24** *Neumáticos*

<b>Categoría</b>	<b>Componente</b>	<b>SuperSoco TC Max</b>	<b>Benelli TNT 25N 2017</b>	<b>Peso SuperSoco (kg)</b>	<b>Peso Benelli (kg)</b>
<b>12. Neumáticos</b>	Neumático delantero	90/80-17 tubeless	110/70-ZR17	3,10	3,80
	Neumático trasero	120/70-17 tubeless	150/60-ZR17	4,20	5,50

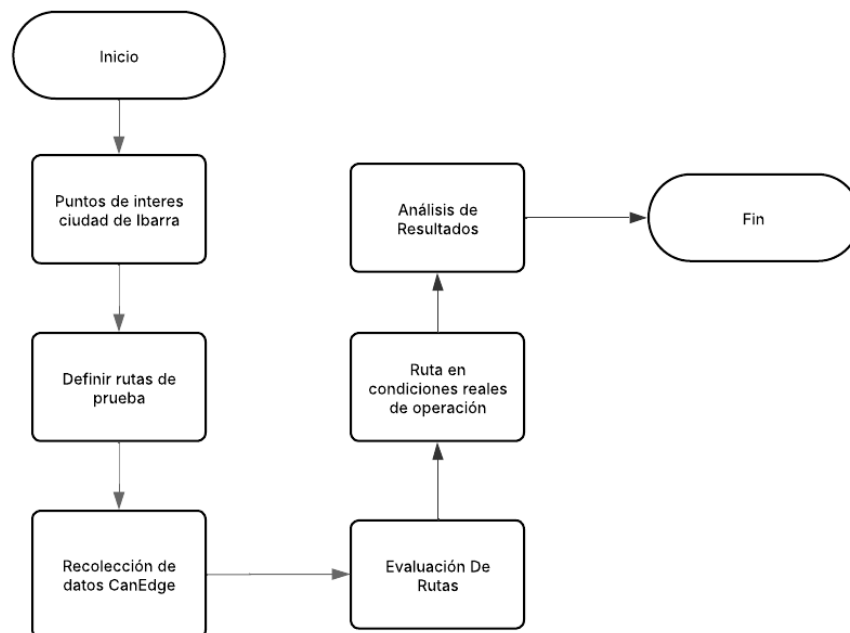
La SuperSoco TC Max usa Neumáticos tubeless más estrechos y ligeros, la Benelli TNT 25N 2017, en contraste, monta neumáticos radiales más anchos y pesados. Esto sugiere que la Benelli prioriza el agarre y la estabilidad con mayor superficie de contacto, mientras que la SuperSoco busca eficiencia y ligereza.

### 3.3.1 Ruta en condiciones reales de operación

En la figura 18 se presenta el diagrama de flujo que describe el proceso metodológico para la evaluación de ruta de conducción en la ciudad de Ibarra, con el objetivo de analizar los factores que influyen en el rendimiento vehicular.

El procedimiento inicia con la identificación de puntos de interés dentro de la ciudad. Posteriormente, se realiza la recolección de datos utilizando el dispositivo CanEdge, cuyo registro GPS permite obtener un perfil de conducción real que se utiliza para analizar aceleraciones, desaceleraciones, velocidad promedio y comportamiento del vehículo en uso cotidiano. Se identifican los factores que afectan el rendimiento, y finalmente se realiza un análisis de resultados.

**Figura 18** *Flujograma Ruta en condiciones reales de operación*



(elaboración flujograma autoría propia)

### 3.3.1.1 Obtención de ruta

La determinación de la ruta de prueba se basó en el plan de movilidad urbana de Ibarra, complementado con un análisis de matriz origen-destino [62], lo que permitió identificar el trayecto óptimo para evaluar la autonomía del vehículo eléctrico y el vehículo a combustión. Además, se creó un protocolo estandarizado de selección de ruta, que debe aplicarse sistemáticamente antes de realizar pruebas experimentales, garantizando así la representatividad de las condiciones reales de operación. El estudio se llevó a cabo, tomando en consideración la masa combinada de la motocicleta eléctrica y el conductor, la misma consideración para la motocicleta a combustión. Dado que las pruebas se ejecutaron con un único ocupante (el piloto), no se incluyó el peso adicional de otros pasajeros.

**Tabla 25** *Consideraciones Moto Eléctrica*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Peso conductor	75	kg
Peso moto	113	kg
Modo de conducción	1,2,3	-

(elaboración de tabla autoría propia)

**Tabla 26** *Consideraciones Moto Combustión*

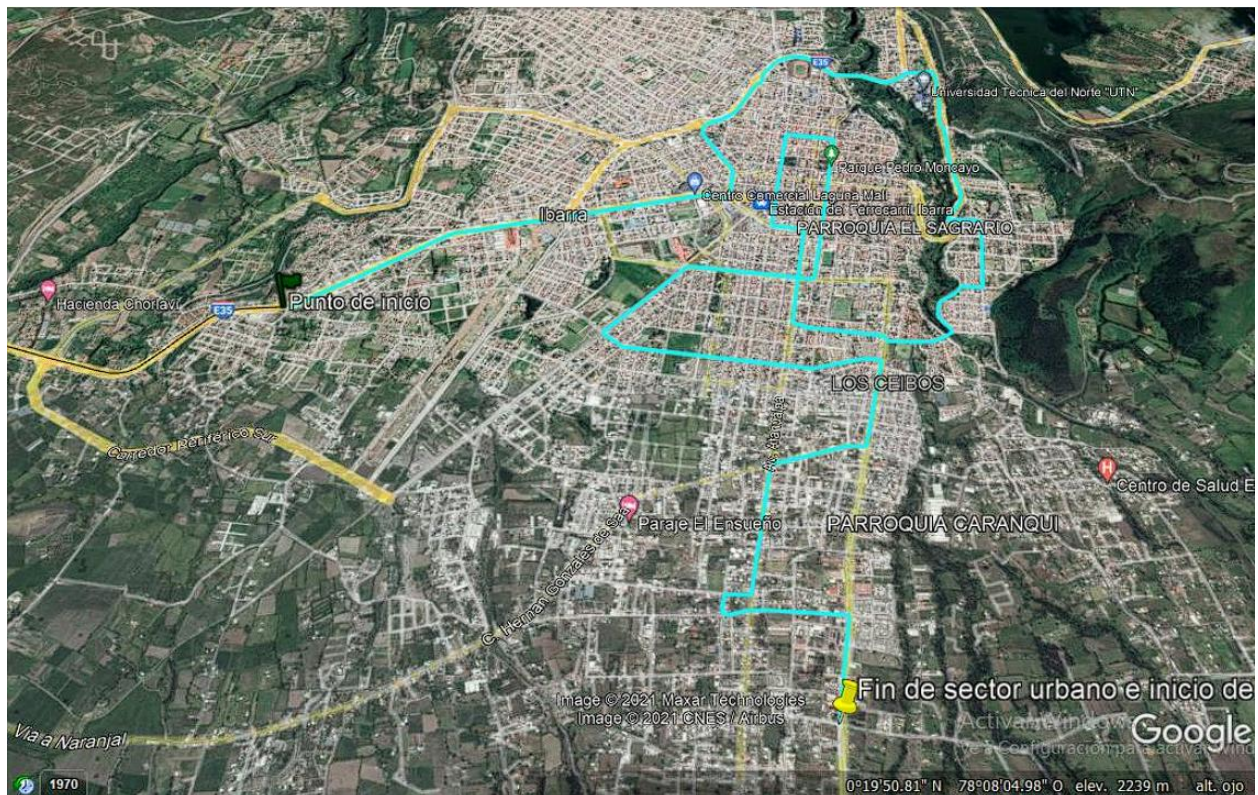
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Peso conductor	75	kg
Peso moto	157	kg
Modo de conducción	Estándar	-

(elaboración de tabla autoría propia)

### 3.3.1.2 Zona urbana ciudad Ibarra

En la figura 19 se muestra el área de estudio comprende el núcleo urbano de la ciudad, caracterizado por una extensa densidad de áreas residenciales y comerciales interconectadas. Con una longitud total de 19 kilómetros, se extiende desde La Florida hasta la zona del Retorno.

**Figura 19** Mapa Zona Urbana



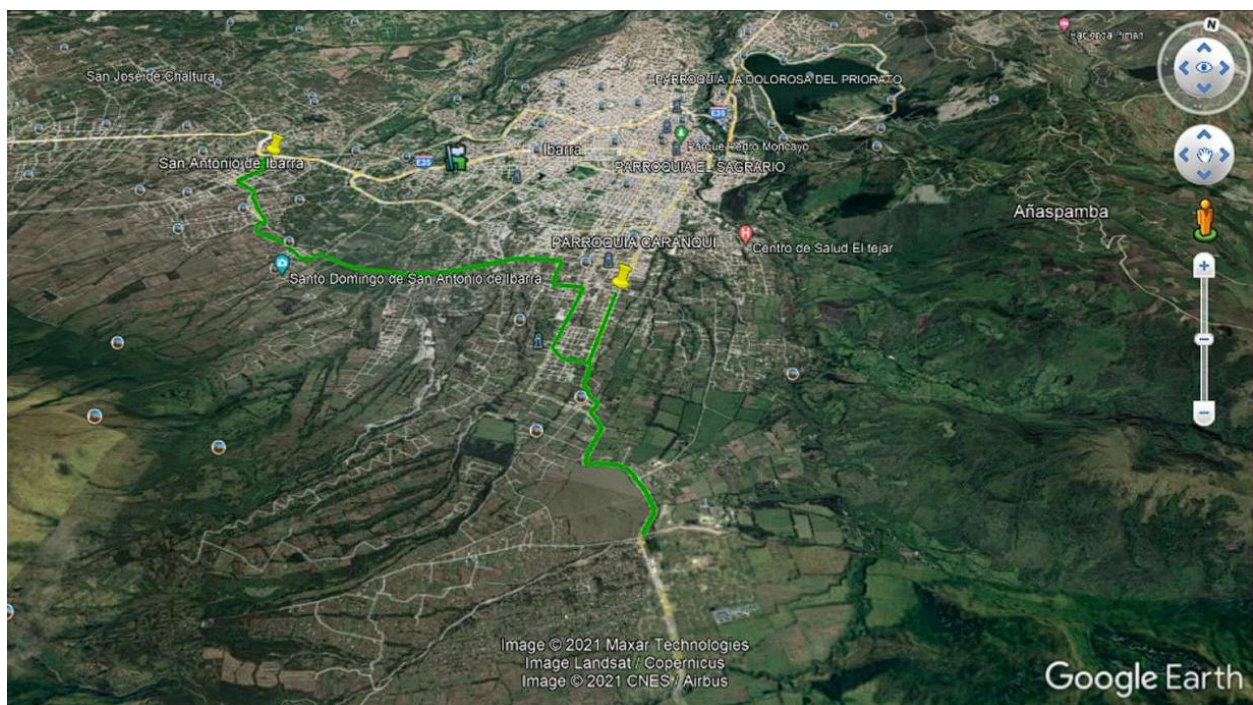
(Google Maps)

Esta ruta representa un corredor de alta demanda vehicular, reconocido como uno de los ejes urbanos con mayor índice de congestión y flujo continuo de tráfico. A lo largo de su recorrido, la ruta integra puntos estratégicos de relevancia turística, académica y recreativa, frecuentados diariamente por la población local.

### 3.3.1.3 Zona rural ciudad Ibarra

La selección del trayecto de estudio se fundamentó en un análisis que consideró variables clave como: el perfil de altitud y pendiente, las características de la calzada, y su localización geográfica. El sector presenta una marcada predominancia de uso residencial con escasa densidad comercial, característica que lo establece como ruta de transición urbano-rural.

