



Análisis de los parámetros de operación de la gestión de energía de vehículos BEV L1-B

M.V. por flujo de datos en vivo, mediante ciclos de conducción armonizados WMTC

“World Motorcycle Test Cycles” y JC08

Llambo Ulpo, Bryan Tarquino y Andachi Valencia, Kevin Adrian

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de unidad de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero

Automotriz

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio

18 de febrero de 2026



INFORME DE ANÁLISIS
magister

UIC ANDACHI_LLAMBO

5%
Textos sospechosos

- < 1% Similitudes
 - 0% similitudes entre citas
 - 0% entre las fuentes mencionadas
- 2% Idiomas no reconocidos
- 2% Textos potencialmente generados por IA

Nombre del documento: UIC ANDACHI_LLAMBO.docx
ID del documento: f7b11eae1c444b9e0e83ac3e5dd080ebd231f0b
Tamaño del documento original: 3.15 MB

Depositante: LEONIDAS ANTONIO QUIROZ ERAZO
Fecha de depósito: 13/2/2026
Tipo de carga: interface
Fecha de fin de análisis: 13/2/2026

Número de palabras: 15.593
Número de caracteres: 104.551

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Monar Pachacama Estudio de la Autonomía VE L2 CMDR RICKSHA Viene de de m: biblioteca 5 fuentes similares	1%		Palabras identificadas: 1% (106 palabras)
2	DOCUMENTO DE TITULACIÓN ALVAREZ BURBANO.docx Viene de de m: biblioteca 2 fuentes similares	< 1%		Palabras identificadas: < 1% (10 palabras)
3	repositorio.espe.edu.ec HTTP://repositorio.espe.edu.ec/2100/2434/1/ESPEL_Mat%20.pdf 1 fuente similar	< 1%		Palabras identificadas: < 1% (10 palabras)
4	repositorio.espe.edu.ec Analisis de la independencia y el rol de la policía en el análisis HTTP://repositorio.espe.edu.ec/2100/2434/1/ESPEL_Mat%20.pdf 1 fuente similar	< 1%		Palabras identificadas: < 1% (10 palabras)
5	www.imt.mx HTTP://www.imt.mx/medios/ficheros/medios/Publiaciones/Factura.pdf 3 fuentes similares	< 1%		Palabras identificadas: < 1% (10 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www1.upme.gov.co HTTP://www1.upme.gov.co/Content/Documentos/QuerozErazo/ECOC-1.pdf	< 1%		Palabras identificadas: < 1% (14 palabras)
2	dspace.ups.edu.ec HTTP://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2435/1/PS-CTO-11885.pdf	< 1%		Palabras identificadas: < 1% (14 palabras)
3	repositorio.utm.edu.ec Analisis de autonomía de batería y ciclos de conducción ... HTTP://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/2435/1/MAUT-182-TRABAJO-DE-GRADUACI...	< 1%		Palabras identificadas: < 1% (14 palabras)
4	repositorio.unab.edu.co HTTP://repositorio.unab.edu.co/bitstream/20500/12746/285/1/11848.pdf	< 1%		Palabras identificadas: < 1% (12 palabras)
5	dspace.uazuay.edu.ec Obtención de un ciclo típico de conducción para los vehi... HTTP://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/20500/12746/285/1/11848.pdf	< 1%		Palabras identificadas: < 1% (12 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://www.bvva.com/es/sostenibilidad/cual-es-la-autonomia-de-un-coche-electrico-claves-para-su-uso/>
- <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2435/1/PS-CTO-11885.pdf>
- <https://www.jdpower.com/>
- <https://www.jdpower.com/cars/shopping-guides/what-does-kw-and-kwh-mean-for-electric-cars>
- <https://unece.org/>



Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio

Director



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de unidad de integración curricular: **"Análisis de los parámetros de operación de la gestión de energía de vehículos BEV L1-B M.V. por flujo de datos en vivo, mediante ciclos de conducción armonizados WMTC "World Motorcycle Test Cycles" y JC08 "** fue realizado por los señores **Andachi Valencia, Kevin Adrian y Llambo Ulpo, Bryan Tarquino**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 18 de febrero del 2026



LEONIDAS ANTONIO
QUIROZ ERAZO

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio

Director

C.C.: 0502509995



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Andachi Valencia, Kevin Adrian** con cédula de ciudadanía N° 1724253149, y **Llambo Ulpo Bryan Tarquino** con cédula de ciudadanía N° 1850818574 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de unidad de integración curricular: **Análisis de los parámetros de operación de la gestión de energía de vehículos BEV L1-B M.V. por flujo de datos en vivo, mediante ciclos de conducción armonizados WMTC "World Motorcycle Test Cycles" y JC08** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 18 de febrero del 2026

Andachi Valencia, Kevin Adrian

C.C.: 1724253149

Llambo Ulpo, Bryan Tarquino

C.C.: 1850818574



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de Publicación

Nosotros, **Andachi Valencia, Kevin Adrian** con cédula de ciudadanía N° 1724253149, y **Llambo Ulpo Bryan Tarquino** con cédula de ciudadanía N° 1850818574, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de unidad de integración curricular: **Análisis de los parámetros de operación de la gestión de energía de vehículos BEV L1-B M.V. por flujo de datos en vivo, mediante ciclos de conducción armonizados WMTC "World Motorcycle Test Cycles" y JC08** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 18 de febrero del 2026

Andachi Valencia, Kevin Adrian

C.C.: 1724253149

Llambo Ulpo, Bryan Tarquino

C.C.: 1850818574

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación, está dedicado a mis padres Narcisa Valencia y Miguel Andachi, han sido un pilar fundamental e indispensable en mi formación como persona y como profesional.

Gracias por el apoyo incondicional, sus enseñanzas y su acompañamiento constante durante todas las dificultades, ese esfuerzo, sacrificio y confianza han sido determinantes para concluir dicho trabajo. De la misma manera dedico este trabajo a mis hermanas Bianca y Nahima y a mi hermano Omar por ser un impulso motivacional para seguir adelante y brindarme su apoyo incondicional en todo momento

Con gratitud y amor este trabajo dedicado para ellos.

Kevin Andachi

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios por darme salud y vida para poder concluir con éxito este trabajo, además de acompañarme durante toda la trayectoria de mi vida.

Agradezco a mis padres hermano y hermanas, por sido un pilar fundamental e indispensable en mi formación como persona y como profesional.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, sede Latacunga, por abrirme las puertas para mi preparación académica, así como por proporcionarme los conocimientos y herramientas indispensables para mi crecimiento profesional.

De manera especial, expreso mi gratitud a mi tutor de investigación el cual ha sido un pilar para mi formación como profesional, y con sus recomendaciones y consejos fueron esenciales para el desarrollo y culminación con éxito este proyecto.

Agradezco a quienes compartieron etapas importantes de mi vida en los buenos y malos momentos transcurridos durante esta etapa de vida.

Kevin Andachi

Dedicatoria

Este trabajo de titulación está dedicado con profundo amor y gratitud a mi familia, quienes han sido el soporte esencial en cada etapa de mi formación personal y profesional.

A mis padres, Carmen y Cesar, por ser ejemplo de fortaleza, valentía y amor incondicional a pesar de las adversidades, su esfuerzo y sacrificio han sido mi inspiración, enseñándome que las limitaciones no definen la grandeza del espíritu y que los valores son primordiales para alcanzar mis metas.

De manera muy especial, dedico este logro a mi hermana Erika, quien ha sido un pilar fundamental en mi vida. Su apoyo no solo ha sido emocional e incondicional, brindándome la tranquilidad y las oportunidades necesarias para continuar y culminar mis estudios. Con sus palabras de aliento, su confianza en mí y su acompañamiento constante, se convirtió en mi guía y en una segunda madre. Este logro también es suyo, porque sin su esfuerzo, sacrificio y respaldo incondicional, no habría sido posible alcanzar esta meta.

Con gratitud y amor.

Bryan Llambo

Agradecimiento

Expreso mi más profundo agradecimiento, en primer lugar, a Dios por concederme la vida, salud y sabiduría para culminar esta importante etapa de mi formación profesional.

A mis padres y a mi hermana, por su apoyo constante, sacrificios y por creer en mí incluso en los momentos difíciles. Su confianza y respaldo han sido fundamentales para la culminación de este trabajo.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, sede Latacunga, por brindarme la oportunidad de formarme académicamente, así como por proporcionarme los conocimientos y herramientas indispensables para mi desarrollo profesional.

De manera especial, expreso mi gratitud a mi tutor de investigación por su orientación, paciencia y valiosas recomendaciones, las cuales fueron esenciales para el desarrollo y culminación de este proyecto.

Asimismo, agradezco a quienes compartieron etapas importantes de mi vida, incluso aquellas experiencias que implicaron cambios y despedidas necesarias para fortalecer mi resiliencia y enfoque en mis metas personales.

Bryan Llambo

Índice de contenidos

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Dedicatoria	8
Agradecimiento	9
Índice de contenidos	10
Índice de tablas	15
Índice de figuras.....	16
Resumen.....	18
Abstract	19
Capítulo I	20
Introducción.....	20
Estado del arte	21
Resumen del Trabajo	22
Metodología	23
Objetivos	24
<i>Objetivo General</i>	24
<i>Objetivos Específicos</i>	25
Capítulo II.....	26

Marco teórico	26
Vehículos eléctricos BEV.....	26
Capacidad de carga.....	26
Potencia específica.....	27
Eficiencia energética.....	27
Factores que afectan la eficiencia en vehículos eléctricos.....	27
<i>Temperatura ambiente</i>	27
<i>Aceleraciones bruscas</i>	27
<i>Estado de Salud (SOH) de la batería</i>	28
<i>Rendimiento energético promedio</i>	28
<i>Autonomía ideal</i>	29
<i>Autonomía predicha</i>	29
<i>Potencia eléctrica</i>	29
<i>Capacidad de la batería</i>	30
Tratamiento de valores atípicos	30
<i>Método de Grubbs</i>	30
Análisis de dependencia lineal	31
<i>Coefficiente de correlación de Pearson</i>	31
Ciclos de conducción.....	31
<i>World Motorcycle Test Cycle (WMTC)</i>	32
<i>Japanese Cycle 2008 (JC08)</i>	34
Capítulo III	37
Metodología	37
Tipo y enfoque de la investigación	38
Diseño de la investigación	38
Registro y reporte de datos	39

Ciclo de conducción armonizado WTMC para la evaluación de la eficiencia energética	39
Diseño de las rutas	40
Ruta de prueba para el ciclo armonizado WMTC urbano.....	42
<i>Ruta definida</i>	42
<i>Velocidad de conducción</i>	43
Ruta de prueba para el ciclo armonizado WMTC tráfico interurbano	43
<i>Ruta definida</i>	44
<i>Velocidad de conducción</i>	44
Ruta de prueba para el ciclo armonizado WMTC extraurbano	44
<i>Ruta definida</i>	45
<i>Velocidad de conducción</i>	45
Ciclo de conducción armonizado JC08	45
Diseño de la ruta.....	46
<i>Ruta definida</i>	47
<i>Velocidad de conducción</i>	48
Especificaciones de la motocicleta de propulsión eléctrica	48
Perfil de velocidad del ciclo de conducción WMTC	52
Perfil de velocidad del ciclo de conducción JC08	53
Capítulo IV	54
Resultados y análisis	54
Modelo estadístico de predicción	54
<i>Regresión lineal simple</i>	54
<i>Regresión polinómica o no lineal</i>	54
<i>Regresión lineal múltiple cruzada</i>	54
Justificación del modelo seleccionado	55
Variables	55

Filtración de datos atípicos	56
Depuración estadística mediante diagrama de caja	56
<i>Gráficas de caja ciclo WMTC parte 1 (urbano)</i>	56
<i>Gráficas de caja ciclo WMTC parte 2 (interurbano)</i>	58
<i>Gráficas de caja ciclo WMTC parte 3 (extraurbano)</i>	60
<i>Gráficas de caja ciclo JC08</i>	61
Filtración de datos atípicos de forma manual	63
Análisis de correlación por el método de Pearson	64
Valores atípicos por el método de Grubbs	67
Obtención del modelo matemático por el método de regresión lineal	68
Regresiones múltiples	68
<i>Regresiones para la predicción de autonomía WMTC urbano</i>	71
<i>Algoritmo de autonomía ciclo WMTC urbano</i>	72
<i>Regresiones para la predicción de autonomía WTMC interurbano</i>	72
<i>Algoritmo de autonomía ciclo WMTC interurbano</i>	73
<i>Regresiones para la predicción de autonomía WMTC extraurbano</i>	73
<i>Algoritmo de autonomía del ciclo WMTC extraurbano</i>	74
<i>Regresiones para la predicción de autonomía JC08</i>	74
<i>Algoritmo de autonomía del ciclo JC08</i>	75
Validación del algoritmo	76
Cálculo de la autonomía ciclo WMTC	76
Cálculo de la autonomía ciclo JC08	78
Modelo matemático estadístico para el análisis de la eficiencia energética	78
<i>Energía consumida</i>	79
<i>Rendimiento calculado</i>	80
Modelo matemático WMTC Urbano	80

<i>Cálculo del modelo matemático WMTC urbano</i>	80
Modelo matemático WMTC interurbano.....	83
<i>Cálculo del modelo matemático</i>	83
Modelo matemático WMTC extraurbano.....	85
<i>Cálculo del modelo matemático WMTC extraurbano</i>	85
Modelo matemático JC08.....	87
<i>Cálculo del modelo matemático JC08</i>	88
Comparación de la autonomía real y la predicha de cada ciclo de conducción	89
<i>Ciclo WMTC</i>	90
<i>Urbano</i>	90
<i>Interurbano</i>	90
<i>Extraurbano</i>	90
CICLO JC08.....	90
Capítulo V	93
Conclusiones y recomendaciones.....	93
Conclusiones.....	93
Recomendaciones	95
Referencias	96
Apéndices	100