**Figura 20** Mapa Zona Rural



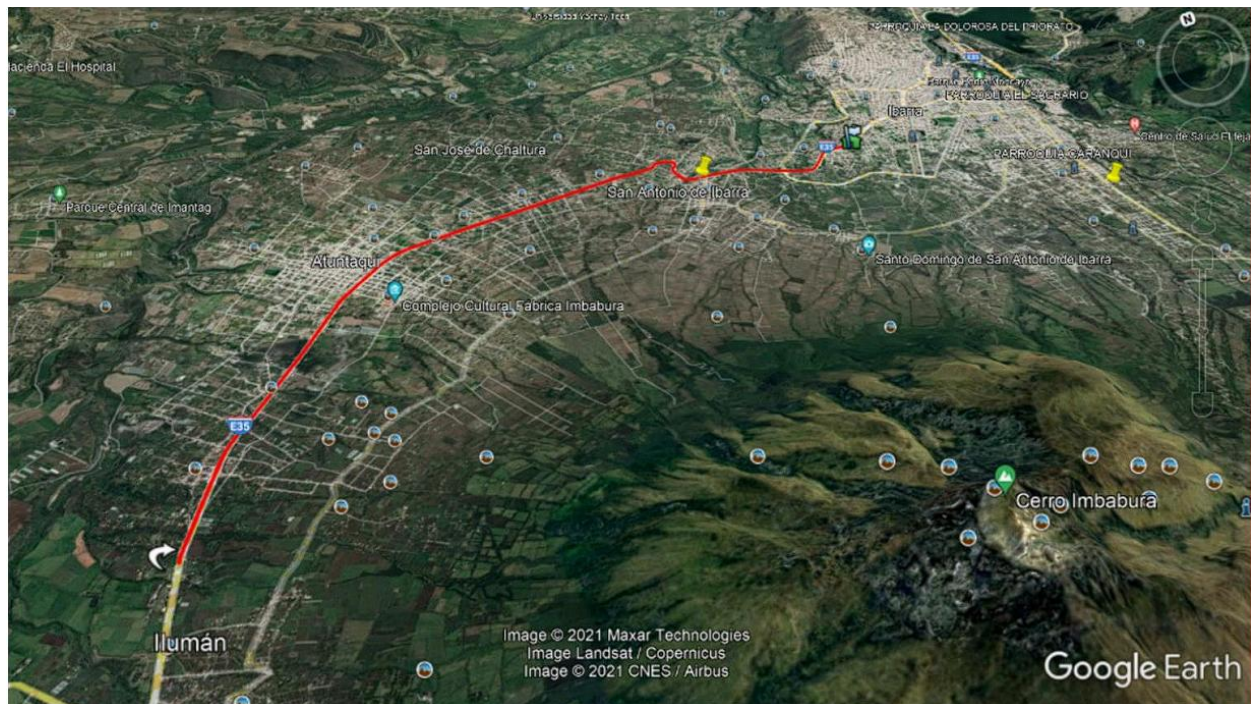
(Google Maps)

En la figura 20 se observa que conformando una distancia de 17.7 kilómetros que inicia en el distribuidor vial adyacente a la Unidad Educativa Imbabura PCEI. El trayecto prosigue por la vía a La Esperanza hasta alcanzar las instalaciones del Batallón Militar Yaguachi, donde ejecuta un cambio de sentido mediante maniobra en U.

### 3.3.1.4 Zona autopista ciudad Ibarra

La determinación del trazado se fundamentó en un análisis cuantitativo de índice de congestión vehicular, densidad de flujo de circulación, características geométricas de la calzada, y régimen de velocidad permitida.

**Figura 21** Mapa Zona Autopista



(Google Maps)

En la figura 21 se observa el corredor evaluado corresponde a un segmento de autopista urbana de 17.7 km de longitud, caracterizado por una configuración de tres carriles por sentido y un entorno predominantemente comercial. Esta selección se fundamenta en su capacidad para representar condiciones reales de conducción en vías rápidas permitiendo evaluar el rendimiento vehicular.

Una vez establecido la ruta, tanto para la zona urbana, rural y carretera, se procede a ejecutar la misma, teniendo en cuenta las variables mencionadas anteriormente, ya que es un ensayo en condiciones reales. En la tabla 27 y tabla 28 se muestran los datos obtenidos en la ruta para cada motocicleta, se los comparo con la normativa EU 2018/1832 pagina 37 la misma que analiza las emisiones reales y consumo de energía.

**Tabla 27** Características de la ruta en función de la Norma Moto eléctrica

<b>Parámetros en Ruta</b>	<b>Requisitos en la Regulación RTD</b>	<b>Requisitos Obtenidos en la Ruta</b>	<b>Cumple (Sí/No)</b>
Duración Total de la Prueba (modo 1)	Entre 90-120 min	155 min (2h35min)	No
Duración Total de la Prueba (modo 2)	Entre 90-120 min	115 min (1h55min)	Sí
Duración Total de la Prueba (modo 3)	Entre 90-120 min	106 min (1h46min)	Sí
Distancia Urbana		19 km	Sí
Distancia Rural	>16	17,7 km	Sí
Distancia Carretera		24,4 km	Sí
Composición de la Ruta Urbana	29 - 44% distancia	31,66%	Sí
Composición de la Ruta Rural	23 - 43% distancia	29,50%	Sí
Composición de la Ruta Carretera	23 - 43% distancia	40,66%	Sí
Velocidad Promedio (modo 1) Urbana	15 - 50 km/h	25,37 km/h	Sí
Velocidad Promedio (modo 1) Rural	60 - 90 km/h	29,56 km/h	No
Velocidad Promedio (modo 1) Autopista	< 90	36,15 km/h	Sí
Velocidad Promedio (modo 2) Urbana	15 - 50 km/h	27,76 km/h	Sí

Seguido de tabla...

Velocidad Promedio (modo 2) Rural	60 - 90 km/h	33,82 km/h	No
Velocidad Promedio (modo 2) Autopista	< 90	51,05 km/h	Sí
Velocidad Promedio (modo 3) Urbana	15 - 50 km/h	38,04 km/h	Sí
Velocidad Promedio (modo 3) Rural	60 - 90 km/h	35 km/h	No
Velocidad Promedio (modo 3) Autopista	< 90	59,71 km/h	Sí
Carga Útil	<90% del peso máximo del vehículo	75 kg	Sí
Altitud Moderada	0 - 700 m	2400	No
Altitud Extendida	700 - 1300 m	2196 - 2663	No
Altitud Diferencia	No más de 100 m	467	No
Ganancia Acumulada	1200 m por 100 km	760 por 100 km	No
Temperatura Ambiente Moderada	0°C - 30°C	15°C	Sí
Temperatura Ambiente Extendida	7°C - 0°C y 30°C - 35°C		Sí
Porcentaje de Parada	Entre 6% y 30% del tiempo urbano	6 a 9 minutos (12,67%)	Sí
Máxima Velocidad modo 1	145 km/h (160 km/h para el 3% del tiempo de conducción en la autopista)	50km/h	No
Máxima Velocidad modo 2	145 km/h (160 Km/h para el 3% del tiempo de conducción en la autopista)	70km/h	No
Máxima Velocidad modo 3	145 km/h (160 Km/h para el 3% del tiempo de conducción en la autopista)	100km/h	No
Uso de Sistemas auxiliares	de uso gratuito en la vida real (operación no registrada)	drl se mantiene encendido con un consumo de 0,8 W	

**Tabla 28** Características de la ruta en función de la Norma Moto Combustión

Parámetros en Ruta	Requisitos en la Regulación RTD	Requisitos Obtenidos en la Ruta	Cumple (Sí/No)
Duración Total de la Prueba	Entre 90-120 min	111 min	Sí
Distancia Urbana		19 km	Sí
Distancia Rural	>16	17,70 km	Sí
Distancia Carretera		24,40 km	Sí
Composición de la Ruta Urbana	29 - 44% distancia	31,66%	Sí
Composición de la Ruta Rural	23 - 43% distancia	29,50%	Sí
Composición de la Ruta Carretera	23 - 43% distancia	40,66%	Sí
Velocidad Promedio Urbana	15 - 50 km/h	45 km/h	Sí
Velocidad Promedio Rural	60 - 90 km/h	25 km/h	No
Velocidad Promedio Autopista	< 90	80 km/h	Sí
Carga Útil	<90% del peso máximo del vehículo	75 kg	Sí
Altitud Moderada	0 - 700 m	2400	No
Altitud Extendida	700 - 1300 m	2196 - 2663	No
Altitud Diferencia	No más de 100 m	467	No
Ganancia Acumulada	1200 m por 100 km	760 por 100 km	No
Temperatura Ambiente Moderada	0°C - 30°C	15°C	Sí
Temperatura Ambiente Extendida	7°C - 0°C y 30°C - 35°C		Sí
Porcentaje de Parada	Entre 6% y 30% del tiempo urbano	6 a 8 minutos	Sí
Máxima Velocidad	145 km/h (160 km/h para el 3% del tiempo de conducción en la autopista)	122 km/h	No

Mediante el software Can Edge se recopilan los datos obtenidos para su posterior análisis, datos como la autonomía, consumo de energía, potencia, velocidad, entre otros se realiza la comparativa de estas dos motocicletas comparando cada uno de sus aspectos.

## CAPITULO IV

### 4. Análisis de resultados

En el siguiente capítulo se detallan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a las motocicletas tanto a la moto eléctrica Super Soco TC Max como a la moto a combustión Benelli TNT 25N. La primera prueba que se realizó, es el ensayo en ruta en condiciones reales, con el fin de comparar la autonomía real de cada una de las motocicletas. Para ello fue necesario la implementación de la ruta que cumpla con todas las variables mencionadas en el capítulo anterior. Además, se realizó una comparación de la ruta entre las dos motocicletas en condiciones reales planteada en la presente investigación. En la siguiente parte se detalla los datos obtenidos del TCO realizada en un documento Excel con el fin de obtener el costos, uso y mantenimiento de cada una de ellas y por último el ciclo de vida de las dos motocicletas.

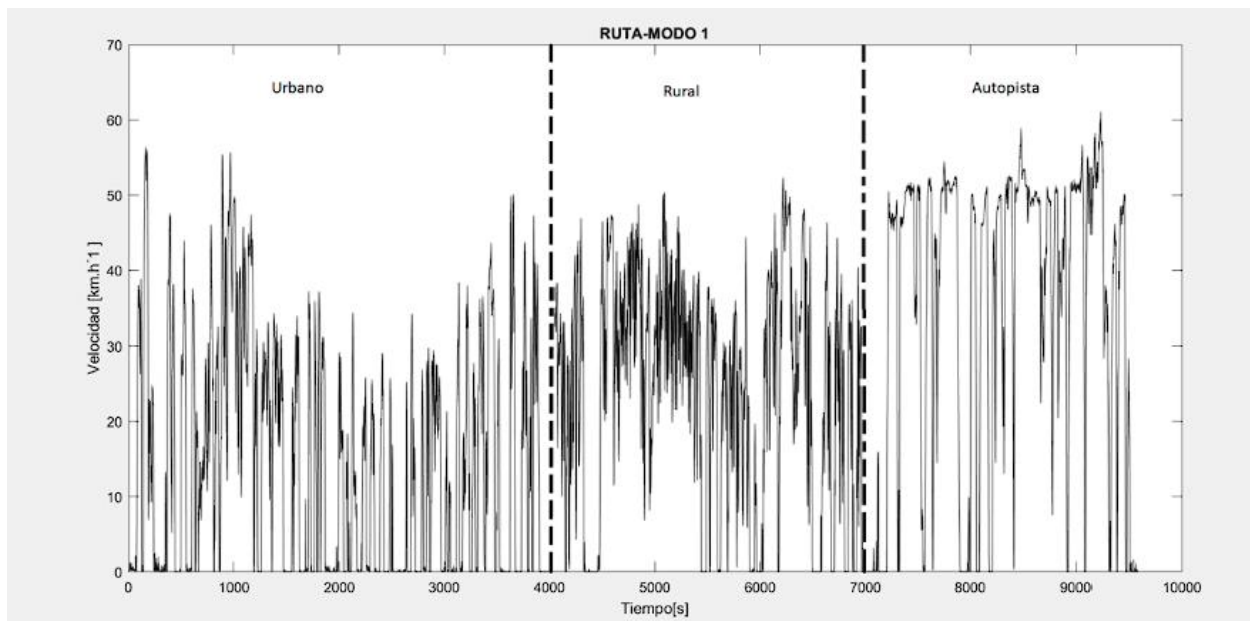
#### 4.1 Rutas de ensayo Ibarra

La ruta representativa para Ibarra se ilustra en las figuras 22, 23, y 24, mostrando el comportamiento de la ME en sus tres modos de operación, así también para la motocicleta a combustión con su modo de conducción único. Fue trazado a lo largo de la ruta definida en el capítulo anterior, la cual abarca las zonas urbanas, rural y de carretera de la ciudad, incluyendo sus principales puntos de interés.