Índice de tablas

Tabla 1 Parámetros característicos del ciclo de conducción WMTC	33
Tabla 2 Parámetros característicos del ciclo de conducción JC08	36
Tabla 3 Límites máximos de velocidad establecidos en la LOTTSV	42
Tabla 4 Especificaciones técnicas de la motocicleta eléctrica	49
Tabla 5 Variables del módulo de adquisición de datos en vivo	55
Tabla 6 Matriz comparativa del número estadístico Anderson-Darling	63
Tabla 7 Comparación de coeficientes Pearson en variables en correlaciones críticas.....	65
Tabla 8 Verificación de valores atípicos mediante la prueba de Grubbs.....	67
Tabla 9 Reporte y análisis estadístico del ciclo WMTC urbano	76
Tabla 10 Reporte y análisis estadístico del ciclo WMTC Interurbano.....	77
Tabla 11 Reporte y análisis estadístico del ciclo WMTC extraurbano	77
Tabla 12 Valores tomando del reporte y análisis estadístico del ciclo JC08	78
Tabla 13 Valores para el cálculo de la capacidad de la batería.....	81
Tabla 14 Valores para el cálculo de la energía consumida ciclo WMTC urbano	82
Tabla 15 Distancia total recorrida durante el ciclo WMTC trayecto urbano.....	82
Tabla 16 Valores para el cálculo de la energía consumida ciclo WMTC interurbano	84
Tabla 17 Distancia total recorrida durante el ciclo WMTC trayecto interurbano.....	85
Tabla 18 Valores del reporte y análisis estadístico del ciclo WTMC extraurbano	85
Tabla 19 Valores para el cálculo de la energía consumida ciclo WMTC extraurbano	87
Tabla 20 Distancia total recorrida durante el ciclo WMTC trayecto extraurbano.....	87
Tabla 21 Valores para el cálculo de la energía consumida ciclo JC08.....	89
Tabla 22 Distancia total recorrida durante el ciclo JC08	89
Tabla 23 Error porcentual de la autonomía de cada ciclo.....	91

Índice de figuras

Figura 1 Modelo de la motocicleta eléctrica.....	26
Figura 2 Ciclo de conducción WMTC	32
Figura 3 <i>Ciclo de conducción Japanese Cycle (JC08)</i>	35
Figura 4 Metodología para la aplicación del ciclo WMTC y JC08	37
Figura 5 Proceso de ciclo de conducción armonizado WTMC	41
Figura 6 Ruta de prueba para el ciclo armonizado WMTC urbano	42
Figura 7 Ruta de prueba para el ciclo armonizado WMTC tráfico interurbano	43
Figura 8 Ruta de prueba para el ciclo armonizado WMTC extraurbano	44
Figura 9 Proceso de ciclo de conducción armonizado JC08.....	46
Figura 10 Ruta de prueba para el ciclo armonizado JC08.....	47
Figura 11 Motocicleta eléctrica utilizada para el desarrollo de la prueba.....	49
Figura 12 Trayectoria recorrida correspondiente al ciclo WMTC parte 1 (urbana)	50
Figura 13 Trayectoria recorrida ciclo WMTC parte 2 (interurbano)	50
Figura 14 Trayectoria recorrida ciclo WMTC parte 3 (extraurbana)	51
Figura 15 Trayectoria recorrida ciclo JC08	52
Figura 16 Perfiles de velocidad del ciclo WMTC adaptados a la ciudad de Latacunga.....	53
Figura 17 Perfil de velocidad del ciclo JC08 adaptado a la ciudad de Latacunga	53
Figura 18 Elementos de un diagrama de caja.....	56
Figura 19 Gráficas de caja para las variables del ciclo WMTC urbano.....	57
Figura 20 Gráficas de caja para las variables del ciclo WMTC interurbano.....	59
Figura 21 Gráficas de caja para las variables del ciclo WMTC extraurbano.....	60
Figura 22 Gráficas de caja para las variables del ciclo JC08	62
Figura 23 Entrada de variables de respuesta y predictores	69
Figura 24 Variables de respuesta y predictores para la regresión del tiempo	70
Figura 25 Variables de respuesta y predictores para la regresión de la corriente	70

Figura 26 Comparación del error porcentual entre la autonomía real y predicha.	92
--	----

Resumen

La investigación del análisis de los parámetros de operación de la gestión de energía de vehículos BEV L1-B.M.V. por flujo de datos en vivo, mediante ciclos de conducción armonizados WMTC “World Motorcycle Test Cycle” y JC08, se desarrolló mediante el estudio del sistema de tracción en una motocicleta eléctrica, adaptando los ciclos a las condiciones de la ciudad de Latacunga conforme a los parámetros establecidos en cada protocolo. Se monitoreó y registró en tiempo real las variables operativas de gestión del sistema de tracción eléctrica del BEV voltaje, corriente, temperatura, velocidad, ángulo de inclinación, revoluciones por minuto, porcentaje de aceleración y tiempo, con el objetivo de analizar la autonomía del vehículo. La base de datos fue procesada mediante un software especializado en análisis estadístico y mejora de procesos, aplicando regresión lineal múltiple para obtener un modelo matemático predictivo, validado mediante la detección y filtrado de valores atípicos a través del método de Grubbs, análisis de correlación de Pearson y diagramas de caja o bigotes, mejorando el coeficiente de determinación del modelo. Como resultado, se obtuvo un algoritmo con un coeficiente de determinación superior al 60 %, capaz de proyectar la autonomía con un margen de error de ± 7 %. Se evidenció una diferencia de autonomía entre ciclos de 3,33 km en el JC08 y 1,16 km en el WMTC, determinándose que, bajo condiciones de mayor exigencia energética, caracterizadas por aceleraciones de alta demanda y mayores distancias recorridas, el ciclo WMTC presentó una mejor adaptación al modelo matemático desarrollado.

Palabras clave: Ciclos de conducción, modelo matemático, vehículo eléctrico, vehículo ligero de dos ruedas.

Abstract

Research into the analysis of the operating parameters of energy management in L1-B BEV vehicles. M.V. by live data flow, using harmonized WMTC (World Motorcycle Test Cycle) and JC08 driving cycles, was developed by studying the traction system in an electric motorcycle, adapting the cycles to the conditions of the city of Latacunga in accordance with the parameters established in each protocol. The operating variables of the BEV electric traction system voltage, current, temperature, speed, angle of inclination, revolutions per minute, acceleration percentage, and time were monitored and recorded in real time in order to analyze the vehicle's range. The database was processed using specialized software for statistical analysis and process improvement, applying multiple linear regression to obtain a predictive mathematical model, validated by detecting and filtering outliers using the Grubbs method, Pearson's correlation analysis, and box plots or whisker plots, improving the model's coefficient of determination. As a result, an algorithm with a coefficient of determination greater than 60 % was obtained, capable of projecting range with a margin of error of $\pm 7\%$. A difference in range between cycles of 3.33 km in the JC08 and 1.16 km in the WMTC was observed, determining that, under more demanding energy conditions, characterized by high demand acceleration and longer distances traveled, the WMTC cycle was better suited to the mathematical model developed.

Keywords: Driving cycles, mathematical model, electric vehicle, light two wheeled vehicle.

Capítulo I

Introducción

El presente estudio analiza los ciclos de conducción armonizados WMTC (World Motorcycle Test Cycle) y JC08 (Japanese Cycle 2008) mediante la evaluación de parámetros de desempeño energético en un vehículo eléctrico de categoría L1-B M.V., en el cual se implementó un sistema de monitoreo de la gestión electrónica basada en el flujo de datos en vivo.

La investigación tiene como finalidad evaluar el comportamiento energético bajo condiciones reales de conducción, estableciendo la relación entre el consumo de energía y el rendimiento energético obtenido. A partir de la recopilación de datos, se desarrollará un modelo matemático capaz de proyectar la autonomía en función de las condiciones dinámicas de operación.

Para ello, se implementarán ciclos de conducción armonizados considerando factores que influyen en el estilo de conducción, tales como tráfico en horas pico, la geografía del entorno y elementos de seguridad vial entre ellos semáforos, reductores de velocidad e irregularidades en la calzada.

Se establecerán protocolos de pruebas en zonas urbanas, interurbanas y extraurbanas conforme a las características definidas en cada ciclo, con el propósito de registrar en tiempo real variables como: temperatura, rpm, velocidad, ángulo de inclinación, voltaje, corriente, porcentaje de aceleración y tiempo. El procesamiento de la información permitirá determinar la relación entre la energía consumida y la distancia recorrida en Wh/km, así como las diferencias de desempeño bajo distintos escenarios de conducción.

Estado del arte

Modelos de predicción del consumo energético del vehículo a batería han mostrado diferencias entre energía predicha y energía consumida bajo condiciones reales de conducción. En rutas urbanas e interurbanas los residuos del modelo variaron entre -16.60 % y 9,77 %. (López & Fernández, 2020).

El consumo energético de un vehículo eléctrico depende de variables como distancia, orografía, aceleración, desaceleración, velocidad y la masa total ya que el incremento de aceleración demanda mayor uso de corriente. (Merchán, 2018)

Emplear coeficientes de correlación de Pearson entre 1 o -1 ayuda a determinar variables significativas dependiendo de cada ciclo como son corriente y energía de descarga, tiempo de operación, temperatura y odómetro (Duque & Rocano, 2018).

Los modelos de consumo energético en función de la potencia reportan un error del 11.87 % en rangos de baja velocidad y del 3,2 % en altas velocidades debido a que las distancias son los pesos para evaluar el error en todo el ciclo (Fiori, Ahn, & Rakha, 2016).

La clasificación de ciclos de conducción suele basarse en parámetros como distancia, velocidad media, aceleración positiva media los inconvenientes que presentan es ignorar características dinámicas relevantes como pendientes (Merchán, 2018).

El análisis de los coeficientes de correlación lineal débil de $r=0,31$ y $r=0,26$ entre consumo de energía y tiempo de viaje presentan condiciones ideales por lo que correlaciones negativas de $r=-0,54$ y $r=-0,43$ son más fuertes con el consumo de energía (Hu, Wu, & Schwanen, 2017).

El ciclo de conducción JC08 se utiliza para evaluar la autonomía y consumo del vehículo eléctrico en condiciones urbanas, con una duración de 20 minutos y un recorrido de 8,17 km. Para evaluar la autonomía en este ciclo se considera paradas de un 30 % del tiempo estimado ya que en autopista o alta velocidad no reflejan el comportamiento del vehículo (Martyushev, Malozyomov, Sorokova, Efremkov, & Qi, 2023).

Un modelo predictivo de consumo energético que considera inclinación de la calzada y condiciones de tráfico muestran que incorporar variables topográficas reducen un consumo de energía de hasta un 10 %. (Luin, Petelin, & Al-Mansour, 2019).

El ciclo WMTC puede subestimar los requisitos del tren motriz y la batería dependiendo de su uso y ubicación geográfica por lo que en superficies planas con una sola carga el consumo de energía suele ser de 0,11 kWh/km (Hajduk, y otros, 2025)

Resumen del Trabajo

En los últimos años, el auge de la movilidad eléctrica ha impulsado un crecimiento notable en el desarrollo de vehículos eléctricos a batería (BEV, por sus siglas en inglés), especialmente en las categorías de baja cilindrada como los BEV L1 – B M.V., que corresponden a motocicletas eléctricas de baja potencia utilizadas principalmente en entornos urbanos. Estos vehículos representan una alternativa sostenible frente a los vehículos de combustión interna, ya que ofrecen ventajas en eficiencia energética, emisiones y costos operativos.

Los ciclos de conducción armonizados, como el WMTC (World Motorcycle Test Cycle) y el JC08 (ciclo japonés de emisiones y consumo), se utilizan como herramientas estandarizadas para simular condiciones reales de conducción y evaluar el desempeño energético y ambiental de los vehículos eléctricos. Sin embargo, aún es limitada la cantidad de estudios que apliquen flujo de datos en vivo para analizar cómo varían estos parámetros en motocicletas eléctricas en funcionamiento real durante estos ciclos.

Se fundamentó de manera técnica y normativamente el uso de los ciclos armonizados WMTC y JC08 en vehículos BEV L1-B en función de las características topográficas y operacionales en el país, además se propone el diseño y desarrollo de protocolos de prueba experimentales, donde se definen parámetros como eficiencia, autonomía, parámetros de carga y descarga durante los ciclos mencionados.

Se desarrollaron protocolos experimentales de prueba para los ciclos WMTC y JC08, adaptados a las características operativas de la motocicleta seleccionada. Estos protocolos considerarán parámetros clave como distancia recorrida, perfil de velocidad, tiempos de arranque y frenado, pendiente del terreno, condiciones de carga del vehículo, temperatura y estado de batería, replicando con la mayor fidelidad posible las condiciones establecidas por los estándares internacionales, pero aplicados al entorno real.

Se aplicaron protocolos de prueba a una motocicleta eléctrica BEV L1 – B M.V. Está equipada con un sistema de gestión energética complementaria, con el fin de obtener datos experimentales en tiempo real durante la operación dinámica del vehículo. Estos datos permitirán evaluar de manera cuantitativa el consumo energético, la eficiencia del sistema, la capacidad de recuperación regenerativa, la autonomía estimada y la respuesta ante diferentes exigencias del ciclo.

Se analizó el comportamiento energético real de los vehículos BEV L1 bajo condiciones de operación dinámica, a partir de datos experimentales en tiempo real ya que la mayoría de los análisis actuales utilizan estimaciones que limitan la precisión en la proyección de autonomía y rendimiento energético, considerando los ciclos WMTC y JC08 bajo condiciones reales de conducción urbana con diferentes características topográficas y patrones de tráfico; de tal forma de validar algoritmos y modelos predictivos, y contribuir así al desarrollo de estrategias de optimización para motocicletas eléctricas en entornos urbanos reales.