### 4.1.1 Ruta modo 1

Desde una perspectiva dinámica, los picos de velocidad observados en el gráfico corresponden a eventos de aceleración específicos, mientras que las disminuciones repentinas de velocidad representan paradas y desaceleraciones típicas de las condiciones del tráfico. En el área urbana, la alta frecuencia de picos y valles muestra un régimen de conducción muy desigual asociado a semáforos, intersecciones y atascos, lo que resulta en constantes arranques y paradas. En las zonas rurales, los cambios de velocidad proporcionan más continuidad. Finalmente, en el tramo de carretera, la velocidad se mantiene de manera más estable y sostenida con menos fluctuación, reflejando un modo de operación más constante.

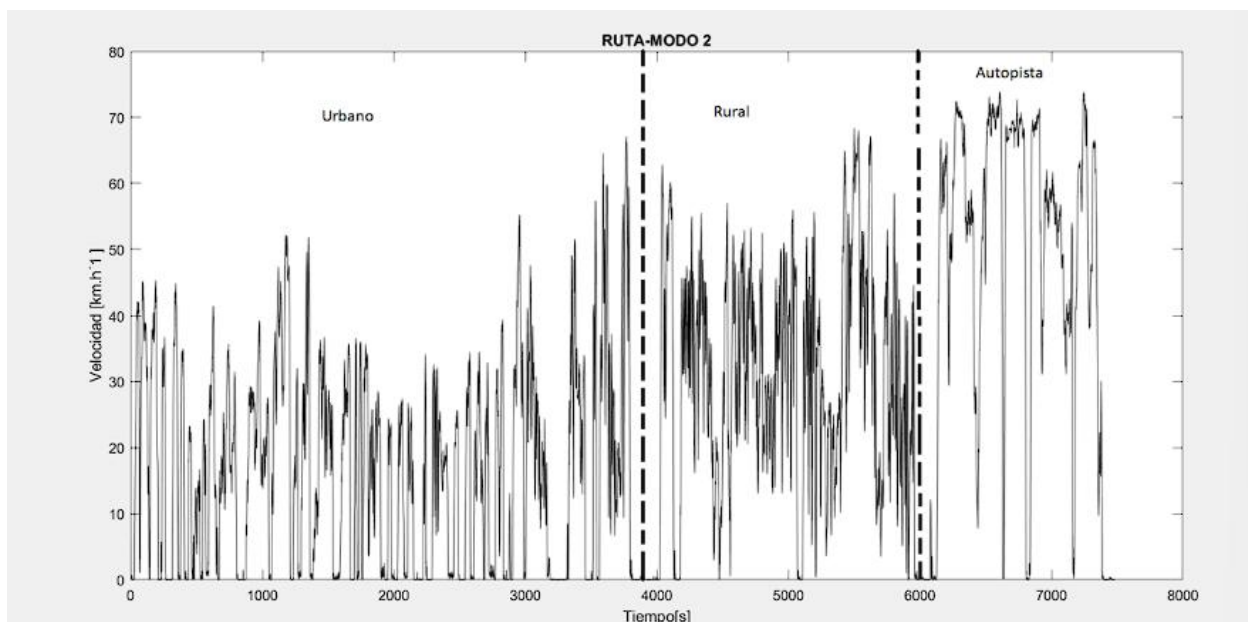
*Figura 22 Gráfica Ruta Modo 1*



### 4.1.2 Ruta modo 2

La ruta de la moto Eléctrica (ME), correspondiente al Modo 2, se ilustra en la Figura 23. En el tramo urbano (0 a 3 800 s), se observa una señal caracterizada por frecuentes picos y caídas de velocidad, reflejo de un régimen de conducción discontinuo asociado al tráfico urbano, semáforos e intersecciones, aunque con valores máximos ligeramente superiores respecto al modo anterior. En el segmento rural (3 800 a 6 000 s), las variaciones de velocidad presentan una mayor amplitud y continuidad, evidenciando una conducción más fluida, pero aún influenciada por cambios de pendiente y adelantamientos. Finalmente, en el tramo de autopista (6 000 a 7 500 s), se alcanzan y mantienen velocidades elevadas de forma más sostenida, con oscilaciones menos frecuentes, lo que indica un régimen de operación más estable.

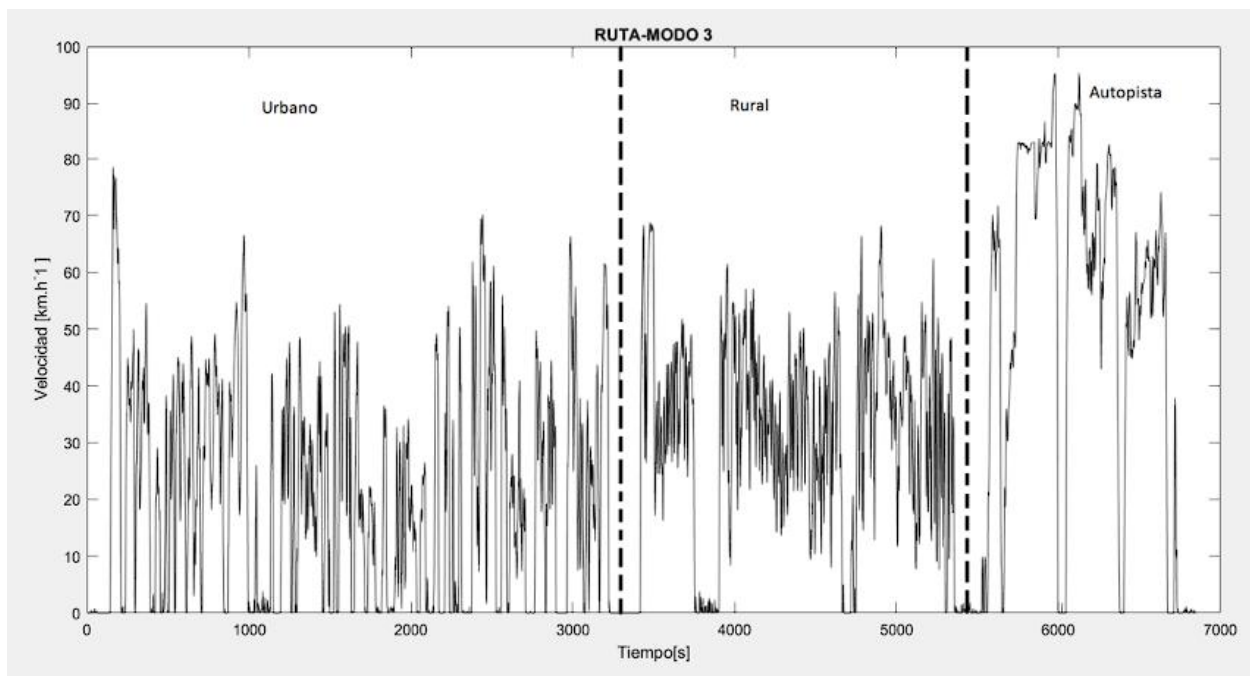
**Figura 23** Grafica Ruta Modo 2



### 4.1.3 Ruta modo 3

La Figura 24 “Modo de Ruta 3” muestra el ciclo de conducción de la motocicleta Super Soco TC Max en su Modo 3 o modo SPORT, como se puede observar en el gráfico, la motocicleta demuestra capacidad para alcanzar y superar los 90 km/h y alcanza cerca de 95 km/h en el segmento de carretera confirmando la ausencia de limitaciones de velocidad y aceleración en otros modos. En ciudad la velocidad es muy variable con un máximo de más de 60-70 km/h, lo que refleja una mayor capacidad de respuesta en el tráfico. La sección rural muestra velocidades más estables, pero aún variables, generalmente por encima de 60 km/h. A diferencia de los modos anteriores, este modo Sport permite reducir significativamente el tiempo total de conducción hasta unos 6.800 segundos debido a una mayor velocidad media y a la capacidad de mantener una velocidad más alta, optimizando así la eficiencia del tiempo de conducción para la misma ruta.

**Figura 24** Gráfica Ruta Modo 3



#### 4.1.4 Obtención de resultados moto eléctrica

La tabla 29 detalla el rendimiento de la motocicleta en sus tres modos de conducción (Modo 1, 2 y 3) a lo largo de una ruta fija en Ibarra, dividida en zonas Urbana, Rural y Autopista. Se observa que el tiempo disminuye progresivamente en todas las zonas, gracias a la capacidad de la motocicleta para alcanzar velocidades máximas y medias cada vez mayores. Específicamente, el Modo 1 muestra las velocidades más bajas y los tiempos más prolongados mientras que el Modo 3 logra las mayores velocidades y, consecuentemente, los tiempos más cortos. En cuanto a la aceleración máxima, el Modo 3 registra el valor más alto en la zona Urbana, lo que es coherente con su diseño para ofrecer un rendimiento ágil y rápido en condiciones de tráfico, mientras que la Autopista consistentemente permite las velocidades medias más altas en todos los modos.

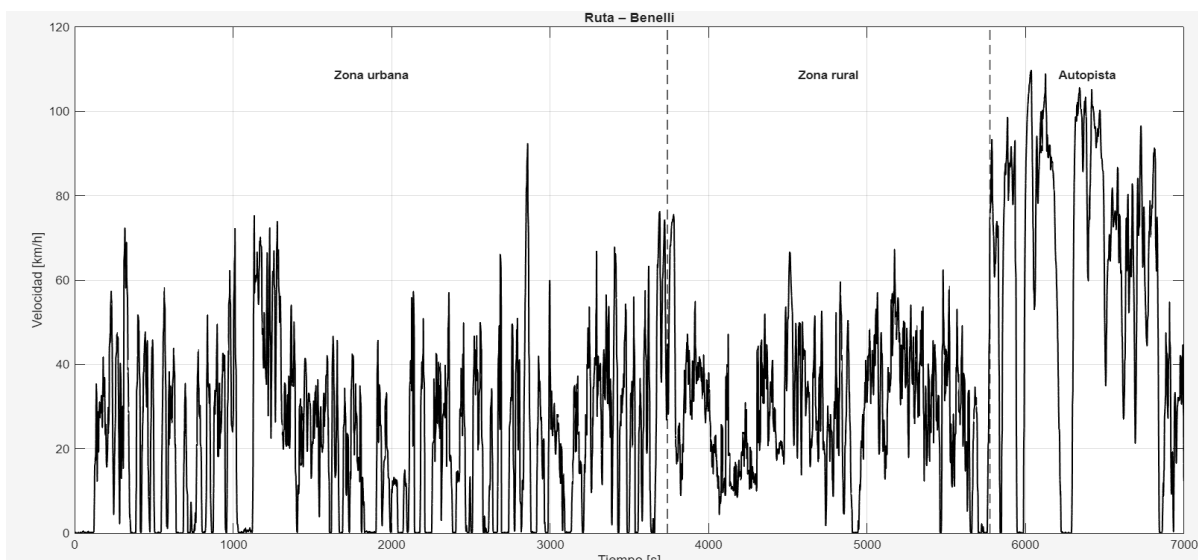
**Tabla 29** Datos Obtenidos Super Soco Tc Max