Metodología

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que se fundamenta en la recolección y análisis de datos numéricos provenientes de la operación en tiempo real de un vehículo BEV L1 – B M.V. mediante flujos de datos en vivo. El alcance de la investigación es explicativo, porque permite describir los parámetros de operación y se analiza el comportamiento bajo condiciones específicas de los ciclos de conducción armonizados y

experimental, al ejecutar protocolos de prueba controlados, específicamente de ciclos de conducción estandarizados como el WMTC (World Motorcycle Test Cycle) y el JC08.

El diseño de la investigación es experimental y comparativo en la que se sigue un proceso cronológico que comprende la selección del vehículo, la aplicación de los ciclos y el análisis comparativo matemático de los resultados. La información se obtiene de fuentes primarias, como informes técnicos y resultados de pruebas aplicadas, y de fuentes secundarias como artículos científicos, fichas técnicas, manuales y normativas de los ciclos de conducción armonizados.

La recolección de datos se efectuó mediante el estudio de normativas, ejecución de los protocolos de prueba y el registro continuo de los parámetros durante cada recorrido con su respectivo procesamiento de datos por medio de una hoja de cálculo y un software especializado en análisis de datos comprende la evaluación estadística del rendimiento energético Wh/km, la implementación de un algoritmo de proyección de autonomía con relación a variables de mayor incidencia como tiempo, temperatura, velocidad, corriente y voltaje.

Para el análisis se aplicaron técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales, incluyendo el coeficiente de correlación de Pearson, detección de valores atípicos mediante el método de Grubbs y la regresión lineal múltiple usando el método de mínimos cuadrados ordinarios. Asimismo, se utilizaron representaciones gráficas como diagramas de caja o bigotes para la visualización y validación de los resultados.

Objetivos

Objetivo General

Analizar los parámetros de operación de la gestión de energía de vehículos BEV L1-B M.V. por flujo de datos en vivo, mediante ciclos de conducción armonizados WMTC “World Motorcycle Test Cycles” y JC08.

Objetivos Específicos

Desarrollar los protocolos de pruebas por ciclos de conducción armonizados en zonas urbanas y extraurbanas a ser aplicados en el vehículo BEV L1 – B M.V. por flujo de datos en vivo.

Diseñar y adaptar los protocolos de los ciclos de conducción WMTC y JC08 para la recolección de datos en zonas urbanas, interurbanas y extraurbanas aplicándolos a un vehículo BEV L1-B M.V. para evaluar su gestión de energía en condiciones reales de operación.

Ejecutar pruebas dinámicas en condiciones reales utilizando ciclos armonizados WMTC y JC08 en un vehículo BEV L1-B M.V., con el fin de registrar los parámetros de operación relevantes para el análisis de su gestión energética.

Analizar ambientes de consumo de energía con relación a la velocidad del vehículo, voltaje total batería vs SOC de carga y descarga a través de un algoritmo que proyecte la autonomía BEV L1 – B M.V.

Recolectar y analizar datos experimentales en tiempo real durante la ejecución de los ciclos de conducción armonizados WMTC y JC08, con el fin de evaluar de manera precisa parámetros de operación y la gestión de energía del vehículo BEV L1-B M.V.

Desarrollar e implementar un algoritmo de proyección de autonomía que relacione los parámetros de operación energética del vehículo (velocidad, SOC y voltaje) con el consumo de energía por kilómetro para estimar de manera precisa la gestión de energía del BEV L1-B M.V.

Capítulo II

Marco teórico

Vehículos eléctricos BEV

Son vehículos 100 % eléctricos utilizan uno o más motores eléctricos alimentados por baterías recargables que son alimentadas por la red eléctrica en motocicletas eléctricas ofrecen una aceleración instantánea, dando como resultado aceleraciones rápidas y sin demora (Trashorras, 2019)

Figura 1

Modelo de la motocicleta eléctrica.



Nota. La figura muestra características estéticas y el modelo. Tomado de Ecomove (2022).

La Figura muestra una motocicleta de la categoría L se encuentran los vehículos de motor con menos de cuatro ruedas así un vehículo con categoría L1 es catalogado como un vehículo de dos ruedas y cilindrada inferior a 50 cm^3 . La propulsión eléctrica en los vehículos implica un cambio en la tecnología utilizada pero el concepto de movilidad de los vehículos motorizados convencionales sigue siendo el mismo (Jaimez, 2019).

Capacidad de carga

La capacidad de carga relaciona directamente la cantidad total de carga que puede almacenar y a su vez suministrar de manera óptima y segura, considerando dos variables: potencia y tiempo, el último es el primordial al momento de realizar una carga profunda, esta capacidad de carga se expresa como Kilovatios hora (kWh) (recharged, 2025)

Potencia específica

La potencia específica es la cantidad de energía que se puede suministrar por unidad de masa. Se expresa en vatios por kilogramos ($\frac{W}{kg}$), indica la capacidad de la batería del vehículo eléctrico para suministrar energía eléctrica de forma rápida, importante al momento de lograr una alta aceleración y capacidad de aceleraciones espontaneas (Uyaguari, 2020)

Eficiencia energética

La eficiencia de un vehículo eléctrico es la capacidad de aprovechar al máximo la energía almacenada en la batería para poner en marcha el vehículo, reduciendo el tiempo y las pérdidas de potencia en el sistema de propulsión en condiciones dinámicas de conducción, este concepto no solo involucra el rendimiento del motor eléctrico, sino también la gestión de la batería y condiciones de operación influyendo directamente en la autonomía, consumo energético y rendimiento del vehículo (Montes, 2024).

Factores que afectan la eficiencia en vehículos eléctricos

Temperatura ambiente

La temperatura incide directamente en el correcto funcionamiento de la batería, porque cuando la temperatura ambiente es mayor a 35°C el calor degrada de forma química y aumenta la resistencia interna.

Por otro lado, cuando la temperatura es menor a 10°C las reacciones químicas internas dentro de la batería se vuelven más lentas, el litio se mueve peor entre electrodos, causando un deterioro y degenerando la batería con el tiempo hasta quedar obsoleta, es un factor importante a tomar en consideración en la operación de vehículos eléctricos en zonas donde las temperaturas varíen extremadamente. (Electroverse, 2023).

Aceleraciones bruscas

Durante una aceleración fuerte, la batería entrega corrientes muy elevadas superando los 400-600 A, esto genera pérdidas por calor porque al acelerar de forma brusca y frecuente la

temperatura tiende una tendencia a aumentar en el interior de las baterías más específicamente en las celdas.

Estado de Salud (SOH) de la batería

El State of Health (SOH) es una medida del estado actual de una batería comparada con la capacidad de carga original de la batería de fábrica, expresado generalmente en nivel de porcentaje. Utilizado para la evaluación del estado de vida útil de la batería y degradación prematura, este dato es crucial para determinar cuando la batería requiere un reemplazo o mantenimiento, ayuda a predecir la degradación de la batería ya que a una menor salud de batería implica una menor autonomía y menor eficiencia en el sistema en general (Energy, 2024).

Rendimiento energético promedio

Para el rendimiento energético se toman en cuenta variables como la estructura del vehículo, el tipo de conducción topografía y condiciones ambientales se calcula a partir de la corriente promedio I_{pred} , y el valor de la tensión nominal V , estableciendo relaciones matemáticas entre la potencia eléctrica demandada y la velocidad media v , lo que representa como la energía consumida por unidad de distancia (Donkers, Yang, & Viktorović, 2020).

$$\eta_{prd} = \frac{V * I_{pred}}{u} \quad (1)$$

Dónde:

η_{prd} : Rendimiento energético promedio

V : Tensión nominal [V]

I_{pred} : Corriente promedio [A]

u : Velocidad media $\left[\frac{m}{s}\right]$

Autonomía ideal

La autonomía ideal del vehículo eléctrico, se expresa matemáticamente como la relación entre la capacidad de la batería E_{batt} y el rendimiento energético predicho η_{prd} lo que da como resultado la distancia total que el vehículo puede recorrer con la energía almacenada sin la necesidad de recargar la batería (Argentaria, 2024).

$$A_{ideal} = \frac{E_{batt}}{\eta_{prd}} \quad (2)$$

Dónde:

A_{ideal} : Autonomía ideal [km]

E_{batt} : Capacidad de la batería [Wh]

η_{prd} : Rendimiento promedio $\left[\frac{Wh}{km} \right]$

Autonomía predicha

La autonomía predicha es un valor de estimación que permite conocer cuántos kilómetros puede recorrer el vehículo eléctrico, por esta razón el cálculo la autonomía ideal debe ajustarse mediante un factor de eficiencia dinámica del ciclo. Describiéndose como el producto entre la autonomía ideal y la eficiencia dinámica del ciclo (Lambrecht, 2023).

$$A_{prd} = A_{ideal} * \eta_{ciclo} \quad (3)$$

Dónde:

A_{prd} : Autonomía predicha [km]

A_{ideal} : Autonomía ideal [km]

η_{ciclo} : Eficiencia dinámica del ciclo

Potencia eléctrica

En automóviles eléctricos la potencia se mide en kilovatios (kW), unidad que representa cuánta energía suministra el motor en un instante de tiempo dato, y que se emplea para describir el desempeño del motor para la estimación del consumo energético; cuanto mayor es

la potencia disponible, mayor será la capacidad de reacción del vehículo para ofrecer aceleraciones y desaceleraciones fuertes y oportunas (Choksey, 2024).

$$P=V \cdot I \quad (4)$$

Dónde:

V: Tensión [V]

I : Intensidad [I].

Capacidad de la batería

Es la cantidad total de energía que puede almacenar la batería hasta su punto máximo de carga, su medición es en kilovatios- hora (kWh) indicando cuanta capacidad puede suministrar durante el tiempo de uso antes de llegar a su punto de descarga, para calcularla se multiplica la tensión nominal (V) por la capacidad nominal (Ah) y por la profundidad de descarga (Finders, 2020).

$$E_{batt}=V \cdot c \cdot KD_o \quad (5)$$

Dónde:

V: Tensión nominal [V]

c: capacidad nominal [Ah]

KD_o: Profundidad de descarga

Tratamiento de valores atípicos

La presencia de uno o más valores atípicos llamados outliers son aquellos que difieren de los demás conjuntos de medida generando un error o perturbación de manera inexplicable por lo que se deben comprobar de manera estadística (Miller & Miller, 2002).

Método de Grubbs

El test de Grubbs es un método que compara la desviación entre el valor sospechoso, la media y la desviación estándar del conjunto de muestras comprobando que la hipótesis nula H_o provienen de la misma población (Miller & Miller, 2002).

$$G = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s} \quad (6)$$

Dónde:

x_i : Valor sospechoso.

$\bar{x}$: Media muestral.

s : Desviación estándar.

Análisis de dependencia lineal

El estudio de la correlación tiene como objetivo medir la fuerza de relación lineal entre dos o más variables, se realiza previo a la regresión para identificar que variables de entrada se relacionan con la variable de salida.

Coefficiente de correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de producto momento, también conocido como coeficiente de Pearson, se simboliza con r y ofrece una medida numérica de correlación entre variables cuantitativas (Fiallos, 2021).

Es un índice fácil de interpretar ya que oscila entre -1 y 1 dependiendo del signo su relación puede ser directa e inversa.

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{s_{xx}s_{yy}}} \quad (7)$$

Dónde:

S_{xy} : Suma de productos cruzados

s_{xx} : Suma de cuadrados de x

s : Desviación estándar.

Ciclos de conducción

Los ciclos de conducción están definidos por organismos reguladores como la Agencia de Protección Ambiental (EPA), la comisión de las naciones unidas para Europa (UNECE) y entidades nacionales con la finalidad de asegurar una evaluación homogénea y repetible de

vehículos y/o motocicletas en términos de rendimiento y eficiencia para un análisis de comportamiento de manejo (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, 2026)

Se consideran factores que afectan directamente al estilo de conducción como son el tráfico leve o fuerte en horas pico, desperfectos en la calzada o elementos de seguridad vial como semáforos, rompe velocidades y cambios en la sección de la vía, geografía y factores climáticos incidien directamente en el estilo de conducción.

Los ciclos de conducción reflejan la manera de comportamiento de los usuarios al volante, ya sea en un entorno de área urbana, interurbana y extraurbana mediante el análisis de datos de diferentes velocidades en un tiempo específico (Chicaiza & Duchi, 2023).

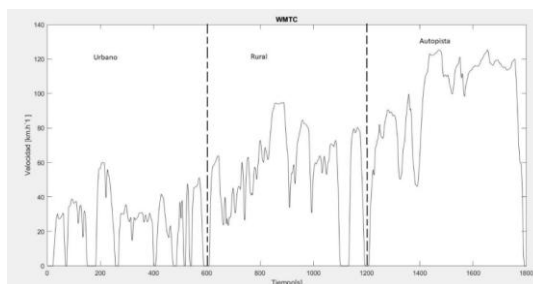
World Motorcycle Test Cycle (WMTC)

El ciclo mundial de pruebas de motocicletas (WMTC), fue propuesto por la Comisión Europea para Europa (CEPE) su propósito es medir el consumo de energía en función del tiempo con el objetivo de crear ciclos de conducción reales desde el tráfico urbano. (UNNECE, 2012)

El WMTC no es obligatorio para los fabricantes, pero en mercados regulados por la Unión Europea se deben someter a esta prueba para su comercialización (Evoke Electric Motorcycles, 2021).

Figura 2

Ciclo de conducción WMTC



Nota. La gráfica muestra el esquema gráfico del ciclo de conducción WMTC. Tomado de (Rosas & Trujillo, 2022).

En la Tabla se evidencia los parámetros principales del ciclo WMTC entre ellos la duración total del ciclo, distancia, velocidad media, velocidad máxima, número de parada, aceleraciones, desaceleraciones etc., característicos de este ciclo.

Tabla 1

Parámetros característicos del ciclo de conducción WMTC

Parámetro	Valor	Unidad
Parte 1, velocidad reducida		
Duración total del ciclo	600	s
Distancia recorrida	3,93701	km
Velocidad media	23,6	km/h
Velocidad máxima	49,99	km/h
Número de paradas	8	–
Tiempo de ralentí	207	s
Aceleración máxima	0,398	m/s ²
Desaceleración máxima	-0,448	m/s ²
Tipo de conducción	Urbana	–
Parte 2, velocidad reducida		
Duración total del ciclo	600	s
Distancia recorrida	8,97183	km
Velocidad media	53,8	km/h
Velocidad máxima	84,85	km/h
Número de paradas	3	–
Tiempo de ralentí	198	s
Aceleración máxima	0,395	m/s ²
Desaceleración máxima	-0,470	m/s ²
Tipo de conducción	Interurbana	–
Parte 3, velocidad reducida		
Duración total del ciclo	600	s
Distancia recorrida	14,43572	km
Velocidad media	86,6	km/h

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad máxima	111,31	km/h
Número de paradas	2	–
Tiempo de ralentí	159	s
Aceleración máxima	0,222	m/s ²
Desaceleración máxima	-0,313	m/s ²
Tipo de conducción	Extraurbana	–

Nota. En la tabla se presentan los datos de los parámetros característicos del ciclo de conducción WMTc. Tomado de (Barlow, Latham, McCrae, & Boulter, 2009).

Japanese Cycle 2008 (JC08)

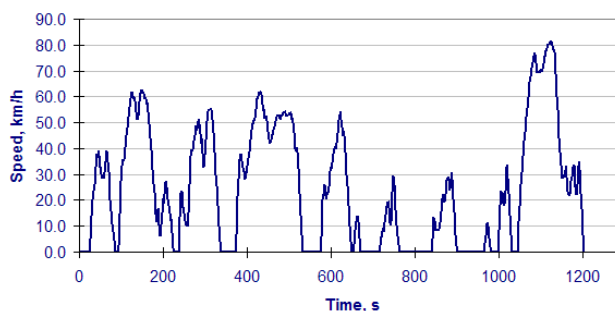
El ciclo de conducción asiático, conocido como JC08 es utilizado desde el año 2008 en Japón y otros países asiáticos para evaluar las emisiones y el consumo de combustible en vehículos, este ciclo incluye un mayor énfasis en las condiciones de conducción urbana y suburbana.

El ciclo de conducción JC08 se emplea de manera oficial el año 2011 como procedimiento estándar para la evaluación de emisiones contaminantes y determinación de consumo energético en vehículos, cuyo peso bruto vehicular no supere los 3500 kg (Dieselnet, 2026)

Este ciclo de conducción alcanza valores aproximados a los 80 km/h permitiendo simular tramos de circulación más fluida en entornos urbanos de alto congestionamiento, caracterizado por frecuentes detenciones, aceleraciones y desaceleraciones progresivas en el transcurso de la prueba.

Figura 3

Ciclo de conducción Japanese Cycle (JC08)



Nota. La figura muestra el esquema gráfico de ciclo de conducción JC08. Tomado de (Dieselnet, 2026).

El perfil de velocidad-tiempo correspondiente al ciclo de conducción Japanese Cycle 2008 (JC08), utilizado para evaluar el desempeño energético, en el eje horizontal se representa el tiempo de prueba expresado en segundos (s), mientras en el eje vertical se representa la velocidad expresada en (km/h).

En la Tabla a continuación se evidencian los parámetros fundamentales del ciclo Japanese Cycle (JC08) como tiempo total del ciclo de conducción, distancia recorrida y velocidad media y máxima.

Tabla 2*Parámetros característicos del ciclo de conducción JC08*

Parámetro	Valor	Unidad
Duración total del ciclo	1 204	s
Distancia recorrida	8.171	km
Velocidad media	24,4	km/h
Velocidad máxima	81,6	km/h
Número de paradas	23	—
Tiempo de ralentí	390	s
Aceleración máxima	1,5	m/s ²
Desaceleración máxima	-1,9	m/s ²
Tipo de conducción	Urbana	—

Nota. El ciclo JC08 reproduce condiciones de conducción urbana congestionada, caracterizada por frecuentes detenciones, aceleraciones y desaceleraciones. Tomado de (Dieselnet, 2026).

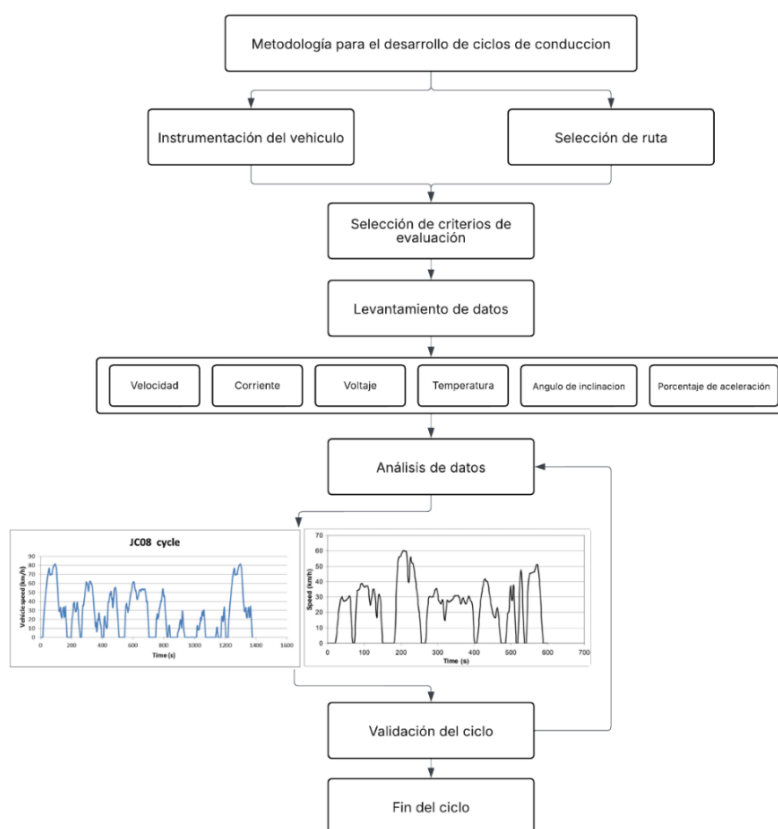
Capítulo III

Metodología

La metodología adoptada para el desarrollo de los ciclos de conducción se estructuró en seis etapas interrelacionadas: instrumentación del vehículo, selección de la ruta, definición de criterios de evaluación, levantamiento de datos, análisis de datos y validación del ciclo, la cual permitió establecer un procedimiento técnico sistemático para su aplicación y evaluación.

Figura 4

Metodología para la aplicación del ciclo WMTC y JC08



Nota. La figura muestra el procedimiento metodológico aplicado al desarrollo y validación de los ciclos de conducción WMTC y JC08.

Tipo y enfoque de la investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, fundamentado en la recolección y análisis de datos numéricos en tiempo real de las variables que influyen en el consumo energético y la estimación de la autonomía. Con base en estos datos se analiza la gestión energética mediante la formulación de un algoritmo predictivo orientado a estimar la autonomía de la motocicleta en función del ciclo de conducción.

Desde el punto de vista estadístico, se emplea un modelo de regresión múltiple aplicado a variables numéricas obtenidas durante la adaptación de los ciclos armonizados. El modelo establece la relación entre variables independientes y la autonomía como variable dependiente, con el objetivo de obtener una estimación cuyo error relativo no supere el 10%, garantizando una aproximación a los valores reales del vehículo.

La investigación presenta un alcance experimental, basado en la ejecución directa de protocolos de prueba controlados para cada ciclo de conducción. En el ciclo WMTC, se realizó su adaptación a condiciones reales de circulación urbana, interurbana y extraurbana, considerando factores como tráfico vehicular, presencia de peatones, semáforos, reductores de velocidad y límites establecidos para la ciudad de Latacunga.

De manera similar, el ciclo JC08 fue ajustado bajo los mismos criterios metodológicos de adaptación ya que el ciclo simula condiciones de tráfico de un entorno japonés, se consideraron a los intervalos de velocidad como parámetro principal para su ejecución experimental.

Diseño de la investigación

El diseño de la presente investigación es de tipo experimental, ya que se ejecutaron de manera controlada los ciclos de conducción armonizados WMTC y JC08 para analizar la respuesta del sistema de gestión energética bajo condiciones definidas. Durante las pruebas se registraron variables operativas como velocidad, voltaje, corriente, temperatura, tiempo, ángulo

de inclinación, porcentaje de aceleración con el propósito de evaluar su influencia en el consumo energético.

La adaptación de los ciclos armonizados a la ciudad de Latacunga consideró las características propias del entorno, principalmente la topografía y las condiciones de circulación. Se analizaron factores como pendientes, variaciones de altitud, secciones rectas y curvas, tráfico vehicular, semáforos, reductores de velocidad y circulación en horas pico. Con base en estos criterios, se ajustaron los perfiles de velocidad y aceleración para representar condiciones reales de la ciudad.

Las pruebas se desarrollaron bajo condiciones reales de conducción, mediante el registro de datos en tiempo real cada 0,5 segundos. Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente para determinar la autonomía y el rendimiento energético del vehículo en cada ciclo.

Registro y reporte de datos

El registro de datos se obtuvo mediante la interconexión de sensores y actuadores integrados al sistema de gestión de la batería, lo que permitió la adquisición continua de información operativa durante la ejecución de los ciclos de conducción.

Esta configuración facilitó la captura del comportamiento dinámico del vehículo bajo diferentes condiciones de velocidad, distancia y tiempo recorrido.

La información recopilada fue almacenada en un dispositivo de memoria externa en formato de texto, organizada en matrices de datos según sus variables para su procesamiento.

A partir de estos registros se efectuó el análisis matemático y estadístico correspondiente, así como la elaboración de tablas, ecuaciones de regresión y gráficos estadísticos que permitan establecer el modelo matemático de predicción de autonomía.

Ciclo de conducción armonizado WTMC para la evaluación de la eficiencia energética

Para el desarrollo del estudio se presentaron diferentes opciones para la selección de rutas, se optó por revisar las referencias de ciclos de conducción armonizados y

acondicionarlos a la ciudad de Latacunga, escogiendo rutas representativas de la ciudad tomando en cuenta el flujo vehicular, vías principales, secundarias y perimetrales, además de la geografía y disposición de viabilidad para el desarrollo de las pruebas.

Diseño de las rutas

El diseño de las rutas se estructuró en tres partes que corresponden a entornos urbano, interurbano y extraurbano. La primera parte comprende un recorrido de 3,93701 kilómetros la segunda abarca una distancia de 8,97183 kilómetros y la tercera una longitud de 14,43572 kilómetros respectivamente.

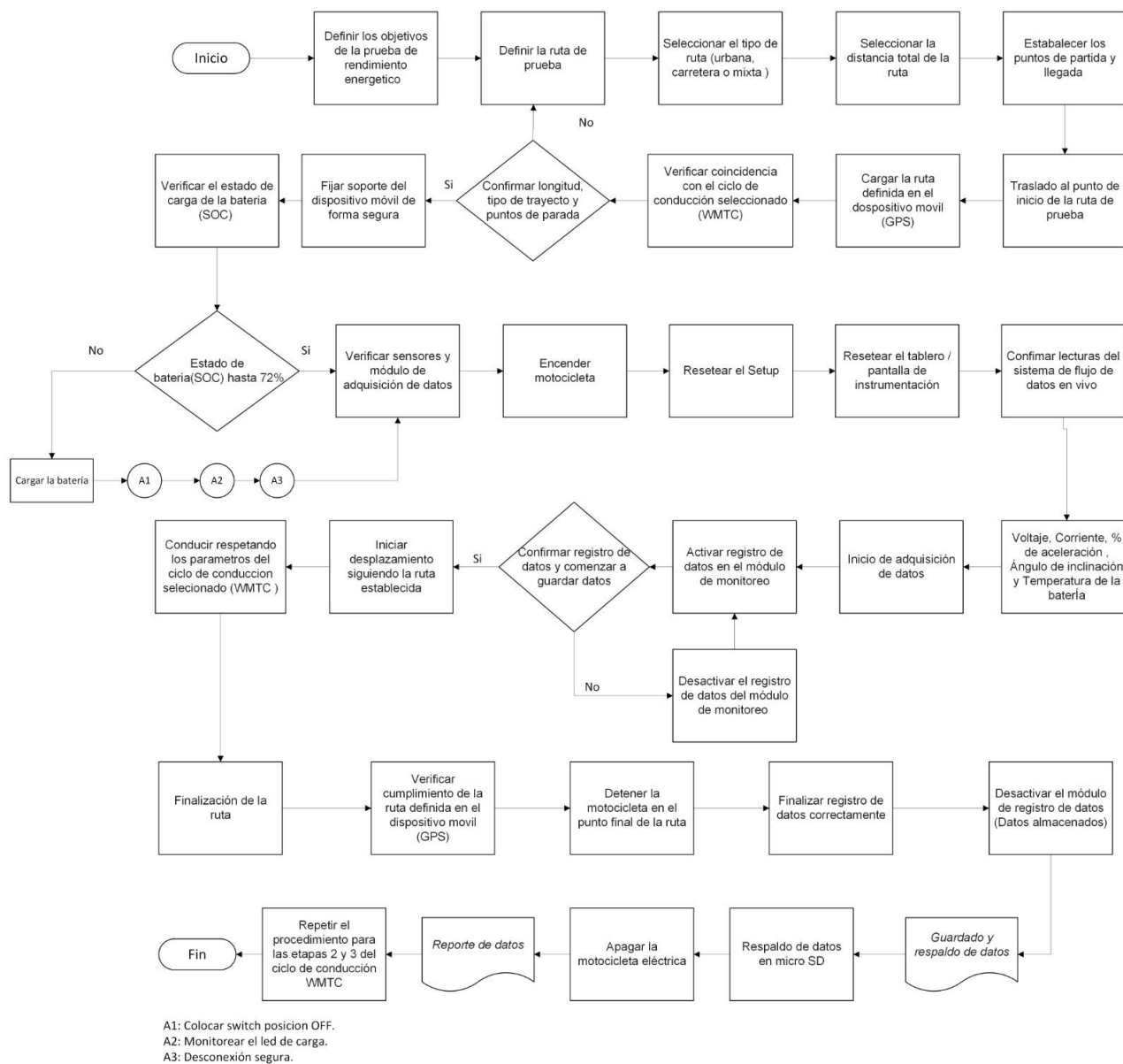
Para garantizar el cumplimiento de los parámetros establecidos en cada ciclo de conducción, los recorridos incluyeron repeticiones de tramos, retornos parciales y extensiones estratégicas de las trayectorias definidas.