Ruta	Ruta Ibarra								
	Modo 1			Modo 2			Modo 3		
Zona	Urbano	Rural	Autopista	Urbano	Rural	Autopista	Urbano	Rural	Autopista
<b>Distancia recorrida (km)</b>	19	17,70	24,40	19	17,70	24,40	19	17,70	24,40
<b>Tiempo (s)</b>	4260	2520	2520	3780	1800	1320	3120	1980	1260
<b>Velocidad Máxima (km/h)</b>	55	52	60	67	69	73	76	72	94
<b>Velocidad media (km/h)</b>	25,37	29,56	36,15	27,76	33,82	51,05	38,40	35,60	59,71
<b>Aceleración máxima (m/s<sup>2</sup>)</b>	1,90	1,70	1,60	1,55	2,25	1,50	3,20	2,01	1,70

#### 4.1.5 Ruta moto combustión estándar

La Figura 25 muestra el recorrido en función del tiempo de la motocicleta Benelli dividido en tres zonas de recorrido. El área urbana se caracteriza por una conducción muy variable con frecuentes aceleraciones, desaceleraciones y paradas propias del tráfico urbano. En este tramo se registran principalmente velocidades bajas, aunque ocasionalmente se alcanzan velocidades máximas de hasta 60-75 km/h, lo que indica unas carreteras urbanas más fluidas combinadas con semáforos e interrupciones en los semáforos. En las zonas rurales, el perfil muestra un comportamiento más estable, con menos paradas y velocidades medias, aunque todavía existen diferencias relacionadas con las condiciones de la vía secundaria como curvas, pendientes y adelantamientos. Finalmente, en la zona de la autopista (5773-7000 s), las velocidades más altas de la ruta se alcanzan en torno a 115 km/h. En este tramo predomina la conducción sostenida a alta velocidad, con reducciones puntuales por maniobras de tráfico, tráfico o fusiones de vías.

**Figura 25** Ruta Benelli



#### 4.1.6 Obtención de resultados moto combustión

Se recorrieron unos 19 km en el casco urbano en 3740 s. Durante esta etapa se registró una velocidad máxima de 75 km/h y una velocidad media de 18,3 km/h, lo que muestra un entorno de conducción caracterizado por frecuentes paradas y arranques y cambios de velocidad típicos del tráfico urbano con semáforos, intersecciones y tráfico intenso.

La aceleración máxima alcanzada fue de 1,5 m/s<sup>2</sup>, lo que corresponde a un estilo de conducción limitado dictado por el tráfico urbano. En tierra, el recorrido era de 17,7 km en 2035 s, con una velocidad máxima de 75 km/h. La velocidad media medida fue de 31,3 km/h, superior a la alcanzada en ciudad debido a la menor cantidad de paradas y a la capacidad de mantener una velocidad más constante.

Sin embargo, se alcanzó la aceleración máxima del ciclo (2,6 m/s<sup>2</sup>), lo que indica mayores fluctuaciones de velocidad en relación con pendientes, curvas y maniobras de adelantamiento. Finalmente, se recorrieron 1,133 s ( $\approx$  18,9 min) en un tramo de autopista de 24,4 km, alcanzando la velocidad máxima máxima de la moto de 110 km/h. La velocidad promedio fue de 77,5 km/h, lo que refleja un movimiento fluido y continuo, con menos interrupciones en comparación con otros sitios. La aceleración máxima registrada fue de 1,9 m/s<sup>2</sup>, lo que indica que, a pesar de circular a alta velocidad, las fluctuaciones de velocidad son más moderadas y estables, propias de un entorno de autopista.

*Tabla 30 Datos Obtenidos Benelli*

<b>Ruta</b>	<b>Ruta Ibarra</b>		
<b>Modo de Conducción</b>	<b>Estándar</b>		
<b>Zona</b>	<b>Urbano</b>	<b>Rural</b>	<b>Autopista</b>
<b>Distancia recorrida (km)</b>	19	17,70	24,40
<b>Tiempo (s)</b>	3740	2035	1133
<b>Velocidad Máxima (km/h)</b>	75	75	110
<b>Velocidad media (km/h)</b>	18,30	31,30	77,50
<b>Aceleración máxima (m/s<sup>2</sup>)</b>	1,50	2,60	1,90

#### **4.1.7 Comparación de graficas ruta**

Las mediciones obtenidas incluyen distancia recorrida, tiempo de desplazamiento, velocidad máxima, velocidad media y aceleración máxima, parámetros que permiten comparar el rendimiento y la respuesta dinámica de ambos trenes motrices. La integración de los datos en una sola tabla facilita la observación directa de las diferencias entre tecnologías, modos de operación y condiciones de ruta, proporcionando una base objetiva para el análisis

**Tabla 31** Comparación Datos Ruta

<b>Parámetro-Zona</b>	<b>Super Soco M1</b>	<b>Super Soco M2</b>	<b>Super Soco M3</b>	<b>Benelli</b>
Distancia recorrida (km) - Urbano	19	19	19	19
Distancia recorrida (km) - Rural	17,70	17,70	17,70	17,70
Distancia recorrida (km) - Autopista	24,40	24,40	24,40	24,40
Tiempo (s) - Urbano	4260	3780	3120	3740
Tiempo (s) - Rural	2520	1800	1980	2035
Tiempo (s) - Autopista	2520	1320	1260	1133
Velocidad máxima (km/h) - Urbano	55	67	76	75
Velocidad máxima (km/h) - Rural	52	69	72	75
Velocidad máxima (km/h) - Autopista	60	73	94	110
Velocidad media (km/h) - Urbano	25,37	27,76	38,40	18,30
Velocidad media (km/h) - Rural	29,56	33,82	35,60	31,30
Velocidad media (km/h) - Autopista	36,15	51,05	59,71	77,55
Aceleración máxima (m/s <sup>2</sup> ) - Urbano	1,90	1,55	3,20	1,50
Aceleración máxima (m/s <sup>2</sup> ) - Rural	1,70	2,25	2,00	2,60
Aceleración máxima (m/s <sup>2</sup> ) - Autopista	1,60	1,50	1,70	1,90

En el caso de la motocicleta eléctrica, los distintos modos de operación (Super Soco M1, M2 y M3) influyen directamente en el comportamiento dinámico del vehículo a lo largo del perfil de conducción. En la zona urbana, se observa que los modos M1 y M2 presentan velocidades medias de 25,37 km/h y 27,76 km/h, respectivamente, mientras que el modo M3 alcanza una velocidad media superior de 38,4 km/h, reflejando una conducción más ágil. Asimismo, las velocidades máximas se incrementan progresivamente desde 55 km/h (M1) hasta 76 km/h (M3), lo que se traduce en menores tiempos de recorrido conforme se emplean modos de mayor desempeño.

En la zona rural, la motocicleta eléctrica muestra un comportamiento más estable en todos los modos, con velocidades medias comprendidas entre 29,56 km/h (M1) y 35,6 km/h (M3). Las

velocidades máximas, que varían entre 52 y 72 km/h, evidencian que incluso en el modo de mayor rendimiento el vehículo mantiene un funcionamiento controlado, con aceleraciones máximas moderadas, lo que favorece una conducción más progresiva y uniforme frente a las variaciones propias del entorno.

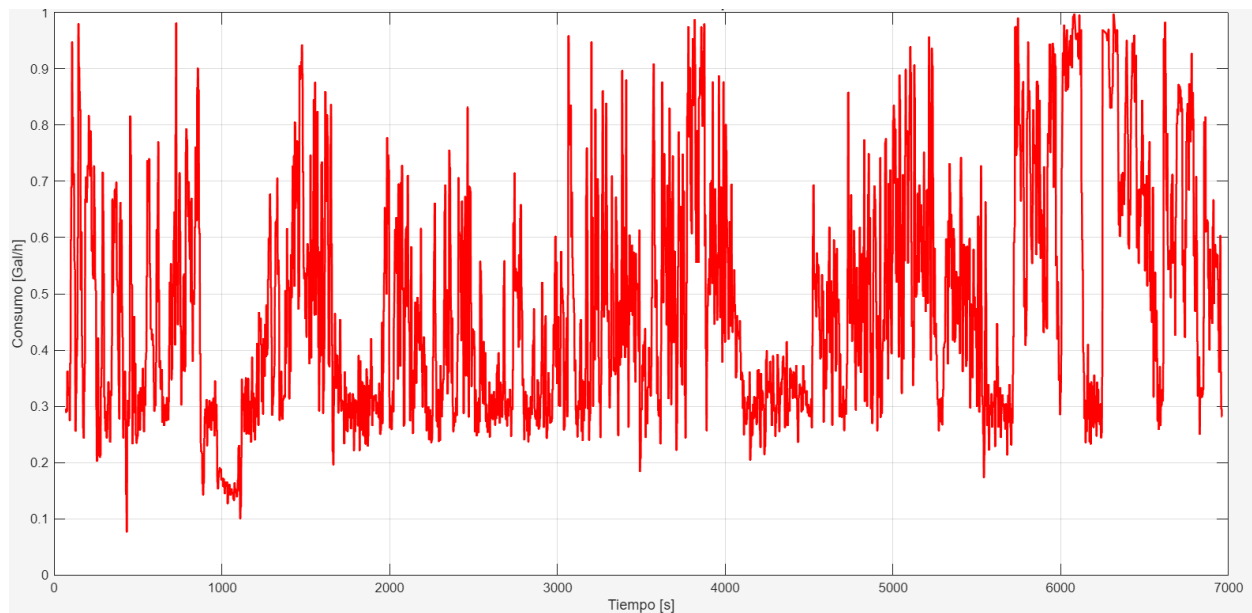
En la zona de autopista, las diferencias entre modos son más notorias. El modo M1 alcanza una velocidad media de 36,15 km/h, mientras que los modos M2 y M3 incrementan este valor hasta 51,05 km/h y 59,71 km/h, respectivamente. Aun cuando el modo M3 permite alcanzar una velocidad máxima de 94 km/h, la motocicleta eléctrica mantiene transiciones de velocidad más suaves en comparación con la motocicleta de combustión, lo que se refleja en valores de aceleración máxima relativamente contenidos.

Por su parte, la motocicleta a combustión (Benelli) presenta un único modo de operación, sin restricciones electrónicas, lo que le permite alcanzar mayores velocidades medias y máximas en todas las zonas del recorrido. En particular, se registran velocidades medias de 18,3 km/h en zona urbana, 31,3 km/h en zona rural y 77,5 km/h en autopista, con una velocidad máxima de hasta 110 km/h en autopista. Este comportamiento se asocia a una conducción más dinámica, con mayores variaciones de velocidad y aceleraciones más elevadas, especialmente en los tramos urbano y rural, donde las condiciones reales de tráfico generan detenciones frecuentes, aceleraciones intensas y maniobras de adelantamiento.

#### 4.1.8 Comparación consumo ruta

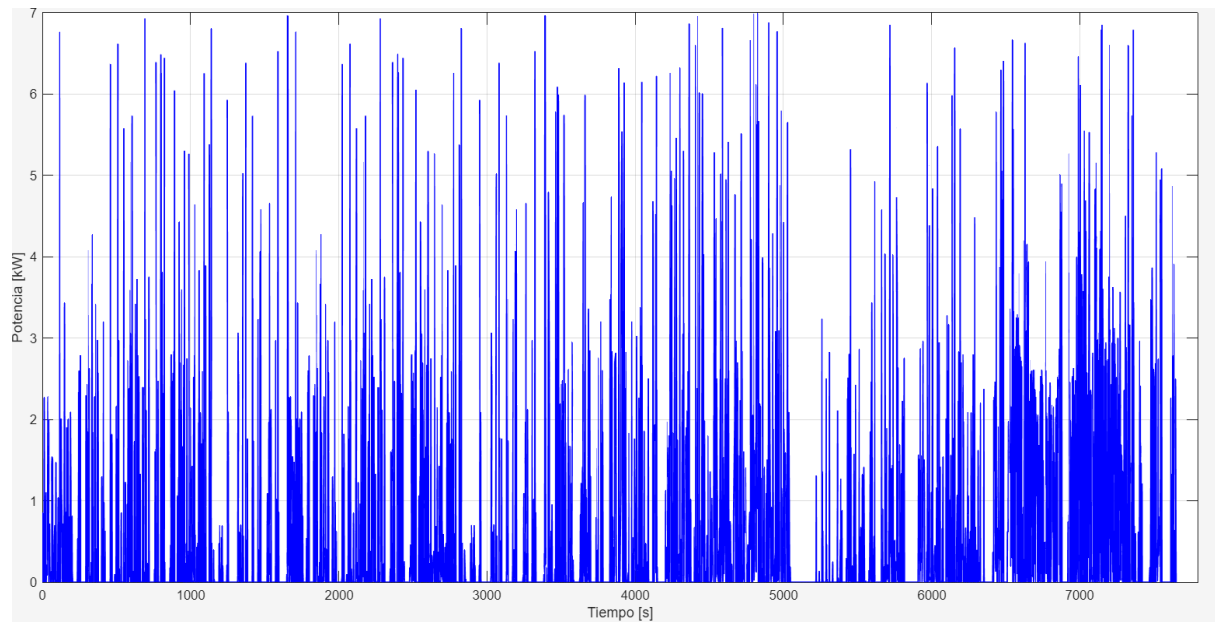
La gráfica representa la evolución del consumo instantáneo de combustible de la motocicleta Benelli a lo largo del ciclo de conducción registrado, expresado en galones por hora (gal/h) en función del tiempo en segundos.

*Figura 26 Consumo combustible instantáneo*



En los primeros segundos del ciclo, correspondientes a la zona urbana, el consumo es irregular y de menor magnitud promedio, con valores entre 0,2 y 0,7 gal/h, lo que refleja las aceleraciones y desaceleraciones propias del tránsito con paradas frecuentes. En la zona rural, el consumo se estabiliza en niveles intermedios, generalmente en el rango de 0,3 a 0,8 gal/h, con picos que coinciden con aceleraciones más marcadas al circular a mayores velocidades. Finalmente, en la zona de autopista, el consumo alcanza sus valores más altos, llegando hasta 1,0 gal/hr.

*Figura 27 Consumo eléctrico instantáneo*



En la zona urbana, el perfil de potencia se caracteriza por una alta variabilidad, si bien durante gran parte del tiempo la potencia se mantiene en niveles reducidos, la gráfica muestra incrementos puntuales que superan los 2 kW.

En la zona rural cuenta con periodos en los que la potencia se mantiene en rangos intermedios y picos más recurrentes. Este comportamiento responde a una conducción más fluida, con velocidades más elevadas y exigencias variables del motor eléctrico debido a pendientes, curvas y maniobras de adelantamiento, lo que genera aumentos momentáneos en la demanda de potencia.

Finalmente, en la zona de autopista, se registran los valores de potencia más elevados del ciclo, con picos que alcanzan aproximadamente los 6–7 kW. En este tramo, la gráfica evidencia periodos prolongados de mayor demanda energética, asociados al esfuerzo sostenido del motor eléctrico para mantener velocidades elevadas.

**Tabla 32** Consumo por zona

	Super Soco			Benelli		
	Urbano	Rural	Autopista	Urbano	Rural	Autopista
<b>Consumo kWh</b>	0,67	0,32	0,24	...	...	...
<b>Consumo kWh/100 km</b>	3,54	1,85	0,99	...	...	...
<b>Consumo gal</b>	...	...	...	0,29	0,23	0,16
<b>Consumo gal/100 km</b>	...	...	...	1,16	1,35	0,92

Con el fin de realizar una comparación directa entre la motocicleta eléctrica y la motocicleta de combustión interna, los consumos energéticos de la motocicleta eléctrica, originalmente expresados en kWh, fueron convertidos a litros equivalentes de gasolina (L-eq) utilizando un factor energético estándar de 33,7 kWh por galón de gasolina tomado de Environmental Protection Agency y posteriormente transformado a litros equivalentes [63].

**Tabla 33** Consumo por zona normalizado

	Super Soco			Benelli		
	Urbano	Rural	Autopista	Urbano	Rural	Autopista
<b>Consumo L</b>	0,08	0,04	0,03	1,19	0,89	0,53
<b>Consumo L/100 km</b>	0,40	0,21	0,11	4,21	4,51	3,05

En la Super Soco, el mayor consumo se presenta en la zona urbana, con 0,08 L y un consumo específico de 0,40 L/100 km, seguido de la zona rural. La autopista registra el menor consumo, lo que se asocia a un régimen de conducción más estable y eficiente.

En la Benelli, los consumos son superiores en todas las zonas del recorrido. El consumo total alcanza 1,19 L en zona urbana, 0,89 L en zona rural y 0,53 L en autopista, mientras que el consumo específico es de 4,21 L/100 km, 4,51 L/100 km y 3,05 L/100 km, respectivamente.

#### **4.2 Costo total de propiedad**

El análisis del Costo Total de Propiedad (TCO) se realizó con el objetivo de comparar el impacto económico de una motocicleta eléctrica y una motocicleta de combustión interna bajo condiciones de uso equivalentes. Para ello, se adoptó la metodología propuesta por el *International Council on Clean Transportation* (ICCT), la cual considera el TCO como la suma de los costos acumulados asociados a la adquisición, operación y mantenimiento del vehículo a lo largo de su vida útil.

El análisis se desarrolló para un horizonte temporal de 12 años y un kilometraje anual de 8 300 km, valores representativos del uso urbano de motocicletas de dos ruedas. A diferencia de enfoques financieros tradicionales, no se aplicaron factores de actualización ni valor residual, con el fin de facilitar una comparación directa entre tecnologías, conforme a los lineamientos del ICCT.

La Tabla 34 presenta el cálculo detallado del Costo Total de Propiedad (TCO) para la motocicleta eléctrica Super Soco TC Max y la motocicleta de combustión interna Benelli TNT 25N, considerando un horizonte de vida útil de 12 años y un patrón de uso urbano equivalente para ambas tecnologías. El análisis se desarrolló a partir de parámetros reales de consumo obtenidos experimentalmente, así como de costos representativos del mercado ecuatoriano.

**Tabla 34** Resultados Costo Total de Propiedad

<b>Parámetro</b>	<b>Super Soco TC Max</b>	<b>Benelli TNT 25N</b>	<b>Unidad</b>
Precio de compra	4000	4020	USD
Vida útil (n)	12	12	años
Gastos capitales	4000	4623	USD
Gastos operativos	3167,64	8168,10	USD
Batería	1600	40	USD
Kilometraje anual	8300	8300	km/año
Consumo por km	0,03	0,04	kWh/km & L/km
Consumo anual	282,20	356,90	kWh/año & L/año
Precio energía	0,10	0,75	USD/kWh & USD/L
Costo energía anual	28,22	267,67	USD/año
Mantenimiento anual	100	200	USD/año
Seguro anual	85	150	USD/año
Matrícula anual	50,71	63	USD/año
O&M anual	213,22	617,67	USD/año
TCO total	8767	12831	USD/12 años
TCO por km	0,08	0,13	USD/km
IVA	0	15	%

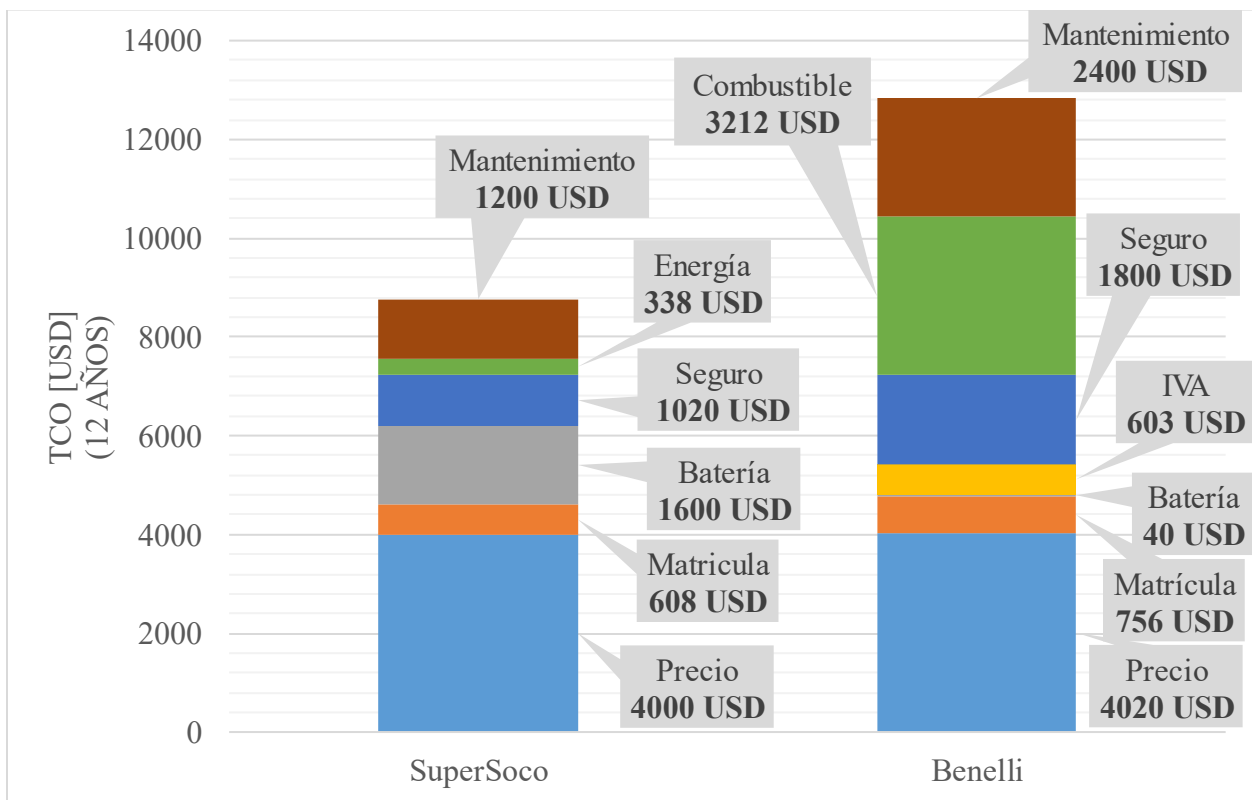
(tabla elaborada autoría propia)

De acuerdo con la Tabla 34, el Costo Total de Propiedad (TCO) para una vida útil de 12 años es menor en la motocicleta eléctrica Super Soco TC Max, con un valor aproximado de 8767 USD, frente a los 12831 USD registrados para la motocicleta de combustión Benelli TNT 25N.

Esta diferencia se explica principalmente por los menores costos operativos de la motocicleta eléctrica, asociados al bajo consumo energético y al mantenimiento reducido. En contraste, la Benelli TNT 25N presenta un TCO más elevado debido al mayor gasto en combustible, así como a costos superiores de mantenimiento, seguro y matrícula a lo largo del periodo de análisis. La Figura 28 muestra la descomposición del Costo Total de Propiedad (TCO) acumulado durante un

horizonte de 12 años para la motocicleta eléctrica Super Soco TC Max y la motocicleta de combustión interna Benelli TNT 25N. La representación gráfica se realizó mediante barras apiladas, permitiendo identificar la contribución relativa de cada componente del costo, tales como el precio base, los impuestos, los costos de energía o combustible, el mantenimiento, el seguro y otros costos asociados a la operación del vehículo.

**Figura 28** Costo Total De Propiedad



(grafica autoría propia)

La Figura 28 muestra la descomposición del Costo Total de Propiedad de la motocicleta eléctrica Super Soco TC Max y la motocicleta de combustión Benelli TNT 25N para un horizonte de 12 años. Se observa que la Super Soco presenta un TCO aproximado de 8767 USD, mientras que la

Benelli alcanza alrededor de 12 831 USD, lo que evidencia una diferencia económica significativa a favor de la alternativa eléctrica.