Esta configuración permitió ajustar los perfiles de velocidad y la distancia según las condiciones reales de circulación.

Las rutas fueron definidas según las especificaciones técnicas de los ciclos de conducción, adaptándose a los límites de velocidad y a las características operativas establecidas por el ente regulador, así como las condiciones propias del vehículo de prueba.

Figura 5

Proceso de ciclo de conducción armonizado WTMC



Nota. Descripción general del protocolo del ciclo WTMC.

Tabla 3

Límites máximos de velocidad establecidos en la LOTTTSV

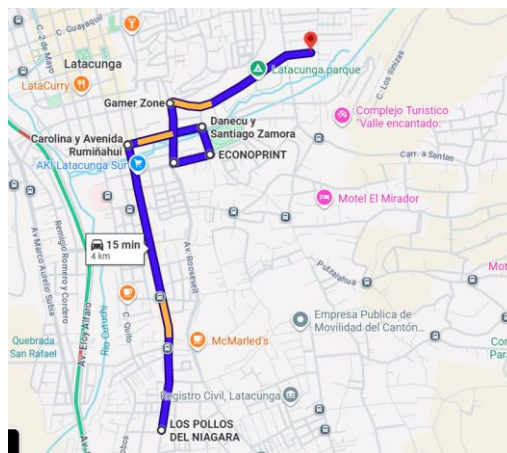
Perfil de carretera	Tipo de carretera	Límite máximo permisible [km/h]
Urbano	Zona urbana	50
Interurbano	Zona interurbana	90
Extraurbano	Vía perimetral	100

Nota. Límites de velocidad conforme a la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial. Tomado de (Transporte, 2021).

Ruta de prueba para el ciclo armonizado WMTC urbano

Figura 6

Ruta de prueba para el ciclo armonizado WMTC urbano



Nota. Tramo seleccionado del ciclo armonizado WMTC urbano. Tomada de Google Maps.

Ruta definida

Se definieron puntos de inicio y finalización en lugares que permitan salidas con aceleraciones progresivas y paradas consecutivas de aproximadamente 4 kilómetros iniciando por la Avenida Unidad Nacional hasta la avenida Rumiñahui simulando conducciones a media y alta velocidad dentro de los límites permitidos en zonas urbanas, posteriormente se realizó

giros consecutivos típicos de conducción a baja velocidad de aquí se incorporó a la vía consecutiva para lograr velocidades máximas permitidas en la zona, en esta ruta se adaptaron paradas, aceleraciones rápidas así como alargamientos de la ruta para completar el ciclo finalizando en la calle Trajano Naranjo y Márquez de Maenza.

Velocidad de conducción

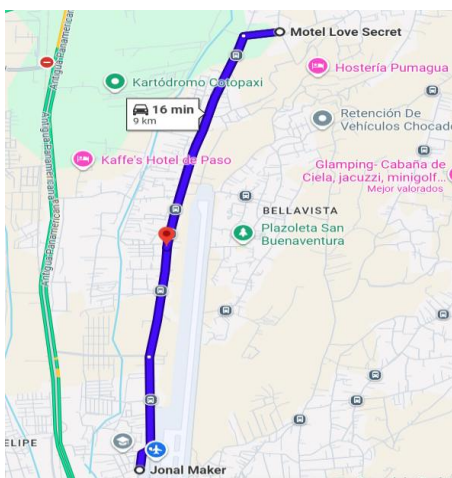
Mantener condiciones de conducción similares del ciclo de conducción a velocidad reducida ayudó a la obtención de la gráfica tiempo- velocidad característico del ciclo para su posterior análisis, por este motivo fue imperativo mantener una velocidad media, picos de aceleración y número de paradas para disminuir variaciones con los demás ciclos.

Al ser un trayecto urbano se mantiene una velocidad máxima de 50 kilómetros por hora y velocidad media de 24 kilómetros por hora, asegurando replicar el ciclo de conducción además del cumpliendo las normativas dentro de los rangos de velocidad establecidos por la entidad competente.

Ruta de prueba para el ciclo armonizado WMTC tráfico interurbano

Figura 7

Ruta de prueba para el ciclo armonizado WMTC tráfico interurbano



Nota. Tramo seleccionado del ciclo armonizado WMTC interurbano intermedio. Tomado de Google Maps.

Ruta definida

En esta ruta el inicio y finalización se establece en lugares que permitan aceleraciones fuertes con una adaptación de parada, de aproximadamente 9 kilómetros iniciando por la avenida Amazonas y Clemente Yerovi hasta la avícola Bellavista simulando una parada necesaria para realizar un retorno por la misma vía hasta la avenida Miguel Iturralde y Campoverde a media y alta velocidad dentro de los límites permitidos en zonas interurbanas.

Velocidad de conducción

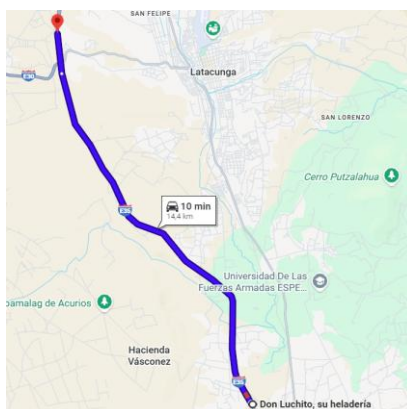
Mantener condiciones de conducción en la zona interurbana ayuda a lograr altas velocidades para la obtención de la gráfica tiempo- velocidad característico del ciclo por lo cual es necesario replicar estas velocidades evitando grandes variaciones por el estilo de conducción.

Al tratarse de un trayecto interurbano se procuró mantener una velocidad máxima de 84 kilómetros por hora y velocidad media de 54 kilómetros por hora, asegurando replicar el ciclo de conducción además de tomar consideraciones de límites de velocidad, peatones, estado de la vía garantizando la integridad del conductor y la motocicleta.

Ruta de prueba para el ciclo armonizado WMTC extraurbano

Figura 8

Ruta de prueba para el ciclo armonizado WMTC extraurbano



Nota. Tramo seleccionado, ciclo armonizado WMTC extraurbano. Tomado de Google Maps.

Ruta definida

Esta ruta representa un trayecto interurbano de aproximadamente 14 kilómetros la cual se realizó en vías carreteras Panamericanas al ser una vía en la que los vehículos imprimen altas velocidades la ruta inicia desde la Gasolinera Primax Belén garantizando una salida segura y a altas velocidades utilizando el carril derecho por la carretera E35 la cual cuenta con pendientes y bajadas que ayudan a simular aceleraciones y desaceleraciones a altas velocidades aprovechando el relieve de la carretera se contó con una parada de semáforo obligatoria hasta su detención completa por la carretera Panamericana Salcedo en una heladería garantizando un parqueo seguro del conductor y del vehículo.

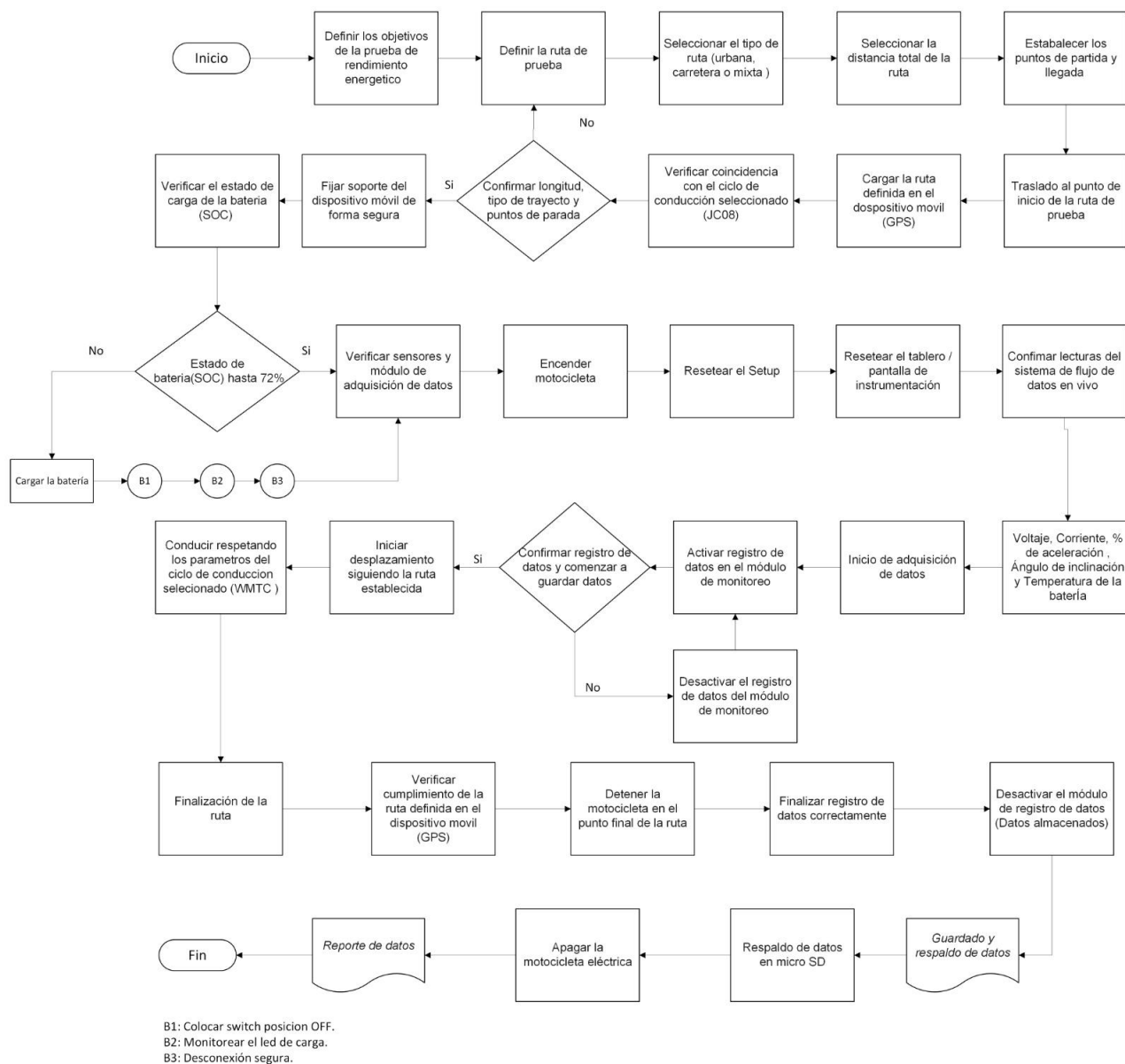
Velocidad de conducción

Al ser carreteras Panamericanas se logran velocidades altas de 90 kilómetros por hora con velocidades medias de 85 kilómetros por hora ajustando a requerimientos de velocidad del ciclo de conducción y motocicleta además de respetando los límites de velocidad establecidos en la por la autoridad competente. Como se había mencionado para ganar estas velocidades altas se aprovechó el relieve de la carretera donde las pendientes negativas ayudaron a llegar a la máxima velocidad replicando condiciones de este ciclo de conducción de la zona extraurbana.

Ciclo de conducción armonizado JC08

La presencia constante de intersecciones, cambios de sección, semaforización y señales de control vehicular, generan múltiples y repetitivas paradas y arranques generando repetitivas aceleraciones y desaceleraciones, restringiendo la operación a rangos de velocidad moderados.

Se adaptó el ciclo en la ciudad de Latacunga principalmente en las calles con más alto flujo vehicular y la presencia de estos diferentes tipos de control vial, ocasionando un escenario real de conducción urbana, tal y como establece los parámetros del ciclo de conducción JC08.

Figura 9*Proceso de ciclo de conducción armonizado JC08*

Nota. Descripción general del protocolo JC08.

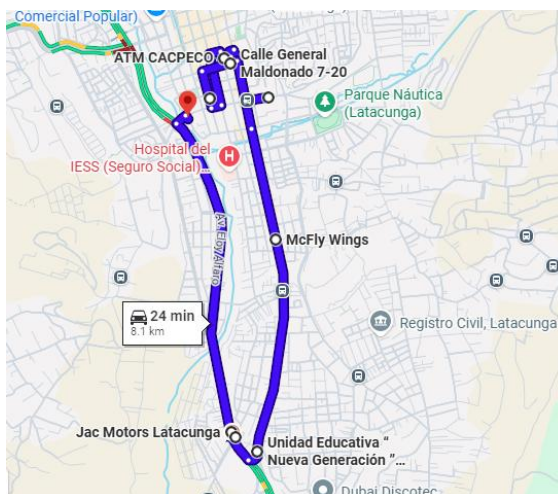
Diseño de la ruta

La ruta consta de un recorrido de 8.171 kilómetros, fue seleccionada estratégicamente para simular los parámetros del ciclo de conducción, la ruta incluye avenidas principales, vías

secundarias intersecciones y semaforización, todo esto en una zona de más alto flujo vehicular de la ciudad.

Figura 10

Ruta de prueba para el ciclo armonizado JC08



Nota. Tramo realizado correspondiente al ciclo armonizado JC08. Tomado de Google Maps.

Ruta definida

La ruta definida se realiza en un entorno urbano por las principales calles de la ciudad tomando parámetros de velocidad de acuerdo al ciclo de conducción como velocidades máximas y mínimas y la distancia total recorrida.