El mayor aporte al TCO de la Benelli corresponde al costo de combustible, que asciende a 3 212 USD, frente a apenas 339 USD de costo energético en la Super Soco. Adicionalmente, la motocicleta de combustión registra mayores costos de mantenimiento (2 400 USD) y seguro (1 800 USD), en comparación con los 1 200 USD y 1 020 USD, respectivamente, de la motocicleta eléctrica. A esto se suman costos exclusivos de la Benelli, como matrícula (756 USD), IVA (603 USD), que incrementan su TCO total.

Si bien la Super Soco TC Max incluye dos reemplazos de batería de 800 USD durante el periodo de análisis, este costo no compensa las mayores erogaciones operativas de la Benelli, confirmando que, desde una perspectiva económica de largo plazo, la motocicleta eléctrica resulta claramente más eficiente y competitiva, con una reducción del 46 por ciento frente a la de combustión, es decir 4064 dólares menos.

### 4.3 Ciclo de vida

En esta sección se analizará el ciclo de vida de las dos motocicletas tanto de la moto benelli, así como la moto SuperSoco, desde la parte de la fabricación, pasando por la parte de uso y mantenimiento. En la tabla 35 se muestran los parámetros que se van a utilizar para analizar las emisiones de CO2.

**Tabla 35** *Parámetros Ciclo de Vida*

Valor	Unidad	Descripción
100	km	Distancia
3,4	kWh	Energía total
3,4	kWh/100 km	Consumo eléctrico real
15	%	Eficiencia de carga 85% (1 - pérdidas de carga)
16	%	Pérdidas de transmisión y distribución Ecuador
0,00076	t CO <sub>2e</sub> /kWh	Factor de emisión electricidad (Ecuador)
1,14	gal	Combustible total 100km
4,30	L	Combustible total 100km
0,74	kg/L	Densidad gasolina (si aplica)
43	MJ/kg	Poder calorífico inferior gasolina (si aplica)
0,000019	t CO <sub>2e</sub> /MJ	Upstream WTT (19,9 g/MJ) convertido
0,000069	t CO <sub>2e</sub> /MJ	Combustión TTW (69,3 g/MJ) convertido
0,40	t CO <sub>2e</sub>	Fabricación vehículo (sin batería)
0,29	t CO <sub>2e</sub>	Fabricación batería
0,09	t CO <sub>2e</sub>	Mantenimiento
0,29	t CO <sub>2e</sub>	Fabricación vehículo
0,19	t CO <sub>2e</sub>	Mantenimiento
12	años	Horizonte de vida útil
8300	km/año	Kilometraje anual
99600	km	Kilometraje total = vida útil * km anual
996	-	Factor = km_total / Dist_km

El consumo eléctrico real de la motocicleta Super Soco TC Max se estableció en 3,4 kWh/100 km, considerando una eficiencia de carga del 85 % y pérdidas en transmisión y distribución de 15,9 %, valores representativos del sistema eléctrico nacional. El factor de emisión de la electricidad utilizado fue de 0,00076 t CO<sub>2e</sub>/kWh, correspondiente a la matriz energética del Ecuador, caracterizada por una alta generación hidroeléctrica [64].

En el caso de la motocicleta a combustión Benelli TNT 25N, se consideró un consumo de 4,30 L/100 km, junto con parámetros fisicoquímicos estándar de la gasolina, como una densidad de 0,74 kg/L y un poder calorífico inferior de 43 MJ/kg. Las emisiones asociadas al combustible se desagregaron en emisiones refinamiento combustible (WTT), con un factor de 0,0000199 t CO<sub>2e</sub>/MJ, y emisiones por combustión directa en el motor (TTW), con un factor de 0,0000693 t CO<sub>2e</sub>/MJ, siguiendo el enfoque Well-to-Wheel [64].

Las emisiones de fabricación del vehículo se incorporaron como valores agregados tomados de literatura especializada, diferenciando entre la fabricación del vehículo sin batería y la fabricación de la batería en el caso de la motocicleta eléctrica. Asimismo, se consideraron emisiones asociadas al mantenimiento a lo largo de la vida útil, con valores mayores para la motocicleta de combustión debido a la mayor complejidad mecánica.

### 4.3.1 Análisis de resultados de ciclo de vida

Para esta sección se aplican tanto los factores como las fórmulas anteriormente vistas para tener un panorama más amplio en lo que respecta a emisiones de CO<sub>2</sub> para cada motocicleta. Se presenta los resultados obtenidos mediante la herramienta Excel para facilitar los cálculos.

**Tabla 36** Ciclo de Vida Super Soco Tc Max

<b>Etapas detalladas</b>	<b>Unidad</b>	<b>Super Soco TC Max (t CO<sub>2</sub>)</b>
Fabricación - vehículo (chasis + tren motriz)	t CO <sub>2</sub> e	0,40
Fabricación - batería	t CO <sub>2</sub> e	0,58
Uso (WTW) - electricidad útil en el vehículo	t CO <sub>2</sub> e	2,57
Uso (WTW) - pérdidas T&D (15,9%)	t CO <sub>2</sub> e	0,57
Uso (WTW) - pérdidas de carga (15%)	t CO <sub>2</sub> e	0,45
Mantenimiento	t CO <sub>2</sub> e	0,09
Total	t CO <sub>2</sub> e	4,68

En la fase de producción, las emisiones correspondientes al vehículo (chasis y unidad de potencia) alcanzan las 0,40 t CO<sub>2</sub>e, mientras que la producción de la batería genera 0,58 t CO<sub>2</sub>e, lo que constituye una parte importante de las emisiones iniciales del sistema.

En la fase de uso, las emisiones relacionadas con el consumo de electricidad útil del vehículo son de 2,57 t CO<sub>2</sub>e. A este valor, las emisiones provienen de pérdidas en la transmisión y distribución de electricidad (0,57 t CO<sub>2</sub>e) y pérdidas en el proceso de carga (0,45 t CO<sub>2</sub>e), lo que muestra la importancia de considerar un enfoque Well-to-Wheel en el análisis de motocicletas eléctricas. Por otro lado, las emisiones relacionadas con el mantenimiento son significativamente menores, con un valor de 0,09 t CO<sub>2</sub>e durante toda su vida útil. En total, la motocicleta eléctrica Super Soco TC

Max genera 4,68 t de CO<sub>2</sub>e a lo largo de su ciclo de vida. Normalizando este valor respecto a la distancia recorrida, se obtiene una emisión específica aproximada de 46,98 g CO<sub>2</sub>e/km.

**Tabla 37** Ciclo de Vida Benelli TNT 25N

<b>Etapa detallada</b>	<b>Unidad</b>	<b>Benelli TNT 25N (t CO<sub>2</sub>)</b>
Fabricación - vehículo (chasis + tren motriz)	t CO <sub>2</sub> e	0,29
Uso (WTW) - combustible upstream (WTT)	t CO <sub>2</sub> e	2,71
Uso (WTW) - combustión en el motor (TTW)	t CO <sub>2</sub> e	9,44
Mantenimiento	t CO <sub>2</sub> e	0,19
<b>Total</b>	<b>t CO<sub>2</sub>e</b>	<b>12,64</b>

Se observa que la fase de uso es la principal fuente de emisiones y concentra la mayor parte del impacto ambiental del vehículo. En particular, las emisiones relacionadas con el uso de combustibles generales (WTT) ascienden a 2,71 t CO<sub>2</sub>e, mientras que las emisiones procedentes de la combustión directa en el motor (TTW) ascienden a 9,44 t CO<sub>2</sub>e.

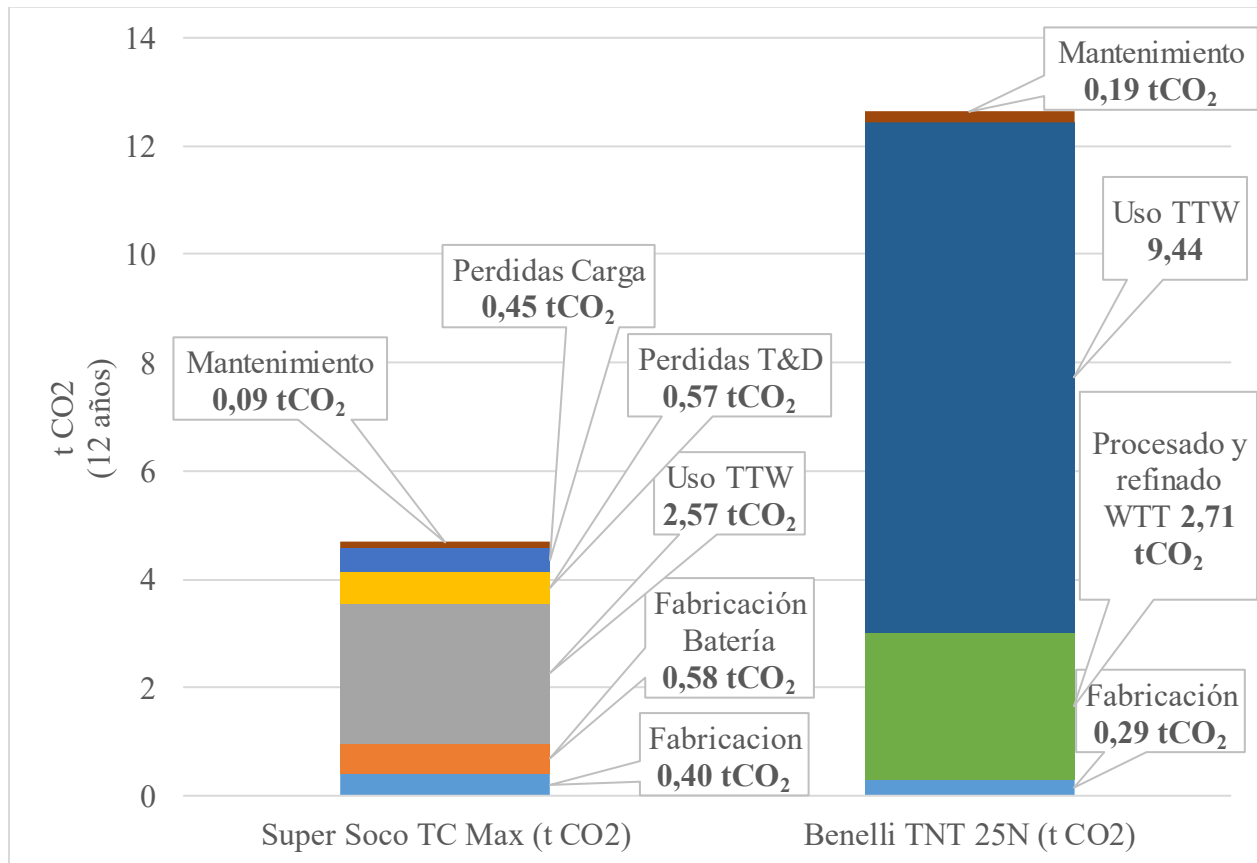
En general, estas etapas son las que más contribuyen al ciclo de vida total, lo que indica el gran impacto ambiental asociado con el consumo de gasolina en las motocicletas de combustión interna. La producción de vehículos genera 0,29 t de CO<sub>2</sub>e, correspondientes a procesos industriales y a la producción de materiales para chasis y transmisiones.

Por otro lado, las emisiones relacionadas con el mantenimiento durante todo el período de operación alcanzan las 0,19 t CO<sub>2</sub>e, un valor relativamente bajo en comparación con la fase de uso. En total, el Benelli TNT 25N genera 12,64 t de CO<sub>2</sub>e durante todo su ciclo de vida. Normalizando este valor respecto a la distancia recorrida se obtiene una emisión específica aproximada de 126 g CO<sub>2</sub>e/km.

### 4.3.2 Análisis de Gráficos Ciclo de Vida

La Figura 29 muestra la comparación de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente del ciclo de vida de la motocicleta eléctrica Super Soco TC Max y la motocicleta de combustión interna Benelli TNT 25N, considerando un horizonte de análisis de 12 años y un recorrido total de 99 600 km. Las emisiones se desagregan por etapas del ciclo de vida, incluyendo fabricación, uso bajo el enfoque Well-to-Wheel (WTW) y mantenimiento, lo que permite identificar con claridad las principales fuentes de impacto ambiental de cada tecnología.

**Figura 29** Toneladas de CO<sub>2</sub> Ciclo de Vida

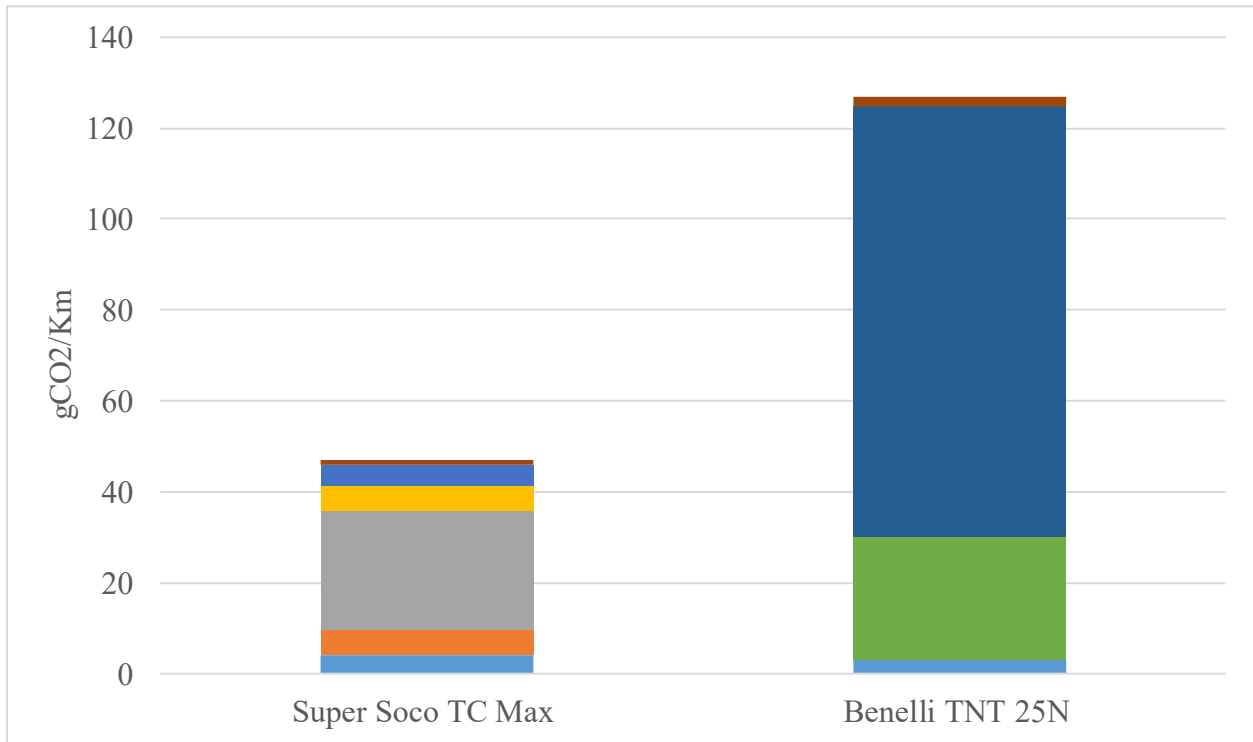


A partir de la Figura 29, se observa que la Super Soco TC Max presenta un impacto ambiental significativamente menor, con emisiones totales cercanas a 4,40 t CO<sub>2</sub>e a lo largo de su ciclo de vida. En este caso, la mayor contribución corresponde a la fase de uso, asociada al consumo de electricidad y a las pérdidas por transmisión, distribución y carga. Las emisiones de fabricación del vehículo y de la batería representan una fracción relevante del total, mientras que el mantenimiento tiene una incidencia marginal.

Por el contrario, la Benelli TNT 25N alcanza emisiones totales del orden de 12,7 t CO<sub>2</sub>e, triplicando el valor de la motocicleta eléctrica. La gráfica evidencia que la fase de uso domina ampliamente el impacto ambiental, especialmente por las emisiones derivadas de la combustión directa en el motor (TTW) y del refinamiento del combustible (WTT). Las etapas de fabricación y mantenimiento aportan valores menores en comparación con el uso, pero no logran compensar la elevada carga ambiental asociada al consumo de gasolina.

La siguiente tabla muestra la desagregación de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes por kilómetro recorrido (gCO<sub>2</sub>e/km) para la motocicleta eléctrica Super Soco TC Max y la motocicleta de combustión Benelli TNT 25N, considerando las principales etapas del ciclo de vida: fabricación, uso (Well-to-Wheel) y mantenimiento.

**Figura 30** Emisiones de CO<sub>2</sub> por km



la Super Soco TC Max, el valor total de emisiones es de 46,99 gCO<sub>2</sub>e/km. Se observa que la mayor contribución proviene de la etapa de uso (WTW), asociada principalmente al consumo de electricidad, con 25,84 gCO<sub>2</sub>e/km, además de las pérdidas en transmisión y distribución de la red eléctrica (15,9 %), que aportan 5,75 gCO<sub>2</sub>e/km, y las pérdidas del proceso de carga (15 %), con 4,56 gCO<sub>2</sub>e/km. Asimismo, la fabricación de la batería representa 5,82 gCO<sub>2</sub>e/km, evidenciando que el impacto ambiental inicial del vehículo eléctrico se concentra en esta etapa. Por otro lado, la Benelli TNT 25N presenta un valor total significativamente mayor, de 126,86 gCO<sub>2</sub>e/km. En este caso, el impacto dominante se encuentra claramente en la etapa de uso, donde la combustión directa del combustible en el motor (TTW) aporta 94,74 gCO<sub>2</sub>e/km, mientras que la etapa refinamiento del combustible (WTT) añade 27,21 gCO<sub>2</sub>e/km.

## CAPITULO V

### 5. Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del análisis técnico y económico realizado en la investigación. Estas se fundamentan en los resultados obtenidos a partir de los ensayos experimentales, del cálculo del Costo Total de Propiedad y análisis del ciclo de vida, permitiendo evaluar de manera objetiva el desempeño y viabilidad de las motocicletas analizadas.

#### 5.1 Conclusiones

- La selección de la Benelli TNT 25N como motocicleta de combustión interna fue técnicamente justificada, al presentar condiciones comparables con la Super Soco TC Max en términos de precio de adquisición 4020 USD vs. 4000 USD, segmento de uso urbano y prestaciones orientadas a movilidad diaria.
- La caracterización estructural evidenció que la motocicleta eléctrica posee una arquitectura mecánica simplificada, con ausencia de sistemas de combustión, lubricación, escape y transmisión compleja, reduciendo significativamente el número de componentes móviles. En contraste, la motocicleta de combustión incorpora sistemas adicionales asociados al motor térmico, lo que incrementa los requerimientos de mantenimiento, la probabilidad de fallas y los costos operativos.

- Para un horizonte de 12 años y un kilometraje acumulado de 99 600 km (8 300 km/año), la motocicleta eléctrica alcanzó un Costo Total de Propiedad (TCO) de 8767 USD, equivalente a 0,08 USD/km, mientras que la motocicleta de combustión registró un TCO de 12 831 USD, equivalente a 0,12 USD/km.
- A partir de una ruta de conducción en condiciones reales, que incluyó tramos urbanos, rurales y de autopista, se determinó que la Super Soco TC Max presenta un consumo promedio de 3,40 kWh/100 km, equivalente a 0,38 L-eq/100 km, mientras que la Benelli TNT 25N registró un consumo promedio de 4,30 L/100 km. Estos resultados confirman una mayor eficiencia energética del sistema eléctrico, bajo condiciones reales de operación.
- El ACV evidenció que la Super Soco TC Max genera un total de 4,68 t CO<sub>2</sub>e a lo largo de su ciclo de vida, frente a 12,64 t CO<sub>2</sub>e de la Benelli TNT 25N, lo que representa una reducción aproximada del 65 % en emisiones totales. En términos normalizados, la motocicleta eléctrica registra 46,08 g CO<sub>2</sub>e/km, mientras que la motocicleta de combustión alcanza 126,85 g CO<sub>2</sub>e/km, siendo la fase de uso el principal contribuyente en la motocicleta de combustión debido a la combustión directa del combustible.

## 5.2 Recomendaciones

- Considerando que la motocicleta eléctrica presentó un TCO menor 0,08 USD/km frente a 0,12 USD/km y una reducción del 65 % en emisiones de CO<sub>2</sub>, se recomienda que los resultados de este estudio sirvan como base técnica para incentivos económicos, tributarios o regulatorios orientados a la adopción de motocicletas eléctricas en el contexto ecuatoriano.
- Se recomienda que futuros estudios de consumo energético en motocicletas prioricen el uso de rutas en condiciones reales de operación, en lugar de ciclos de laboratorio, ya que permiten capturar variaciones reales de velocidad, tráfico y topografía, proporcionando resultados más representativos, como el consumo observado de 4,30 L/100 km en la motocicleta de combustión y 3,40 kWh/100 km (0,38 L-eq/100 km) en la motocicleta eléctrica.
- Se recomienda promover el uso de fuentes renovables para la recarga, lo cual permitiría reducir aún más el valor de 44,09 g CO<sub>2</sub>e/km, incrementando el beneficio ambiental del sistema de transporte eléctrico.
- Se recomienda fortalecer programas de capacitación técnica especializada en sistemas de propulsión eléctrica, electrónica de potencia y gestión de baterías, con el fin de preparar al sector automotriz y de mantenimiento para una transición progresiva hacia tecnologías eléctricas, reduciendo costos operativos y tiempos de servicio.
- Se sugiere ampliar el alcance del estudio hacia flotas de reparto, mensajería urbana y transporte institucional, donde se maneja un alto kilometraje anual.

## 6. Bibliografía

- [1] F. Schneider, D. S. Castillo Castro, K.-C. Weng, C.-H. Shei, y H.-T. Lin, «Comparative Life Cycle Assessment (LCA) on battery electric and combustion engine motorcycles in Taiwan», *J. Clean. Prod.*, vol. 406, p. 137060, jun. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137060.
- [2] M. T. Muslim, H. Selamat, A. J. Alimin, N. Mohd Rohi, y M. F. Hushim, «A review on retrofit fuel injection technology for small carburetted motorcycle engines towards lower fuel consumption and cleaner exhaust emission», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 35, pp. 279-284, jul. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.04.037.
- [3] C.-T. Chung y Y.-H. Hung, «Energy improvement and performance evaluation of a novel full hybrid electric motorcycle with power split e-CVT», *Energy Convers. Manag.*, vol. 86, pp. 216-225, oct. 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.04.043.
- [4] G. Carranza, M. Do Nascimento, J. Fanals, J. Febrer, y C. Valderrama, «Life cycle assessment and economic analysis of the electric motorcycle in the city of Barcelona and the impact on air pollution», *Sci. Total Environ.*, vol. 821, p. 153419, may 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153419.
- [5] P. D. Walker y H. M. Roser, «Energy consumption and cost analysis of hybrid electric powertrain configurations for two wheelers», *Appl. Energy*, vol. 146, pp. 279-287, may 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.02.009.
- [6] L. A. Jácome y P. M. Llano, «ELECTRICAL MOTORCYCLE» 2020.