El trayecto se lo realiza como punto de partida desde la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe campus centro siguiendo la trayectoria por la calle Quijano y Ordoñez hacia llegar hasta el parque Vicente León como referencia, recorriendo por la calle Quito por 3 cuadras para tomar la calle Márquez de Maenza y girar por la calle Belisario Quevedo hasta llegar la Calle General Maldonado y retornar a la calle Quijano y Ordoñez en sentido sur hasta la Avenida Unidad Nacional.

Desde la Avenida Unidad Nacional se realiza el trayecto por aproximadamente 2,5 kilómetros hasta llegar a la intersección con la Avenida Eloy Alfaro tomado como referencia de ubicación la Unidad Educativa Nueva Generación,

A partir de este punto se procedió al traslado por toda la Avenida Eloy Alfaro pasando por Jac Motors Latacunga como referencia por un trayecto de 3,1 kilómetros hasta llegar hasta el puente Márquez de Maenza y terminar el trayecto frente a la Veterinaria Fransebas como punto de llegada cumpliendo la distancia detallada en el ciclo de conducción JC08.

Velocidad de conducción

La prueba al ser realizada en la ciudad de Latacunga se toma en cuenta el entorno predominantemente urbano, con límites de velocidad establecidos entre 30 y 50 kilómetros por hora con una velocidad máxima de 50 kilómetros por hora para vehículos livianos y motocicletas en zonas céntricas y arterias principales.

Para el tramo por la avenida Eloy Alfaro al ser una vía principal catalogada como carretera principal de la ciudad, el límite máximo permitido para vehículos livianos y motocicletas es de 90 kilómetros por hora antes de llegar a la zona central de la ciudad, por lo tanto, la velocidad para el ciclo de conducción está dentro de esos límites de velocidad.

La velocidad máxima en el transcurso del ciclo de conducción fue de 64 kilómetros por hora en la zona de carretera con un flujo vehicular moderado, y dentro de la ciudad en las zonas centrales con una velocidad mínima de 15 kilómetros por hora y máxima de 35 kilómetros por hora con múltiples paradas, propias de la ciudad para el control vehicular.

Especificaciones de la motocicleta de propulsión eléctrica

Para el vehículo de prueba se emplea una motocicleta de propulsión eléctrica como se muestra en la figura a continuación.

Figura 11

Motocicleta eléctrica utilizada para el desarrollo de la prueba.



Nota. Motocicleta eléctrica con su respectivo sistema de toma de datos en vivo.

Tabla 4

Especificaciones técnicas de la motocicleta eléctrica

Parámetro	Dato
Velocidad [km/h]	80
Autonomía [km]	95
Batería [v - Ah]	72 - 35
Motor [w]	2000
Carga máxima [kg]	140
Neumáticos [in]	3 x 10
Freno hidráulico de disco frontal	Si
Freno hidráulico de disco posterior	Si
Tiempo de carga [h]	6
Sistema de alarma	Si

Nota. Datos elaborados a partir de la ficha técnica del vehículo eléctrico.

Figura 12

Trayectoria recorrida correspondiente al ciclo WMTC parte 1 (urbana)

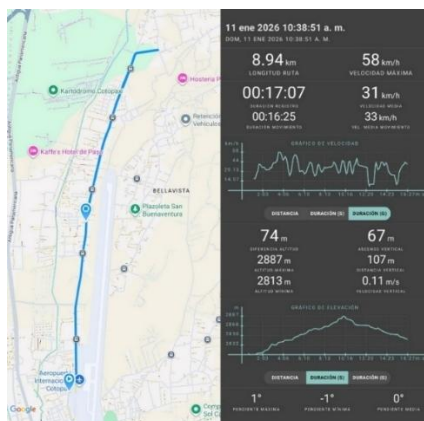


Nota. Trayectoria y datos observados en la imagen fueron generados por la aplicación de rastreo GPS.

Se observa la ruta recorrida en la ciudad de Latacunga por las principales calles y avenidas de la ciudad de Latacunga con la motocicleta eléctrica referente a la parte 1 urbana del ciclo de conducción WMTC.

Figura 13

Trayectoria recorrida ciclo WMTC parte 2 (interurbano)

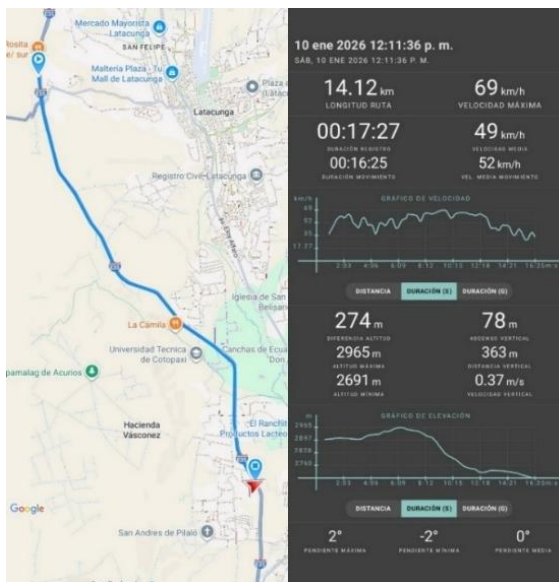


Nota. La trayectoria y los datos observados en la imagen fueron generados por la aplicación de rastreo GPS.

Se observa la ruta recorrida por fuera de la ciudad de Latacunga desde el sector de la F.A.E hasta llegar a la parroquia de Aláquez con la motocicleta eléctrica correspondiente a la parte 2 o interurbana del ciclo de conducción WMTC.

Figura 14

Trayectoria recorrida ciclo WMTC parte 3 (extraurbana)

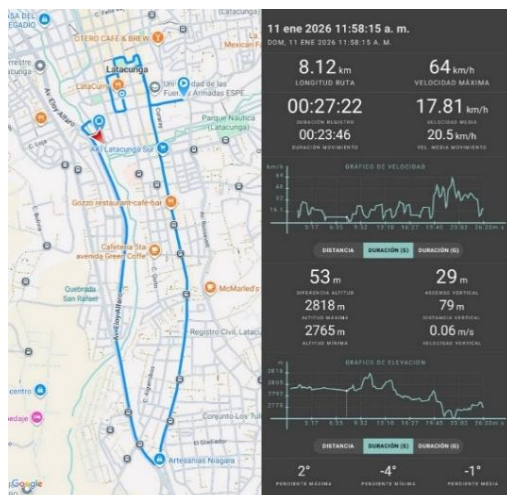


Nota. La trayectoria y los datos observados en la imagen fueron generados por la aplicación de rastreo GPS.

Se observa la ruta recorrida desde el redondel Pujilí por la panamericana sur E35 sentido norte sur hasta el cantón Salcedo con la motocicleta eléctrica correspondiente a la parte 3 extraurbana (autopista) del ciclo de conducción WMTC.

Figura 15

Trayectoria recorrida ciclo JC08



Nota. La trayectoria y los datos observados en la imagen fueron generados por la aplicación de rastreo GPS.

Se observa la ruta recorrida inicia desde la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga centro y que recorre por la zona centro de la ciudad, recorriendo por la avenida nacional y terminado su recorrido por la avenida Eloy Alfaro hasta llegar a la calle Márquez de Maenza intersección avenida Rumiñahui con la motocicleta eléctrica.

Perfil de velocidad del ciclo de conducción WMTC

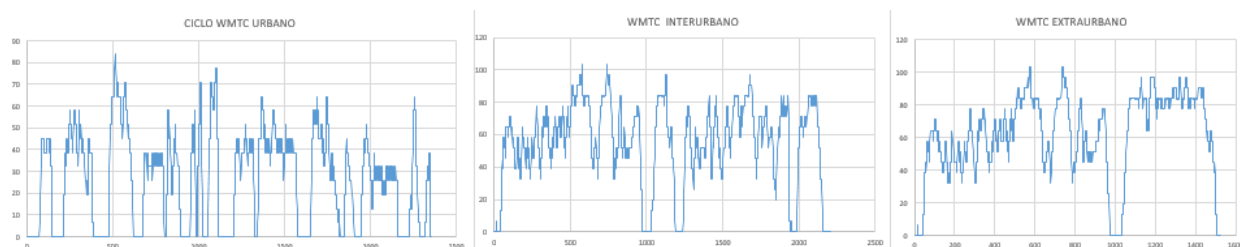
Una vez finalizadas las rutas de pruebas y con el reporte de cada una de estas pruebas de los datos en vivo se desarrolla en una plataforma computacional numérica y lenguaje de programación avanzada la caracterización cinemática y visual del perfil de velocidad empleando algoritmos de procesamiento numérico para la creación y validación de la gráfica de perfil de velocidad.

Se presenta un análisis comparativo entre los perfiles de velocidad obtenidos de forma experimental (ciclo de conducción armonizado) en las distintas zonas como zona urbana,

interurbana y extraurbana en la ciudad de Latacunga y sus alrededores fuera de la ciudad y el patrón de velocidad estandarizado del ciclo WMTC.

Figura 16

Perfiles de velocidad del ciclo WMTC adaptados a la ciudad de Latacunga



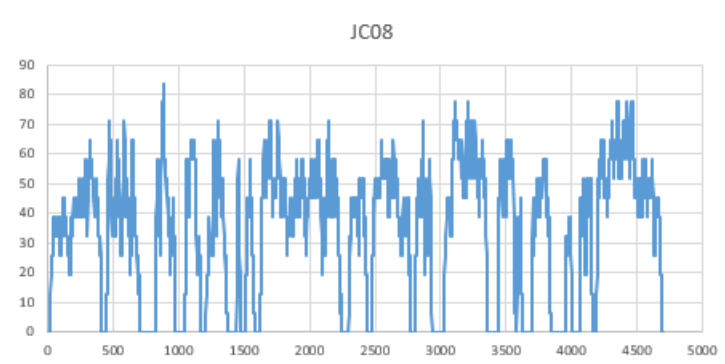
Nota. La siguiente figura muestra el perfil de velocidad del ciclo de conducción WMTC en sus diferentes etapas en los trayectos urbanos, interurbano y extraurbano.

Perfil de velocidad del ciclo de conducción JC08

Se presenta un análisis comparativo entre los perfiles de velocidad obtenidos de forma experimental en la ciudad de Latacunga (ciclo de conducción armonizado) bajo las condiciones de tráfico y topografía específicas de la zona centro de la ciudad y el patrón de velocidad estandarizado del ciclo.

Figura 17

Perfil de velocidad del ciclo JC08 adaptado a la ciudad de Latacunga



Nota. La siguiente figura muestra el perfil de velocidad del ciclo de conducción JC08.

Capítulo IV

Resultados y análisis

Modelo estadístico de predicción

Para determinar el comportamiento energético de la motocicleta eléctrica y formular un algoritmo capaz de predecir la autonomía en función del consumo energético (Wh) y la distancia recorrida (km), expresado como rendimiento (Wh/km), se analizaron distintos modelos estadísticos que ofrece el software estadístico avanzado, basados en el método de mínimos cuadrados ordinarios, con el fin de identificar el modelo con mayor capacidad predictiva.

Regresión lineal simple

Es un modelo de ajuste que permite predecir la relación lineal entre una variable de respuesta Y y la variable predictora X , este modelo es descartado debido a que el consumo de energía está influenciado por múltiples variables obtenidas del módulo de adquisición de datos como temperatura, rpm, velocidad, ángulo de inclinación, voltaje, corriente, porcentaje de aceleración y tiempo. Utilizar una sola variable generaría un error en la predicción.

Regresión polinómica o no lineal

Modela la relación entre variables como un polinomio de cierto grado representada como:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \dots \quad (8)$$

Aunque la resistencia aerodinámica presenta un comportamiento cuadrático como v^2 , los modelos polinómicos conducen a un riesgo de sobreajuste lo que reduce la capacidad predictiva en condiciones reales de operación.

Regresión lineal múltiple cruzada

Este modelo evalúa si varias covariables independientes tienen incidencia en la variable de respuesta dependiente logrando un modelo predictivo ajustado y estadísticamente significativo.

Justificación del modelo seleccionado

Se seleccionó el método de regresión lineal múltiple con validación cruzada lo que permitió utilizar un conjunto de datos para entrenamiento y validación, mejorando la capacidad de generalización del modelo. El algoritmo Stepwise adoptó la forma general:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots \quad (9)$$

En este modelo β_0 representa el intercepto, mientras que los coeficientes $\beta_1, \beta_2, \dots$ indican el efecto de cada variable independiente sobre la variable dependiente. Si el coeficiente asociado a la velocidad resulta positivo, se confirma que a mayor velocidad se incrementa el consumo energético.

El software introduce o elimina variables según su nivel de significancia estadística $p < 0,05$ garantizando una ecuación limpia y eficiente.

Variables

Como se presenta en la siguiente tabla las variables obtenidas mediante los sensores implementados los cuales son procesadas por el módulo de adquisición y registradas por medio de un archivo de texto (.txt) para su análisis estadístico.

Tabla 5

Variables del módulo de adquisición de datos en vivo

Variables	Unidad	Mínimo	Máximo
Temperatura	°C	10	40
RPM	r/min	0	-
Velocidad	m/s	0	25
Ángulo de inclinación	°	-20	20
Voltaje	V	60	84
Corriente	A	0	83,33
% Acelerador	%	0	100
Tiempo	ms	0	1200

Nota. Variables obtenidas de los datos del módulo de adquisición de datos en vivo.

Filtración de datos atípicos

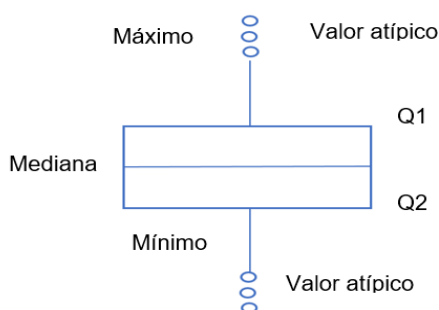
Para evaluar la confiabilidad de las ecuaciones de regresión de la base de datos, se cuenta con dos ensayos de cada ciclo los cuales son sometido a un proceso de depuración por la presencia de valores atípicos generados por los sensores, que pueden afectar los coeficientes del algoritmo de predicción reduciendo el coeficiente de determinación R^2 .