[7] «Vehiculos electricos de autoescuela Vehiculos electricos de autoescuela el futuro de los emprendimientos comerciales sostenibles», FasterCapital. Accedido: 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://fastercapital.com/es/contenido/Vehiculos-electricos-de-autoescuela--Vehiculos-electricos-de-autoescuela--el-futuro-de-los-emprendimientos-comerciales-sostenibles.html>

[8] N. R. Teixidor y J. P. Rodríguez, «IMPACTO ENERGÉTICO-AMBIENTAL DEL SERVICIO DE MOTOCICLETA ELÉCTRICA COMPARTIDA EN LA CIUDAD DE MADRID».

[9] G. Sanchez, «Estado del Arte Movilidad Electrica», Accedido: 3 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt596.pdf>

[10] C. Commons, «Movilidad Electrica Sostenible», Accedido: 3 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en:

[https://www.sum4all.org/data/files/buildingblocksandpolicyrecommendations\\_spanish.pdf](https://www.sum4all.org/data/files/buildingblocksandpolicyrecommendations_spanish.pdf)

[11] B. Kvaale, «Range Anxiety Alleviation for Electric Vehicles using a Dual Extended Kalman Filter with a Nonlinear Battery Model».

[12] R. Zahedi, A. A. Pourezzat, y M. Jafari, «Hybrid energy storage system for electric motorcycles: Technical and economic analysis», *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 60, p. 104613, ago. 2024, doi: 10.1016/j.csite.2024.104613.

- [13] Z. Wang, G. Feng, D. Zhen, F. Gu, y A. Ball, «A review on online state of charge and state of health estimation for lithium-ion batteries in electric vehicles», *Energy Rep.*, vol. 7, pp. 5141-5161, nov. 2021, doi: 10.1016/j.egy.2021.08.113.
- [14] P. Tajasob, S. M. J. Mirzapour Al-e-Hashem, S. Karimi, y S. Mansour, «Dynamic emergency routing problem for electric motorcycle fleets under uncertain conditions considering battery swapping», *Comput. Ind. Eng.*, vol. 208, p. 111406, oct. 2025, doi: 10.1016/j.cie.2025.111406.
- [15] «Conversor e inversor: electrónica básica de los vehículos eléctricos | Editores». Accedido: 27 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.editores-srl.com.ar/autor/ricardo\\_berizzo/20210701\\_conversor\\_e\\_inversor\\_electronica\\_basica\\_de\\_los\\_vehiculos\\_electricos](https://www.editores-srl.com.ar/autor/ricardo_berizzo/20210701_conversor_e_inversor_electronica_basica_de_los_vehiculos_electricos)
- [16] veleztecnico, «Diagrama PV de un motor de ciclo teórico Otto», makinando. Accedido: 9 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://makinandovelez.wordpress.com/2017/11/12/diagrama-pv-de-un-motor-de-ciclo-teorico-otto/>
- [17] «Standard Flooded», Default. Accedido: 14 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.autobatteries.com/battery-technology/standard-flooded>
- [18] «The Advantages of AGM Batteries | VARTA Automotive Batteries». Accedido: 14 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.varta-automotive.com/knowledge/articles/article-details/is-an-agm-battery-better>

[19] Nigel, «Cell Energy Density», Battery Design. Accedido: 14 de julio de 2025. [En línea].

Disponible en: <https://www.batterydesign.net/cell-energy-density/>

[20] «NMC vs NCA Battery Cell: What's the difference | Grepow». Accedido: 14 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.grepow.com/blog/nmc-vs-nca-battery-cell-what-is-the-difference.html>

[21] «Lithium iron phosphate (LFP) batteries in EV cars: Everything you need to know».

Accedido: 14 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://chargelab.co/blog/lithium-iron-phosphate-batteries>

[22] «Manual de Baterias Bosch | PDF | Corriente eléctrica | voltaje», Scribd. Accedido: 30 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://es.scribd.com/document/55116567/BATERIAS-BOSCH>

[23] «CNEL en Cifras», CNEL EP. Accedido: 15 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en:

<https://www.cnelep.gob.ec/cnel-en-cifras/>

[24] «Ministerio de Energía y Minas – Ecuador». Accedido: 15 de julio de 2024. [En línea].

Disponible en: <https://www.recursoyenergia.gob.ec/>

[25] «ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA | ARIAE». Accedido: 15 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en:

<https://www.ariae.org/servicio-documental/atlas-solar-del-ecuador-con-fines-de-generacion-electrica>

- [26] «CENTRAL EÓLICA “VILLONACO” – Ministerio de Energía y Minas». Accedido: 15 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/central-eolica-villonaco/>
- [27] Ministerio Energía y Minas, A. G. Savinovich, y S. E. Echeverría, «Balance Energetico Nacional 2023».
- [28] V. C. Mieles, «Balance Nacional de Energía Eléctrica», CNEL EP. Accedido: 27 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cnelep.gob.ec/balance-nacional-de-energia-electrica/>
- [29] «Anuarios – AEADE». Accedido: 30 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.aeade.net/anuario/>
- [30] P. Llanos y P. Santiago, «Determinación de los ciclos de conducción de un vehículo categoría M1 para la ciudad de Cuenca».
- [31] H. Steven, «RWTÜV Fahrzeug GmbH Institute for Vehicle Technology».
- [32] C.-Y. Lee, T.-Y. Wu, y H.-S. Cap, «Predicting energy consumption of hydrogen-powered scooters through WMTC drive cycle», *Energy*, vol. 322, p. 135755, may 2025, doi: 10.1016/j.energy.2025.135755.
- [33] A. N. del Ecuador, «Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial», ago. 2021, Accedido: 29 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://biblioteca.defensoria.gob.ec/handle/37000/3371>

[34] «Ministerio de Transporte y Obras Públicas – Entidad rectora del Sistema Nacional del Transporte Multimodal que formula, implementa y evalúa políticas, regulaciones, planes, programas y proyectos que garantizan una red de Transporte seguro y competitivo, minimizando el impacto ambiental y contribuyendo al desarrollo social y económico del País.» Accedido: 15 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.obraspublicas.gob.ec/>

[35] «RTE INEN 136 (1R).PDF - Google Drive». Accedido: 30 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1VwXyt5jiJ-K4SiuYdYD0WrVOcl8gG4jb/view>

[36] «Nte Inen 2558-1 | PDF», Scribd. Accedido: 30 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/448258212/nte-inen-2558-1>

[37] «PUDELECO - PLUSVALOR digital». Accedido: 30 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.pudeleco.com/plusva/plv17-005.html>

[38] «[PDF] RepublicofEcuador EDICTOFGOVERNMENT± - Free Download PDF». Accedido: 30 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://silo.tips/download/republicofecuador-edictofgovernment-129>

[39] «Resolución 18 347 NTE INEN 2557 Seguridad en motocicletas, dirección, procedimientos de inspección», vLex. Accedido: 30 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://vlex.ec/vid/18-347-nte-inen-748502129>

[40] M. Hu *et al.*, «TCO analysis of commercial vehicles considering refined temperature impacts across various provinces in China», *Energy Sustain. Dev.*, vol. 87, p. 101726, ago. 2025, doi: 10.1016/j.esd.2025.101726.

- [41] D.-S. Tran, «Total cost of ownership comparison for electric two-wheelers in Vietnam».
- [42] M. Weiss, P. Dekker, A. Moro, H. Scholz, y M. Patel, «On the electrification of road transportation – A review of the environmental, economic, and social performance of electric two-wheelers», *Transp. Res. Part Transp. Environ.*, vol. 41, dic. 2015, doi: 10.1016/j.trd.2015.09.007.
- [43] F. Duchin y S. H. Levine, «Combining Multiregional Input-Output Analysis with a World Trade Model for Evaluating Scenarios for Sustainable Use of Global Resources, Part II: Implementation», *J. Ind. Ecol.*, vol. 20, n.º 4, pp. 783-791, 2016, doi: 10.1111/jiec.12302.
- [44] P. Antonio de Albuquerque Felizola Romeral y E. Zancul, «Total Cost of Ownership of Electric Vehicles: A Synthesis of Critical Factors», *J. Eng.*, vol. 2025, jul. 2025, doi: 10.1049/tje2.70113.
- [45] D. N. Azin, A. G. Savinovich, y S. E. Echeverría, «PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA».
- [46] L. Jaramillo, «CRÉDITOS Y AUTORES DEL DIN».
- [47] «SINGEI ECUADOR – Sistema Nacional de Inventario de Gases Efecto Invernadero – SINGEI». Accedido: 16 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://singei.ambiente.gob.ec/singei/?page\\_id=1309](https://singei.ambiente.gob.ec/singei/?page_id=1309)
- [48] «Air pollution | European Environment Agency's home page». Accedido: 16 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution>

- [49] savart, «BMS: Battery Management System», savart. Accedido: 28 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://savart-ev.com/en/bms-how-savart-motors-ensures-safety-and-efficiency-in-their-e-motorcycles/>
- [50] «Toyota Motor Asia (TMA)». Accedido: 28 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.toyota-asia.com>
- [51] The4, «E-Bike BMS Guide: Battery Management System Safety & Performance», Macfox Bike. Accedido: 28 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://macfoxbike.com/blogs/knowledge/battery-management-system-complete-guide>
- [52] R. Zahedi, A. A. Pourezzat, y M. Jafari, «Hybrid energy storage system for electric motorcycles: Technical and economic analysis», *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 60, p. 104613, ago. 2024, doi: 10.1016/j.csite.2024.104613.
- [53] «What Is BMS in an Electric Vehicle (EV)?- System that monitors and controls battery state and performance - - Panasonic». Accedido: 28 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://industrial.panasonic.com/ww/ds/ss/technical/ap8>
- [54] D.-S. Tran, «Total cost of ownership comparison for electric two-wheelers in Vietnam».
- [55] «AEADE – Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador». Accedido: 15 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.aeade.net/>

[56] Z. Mera y G. Bieker, «COMPARISON OF THE LIFE-CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS OF COMBUSTION ENGINE AND ELECTRIC PASSENGER CARS AND TWO-WHEELERS IN INDONESIA».

[57] «Costo de la tarifa eléctrica se mantiene para sectores residencial y comercial; industriales recibirán incentivos por autogeneración de energía - Corporación Eléctrica del Ecuador».

Accedido: 29 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://www.celec.gob.ec/noticias/costo-de-la-tarifa-electrica-se-mantiene-para-sectores-residencial-y-comercial-industriales-recibiran-incentivos-por-autogeneracion-de-energia/>

[58] Petroecuador, «ESTRUCTURA-DE-PRECIOS-DICIEMBRE-2024», dic. 2024, Accedido: 29 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/12/ESTRUCTURA-DE-PRECIOS-DICIEMBRE-2023.pdf>

[59] R. Córdova y D. Alejandro, «Estudio de factibilidad técnica y económica para la implementación de un servicio de mantenimiento para motocicletas en el cantón Sevilla de Oro».

[60] «Productos». Accedido: 15 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://www.zurichseguros.com.ec/tipos-de-seguros>

[61] «Impuestos Vehiculares - intersri - Servicio de Rentas Internas». Accedido: 29 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sri.gob.ec/impuestos-vehiculares#%C2%BFcu%C3%A1les-son?>,

[62] C. Ibarra, «GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE SAN MIGUEL DE IBARRA».

[63] O. US EPA, «Fuel Economy and EV Range Testing». Accedido: 14 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/greenvehicles/fuel-economy-and-ev-range-testing>

[64] R. Criollo, «Factor-de-emision-de-CO2-del-Sistema-Nacional-Interconectado-de-Ecuador-Informe-2024\_compressed». Accedido: 15 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: [https://arconel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/09/Factor-de-emision-de-CO2-del-Sistema-Nacional-Interconectado-de-Ecuador-Informe-2024\\_compressed.pdf](https://arconel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/09/Factor-de-emision-de-CO2-del-Sistema-Nacional-Interconectado-de-Ecuador-Informe-2024_compressed.pdf)

## ANEXOS

## ANEXO 1

### Caracterización componentes motocicletas



## ANEXO 2

### Configuración de equipos prueba de ruta



## ANEXO 3

### Pruebas en ruta condiciones reales de operación