Depuración estadística mediante diagrama de caja

Del software estadístico avanzado se selecciona la opción grafica de caja con grupos para una demostración visual de las variables cuantitativas basadas en cuartiles considerando como valores atípicos aquellos que se ubican fueran de los bigotes del diagrama estos se componen de:

Figura 18

Elementos de un diagrama de caja



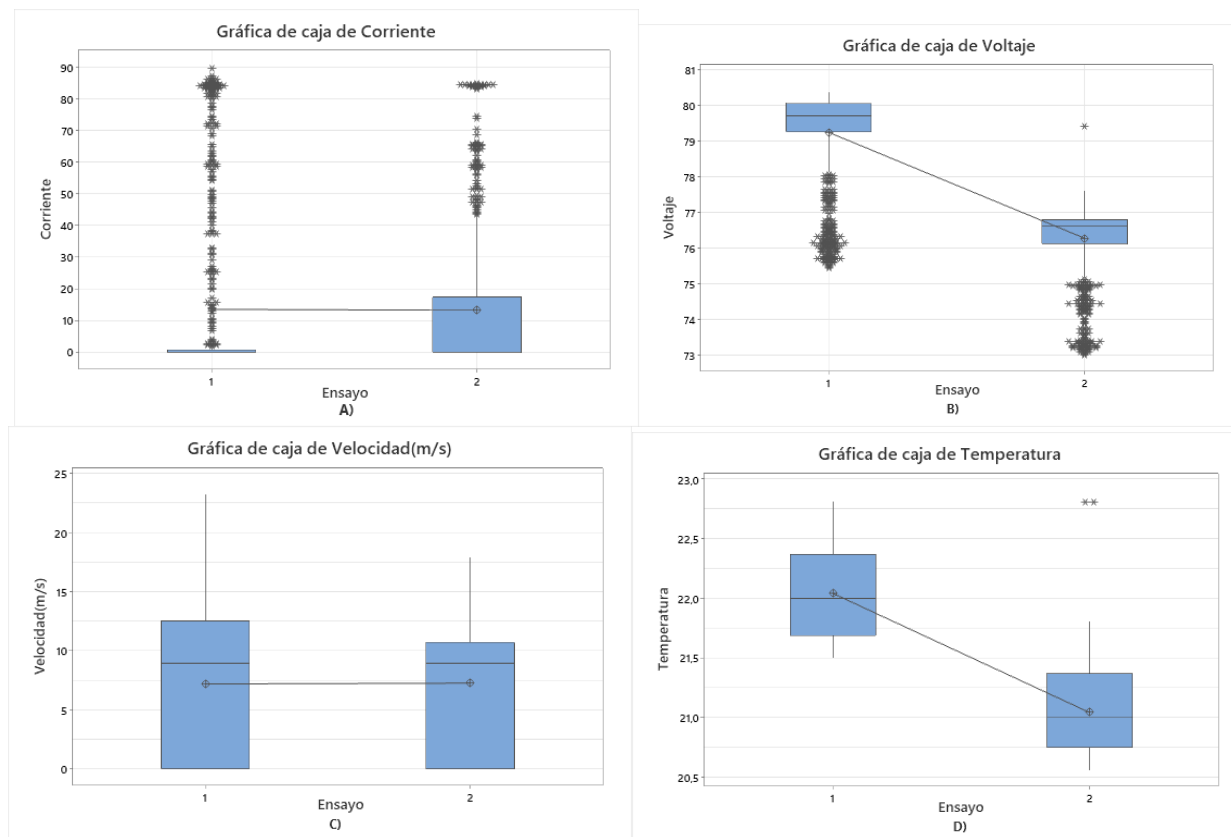
Nota. Representación partes de un diagrama de caja.

Gráficas de caja ciclo WMTC parte 1 (urbano)

La filtración de valores atípicos estadísticos permitió obtener una ecuación de regresión más robusta con datos limpios sin embargo será entrenada para usarla en datos reales del ciclo que incluyen aceleraciones bruscas, frenadas intensas y paradas consecutivas propias del entorno urbano.

Figura 19

Gráficas de caja para las variables del ciclo WMTC urbano



Nota. Diagrama de cajas de acuerdo al número de ensayos y variables del ciclo WMTC urbano.

En la figura literal A) la gráfica de caja de correspondiente a la corriente presenta valores atípicos máximos debido a picos de corriente durante arranques agresivos que en carretera son eventos físicos reales, pero estadísticamente estos valores extremos 82-84 A distorsionan la tendencia central necesaria para lograr un modelo de predicción adecuado.

Para el análisis de los valores atípicos mínimos se reflejan en literal B) el demostrando una caída de tensión instantánea debido a la resistencia interna de la batería antes las demandas de corriente por los factores ya mencionados.

La velocidad es una variable que presenta una dispersión consistente en ambos ensayos debido a que el ciclo exige velocidades relativas de $7,602 \frac{m}{s}$ en ambos ensayos lo que valida la toma de datos del sensor como se muestra en el literal C). Diferente a la variable temperatura D) la cual no tiene demasiados valores atípicos, pero si una pendiente que indica que los dos ensayos influyen directamente en ambos ensayos.

Para la discriminación de datos el software estadístico aplica criterios para establecer límites de aceptación mediante:

$$Lim_{superior}=Q_3+1.5IQR \quad (10)$$

$$Lim_{inferior}=Q_1-1.5IQR \quad (11)$$

Dónde:

Q_3 : Tercer cuartil (75% de los datos).

Q_1 : Primer cuartil (25% de los datos).

IQR: Rango Intercuartílico (Q_3-Q_1).

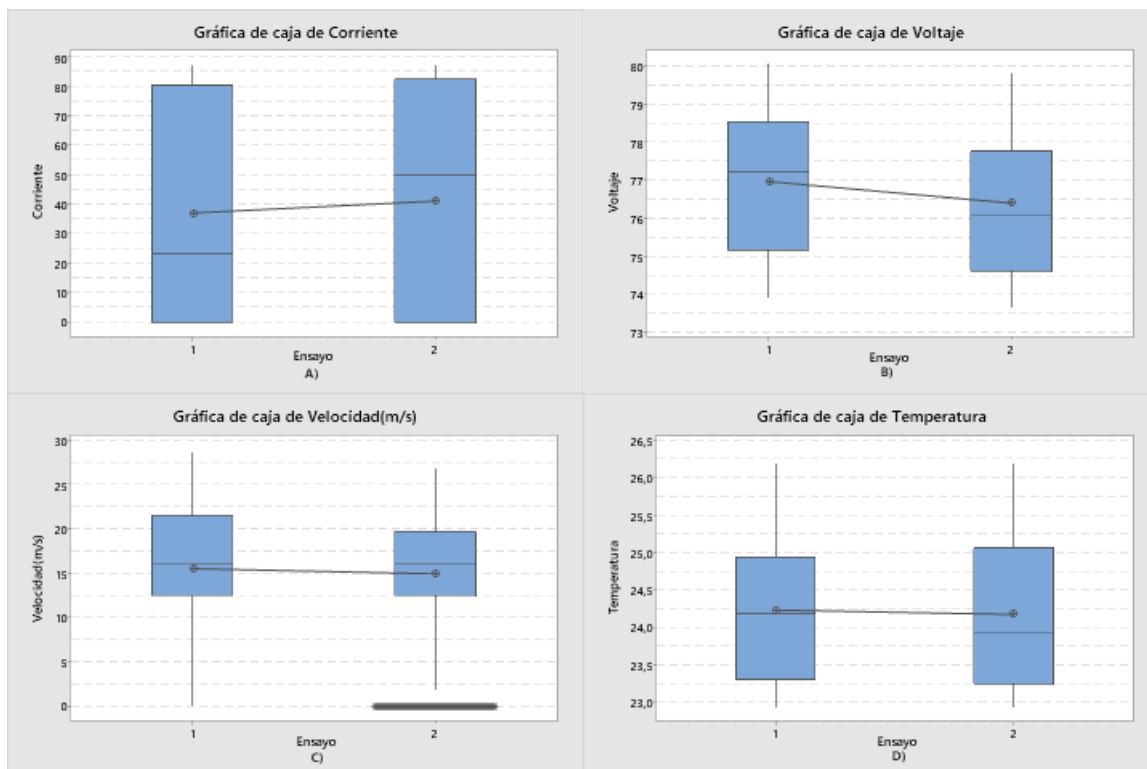
Todos los valores que exceden estos límites calculados son marcados con un (*) en los gráficos de caja y considerados como valores atípicos.

Gráficas de caja ciclo WMTC parte 2 (interurbano)

De manera análoga al análisis urbano, se procesaron los datos correspondientes a la fase interurbana del ciclo WMTC caracterizada por velocidades altas sostenidas y menor número de paradas, lo que modifica su demanda energética.

Figura 20

Gráficas de caja para las variables del ciclo WMTC interurbano



Nota. Diagrama de cajas de acuerdo al número de ensayos y variables del ciclo WMTC interurbano.

En la Figura 20 A) la variable de corriente presenta valores máximos atípicos máximos debido a la demanda energética necesaria para alcanzar una velocidad crucero característica del ciclo, pero estadísticamente cada ensayo tendrá relación directa en la ecuación de regresión.

El voltaje mantiene su mediana en ambos ensayos reflejando la caída de tensión instantánea por la resistencia de la batería a altas demandas de corriente mostrado en el literal B).

La variable de velocidad tiende a una dispersión consistente en ambos ensayos, ya que este ciclo interurbano exige mantener velocidades sostenidas entre $17.885 \frac{m}{s}$ validando la toma de datos del sensor y la velocidad replicada del ciclo indicado en el literal C).

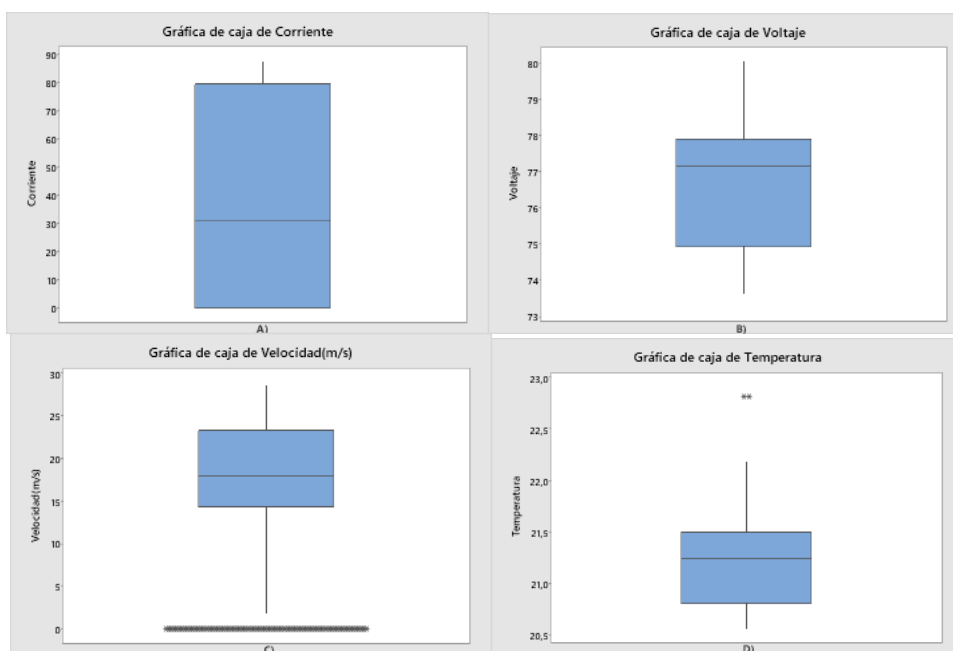
En el literal D) la temperatura no presenta valores atípicos significativos pero su media se mantiene dentro de la caja que indica una acumulación térmica progresiva de la batería influyendo directamente en la eficiencia energética.

Gráficas de caja ciclo WMTC parte 3 (extraurbano)

S evalúa la fase extraurbana sometiendo a la motocicleta a condiciones más exigentes de operación, este análisis se basa en un ensayo único debido a restricciones de seguridad vial en la zona de pruebas, y la necesidad de preservar la integridad del pack de baterías ante la descarga que implica realizar este ciclo de conducción.

Figura 21

Gráficas de caja para las variables del ciclo WMTC extraurbano



Nota. Diagrama de cajas de las variables del ciclo WMTC extraurbano.

En la Figura 21 A) la gráfica de caja de la variable corriente muestra una distribución de valores atípicos en la zona superior debido a que en una zona extraurbana obliga al sistema a operar con picos de corriente altos.

El voltaje presenta valores atípicos mínimos que reflejan la caída de tensión producto del mayor consumo de corriente dando como resultado una descarga continua que confirma el estrés que sufre la batería, literal B).

En el estudio de la variable velocidad literal C) tiene una media más central del 50 % de los datos a pesar de ser un ensayo y tener una parada los valores de 0 m/s se presentan como atípicos debido a una parada repentina alejándose del perfil del ciclo.

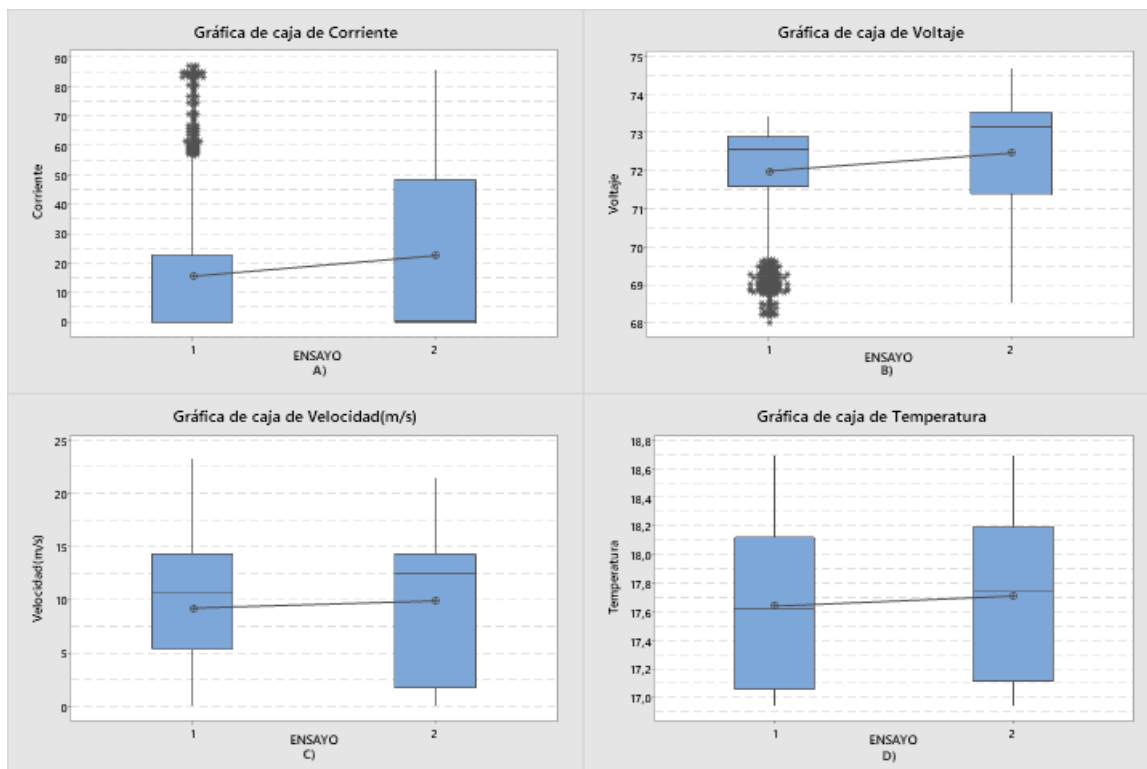
De igual manera la a variable de temperatura literal D) tiene una dispersión superior ayudando a identificar que se producirá un calentamiento progresivo del sistema que al final del ciclo afectará la eficiencia final del ciclo.

Gráficas de caja ciclo JC08

En el ciclo de conducción japonés JC08 se simula condiciones de tráfico denso con paradas y/o arranques frecuentes lo que somete a la batería a un consumo diferente respecto a ciclos de velocidad sostenida.

Figura 22

Gráficas de caja para las variables del ciclo JC08



Nota. Diagrama de cajas de acuerdo al número de ensayos y variables del ciclo JC08.

La corriente literal A) muestra una gran cantidad de datos atípicos superiores por las constantes aceleraciones desde cero lo que genera picos de corriente repetitivos entre los dos ensayos presentan una media baja por ser eventos frecuentes.

El voltaje muestra un comportamiento irregular por caídas de tensión tanto en el ensayo 1 como el ensayo 2 necesarias para romper la inercia tras cada parada, mientras que de la misma figura del apartado C) la velocidad presenta una pendiente entre sus muestras indicando aceleraciones puntuales cumpliendo estándares de conducción como velocidades medias de $6,77 \frac{m}{s}$.

De la variable temperatura literal D) tiene una mediana dentro del 50 % de los datos tomados y una pendiente que indica que dicha variable influye significativamente en ambos ensayos.

Filtración de datos atípicos de forma manual

Del módulo se obtiene muchas variables entre ellas las no mencionadas que son rpm, porcentaje de aceleración y ángulo de inclinación por lo que, para la generación de un modelo matemático útil, aplicable y de fácil interpretación fueron omitidas.

El filtrado manual no se basa solo en criterios estadísticos sino también en la accesibilidad a las variables, por ejemplo, un conductor promedio que no dispone de instrumentos para cuantificar las variables mencionadas, será mejor priorizar variables del tablero como velocidad, voltaje, corriente y temperatura.

Tabla 6

Matriz comparativa del número estadístico Anderson-Darling

Variable analizada	A^2 WMTC urbano	A^2 WMTC interurbano	A^2 WMTC extraurbano	A^2 JC08	Decisión final
Velocidad	95	64,26	42,86	179,72	Seleccionada
Voltaje	105,17	48,30	32,53	160,99	Seleccionada
Temperatura	22	49,03	28,07	130,06	Seleccionada
Corriente	477,28	258,58	167,39	647,00	Filtrada
% Acelerador	374,01	168,13	82,74	561,56	Descartada
RPM	25,27	28,23	19,69	96,55	Descartada
Ángulo de inclinación	40,39	5,16	4,80	13,42	Descartada

Nota. La tabla representa el valor estadístico de Anderson Darling de cada variable por ciclo de conducción para la selección de variables críticas en el modelo matemático.

La variable porcentaje de acelerador presenta una dispersión excesiva en el ciclo JC08 su valor crítico A^2 es de 561,56 a diferencia de la variable 179,72 correspondiente a la velocidad por lo que cuantitativamente basar el modelo con la posición del puño del conductor afectará la predicción del algoritmo.

En el ciclo WMTC Extraurbano los valores de A^2 desciende rápidamente por ejemplo velocidad 42,86 y voltaje 32,53 observando que en velocidades progresivas el sistema entra a un estado estacionario.

Es evidente que las variables como ángulo de inclinación y rpm presentan valores A^2 bajos que estadísticamente serían mejores para la ecuación de regresión sin embargo son excluida por criterios de aplicabilidad práctica y usabilidad en el modelo matemático.

Análisis de correlación por el método de Pearson

Es un método basado en el método de mínimos cuadrados la cual mide la naturaleza y fuerza entre dos variables cuantitativas para establecer el modelo matemático de estimación de autonomía se definen las variables más prescindibles en la ecuación.

Este método establece coeficientes dentro de un límite de valores absolutos $[-1,1]$ una vez que se tiene sus respectivas correlaciones, se determinan si los factores X e Y están correlacionados y provocan alteración en la variable del modelo matemático.

$$-1 \leq r_{xy} \leq 1 \quad (12)$$

Tabla 7

Comparación de coeficientes Pearson en variables en correlaciones críticas

Relación analizada	<i>r</i> WMTC Urbano	<i>r</i> WMTC Interurbano	<i>r</i> WMTC Extraurbano	<i>r</i> JC08
Voltaje – Corriente	-0,542	-0,852	-0,831	-0,846
Velocidad – Voltaje	-0,236	-0,427	-0,404	-0,451
Tiempo - Temperatura	-0,372	0,423	0,984	0,551
Velocidad - RPM	0,179	0,427	0,477	0,365
Ángulo - Corriente	0,650	0,681	0,692	0,689

Nota. La tabla representa el coeficiente de correlación de Pearson de las relaciones más fuertes entre un par de variables cuantitativas.

Para obtener el coeficiente de correlación de Pearson se utilizó un software estadístico empleando las variables más incidentes en el modelo y determinando variables significativas como son: Voltaje, corriente, tiempo, temperatura, velocidad.

La correlación entre velocidad y rpm es baja en todos los ciclos entre 0,1 y 0,5 demostrando que no es un predictor lineal fiable mientras que el comportamiento térmico tiempo vs temperatura en el ciclo WMTC extraurbano con un $r = 0,984$ indica que en recorridos a altas velocidades y distancias largas aumentan con relación al tiempo, sin embargo, en trayectos urbanos un $r = -0,372$ indica que es una variable dinámica que no dependerá solo del tiempo de uso sino también de otras variables.

De la correlación voltaje vs corriente se mantiene negativa en todos los ciclos acercándose a -1 en ciclos de mayor demanda de potencia reflejando la caída de tensión por impedancia interna de la batería antes picos de corriente.

Se muestra en la

Tabla 7 la correlación ángulo vs corriente indica una correlación positiva $r \approx 0,6$ constante en todos los ciclos es decir que al aumentar el ángulo de inclinación aumentará la corriente por maniobras de giro, pero al no ser directamente proporcional a la velocidad no será importante a la hora de estimar la autonomía.

Valores atípicos por el método de Grubbs

La prueba de Grubbs se usa para identificar un solo valor atípico en un conjunto de datos de una sola variable que sigue una distribución normal en nuestros datos tomados no sigue una distribución normal, se aplicó para indicar o localizar valores extremos que pueden indicar fallos de sensores o al estilo de conducción.

Se utilizó un nivel de significancia $\alpha=0,05$ por medio de la cual se acepta una hipótesis nula donde todos los valores de los datos provienen de la misma población normal y una hipótesis alterna donde el valor pequeño o grande de los datos es el valor atípico. El software ayuda a identificar el valor atípico por medio del valor p mínimo que indica que se encuentra en la zona alejada de la distribución.

Tabla 8

Verificación de valores atípicos mediante la prueba de Grubbs

Ciclo	Variable	Valor G	Valor P	Valor atípico	Fila
WMTC urbano	Ángulo	4,32	0,036	-16,66	1113
WMTC interurbano	Ángulo	4,70	0,005	-13,54	1936
WMTC extraurbano	-	-	-	-	-
JC08	%Acelerador	5,07	0,002	100	875

Nota. La tabla muestra las variables y valores atípicos con el método de Grubbs.

El análisis estadístico G revela que la variable ángulo tiene un valor atípico de -16.66° y -13.54° en el ciclo WMTC debido a trayectorias rectilíneas desviándolo de la media, pero a la vez manteniéndose dentro del rango físico de inclinación del vehículo.

El valor atípico del porcentaje de acelerador en el ciclo JC08 es del 100% el cual indica aceleraciones poco frecuentes para alcanzar velocidades altas alejándose de su media a diferencia del ciclo extraurbano que carece de valores atípicos debido a su estilo de conducción.

Estas variables, si bien muestran condiciones dinámicas y físicas posibles valores atípicos muy alejados de su media podrían generar sesgos de estimación del consumo energético y la autonomía; por lo que además de ser variables difíciles de interpretar serán anuladas para el desarrollo del modelo matemático.

Obtención del modelo matemático por el método de regresión lineal

A partir del reporte de datos experimentales obtenidos después de realizar los ciclos de conducción armonizados WMTC y JC08 se utilizó una herramienta de hoja de cálculo que permitió organizar, depurar y estructurar los datos de una manera uniforme y correcta.

Una vez consolidado los datos, fueron exportados a un software de análisis estadístico avanzado, para realizar el estudio que permita aplicar técnicas estadísticas descriptivas y el desarrollo de un algoritmo el cual proyecte la autonomía, bajo condiciones de operación durante el ciclo de conducción armonizado.

Con la finalidad de modelar y estimar la autonomía, se realizaron análisis de regresión múltiple a partir del reporte de datos de la hoja de cálculo, evaluando diferentes combinaciones de variables independientes.

Regresiones múltiples

La regresión se emplea para la estimación y predicción del comportamiento de una variable dependiente a partir de una o varias variables independientes, este método permite

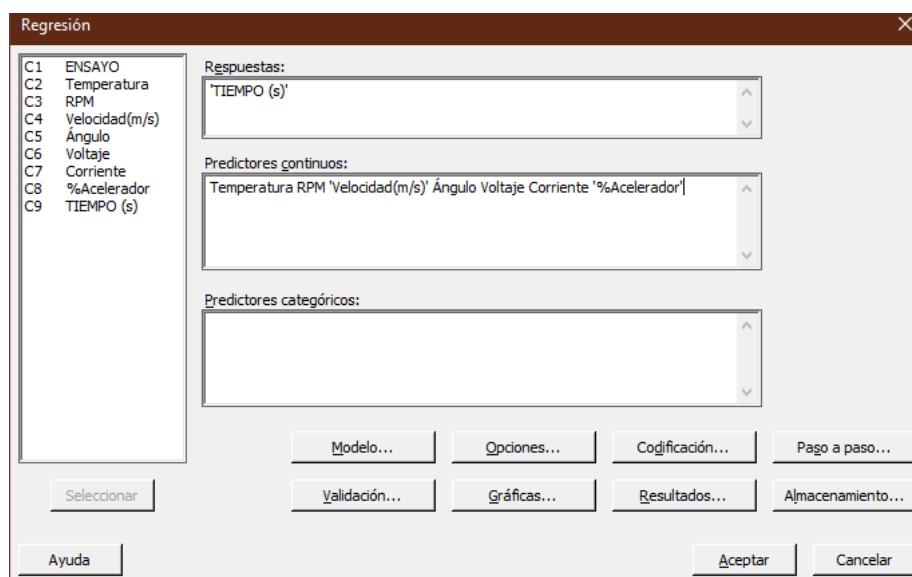
construir un modelo matemático que prioriza las variables con mayor influencia, mientras que las de menor influencia son descartadas optimizando la precisión del modelo de la regresión.

Para el análisis de la autonomía, la variable dependiente respecto al tiempo se convierte en la variable de entrada mientras las variables independientes se observan a continuación como variables de respuesta.

- Temperatura[°C]
- RPM
- Velocidad $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
- Angulo de inclinación [°]
- Voltaje [V]
- Corriente [A]
- Porcentaje de aceleración [%]

Figura 23

Entrada de variables de respuesta y predictores



Nota. Análisis de la autonomía con respecto al tiempo en relación a las variables de respuesta y predictores.

Obteniendo dos modelos de regresión respectivos con la menor dependencia hacia la estimación del error: la primera regresión con respecto al tiempo y la segunda regresión con relación a la corriente, estos modelos son aplicados a los dos ciclos de conducción.

Figura 24

Variables de respuesta y predictores para la regresión del tiempo

The screenshot shows the 'Regresión' (Regression) dialog box. On the left is a list of variables: C1 ENSAYO, C2 Temperatura, C3 RPM, C4 Velocidad(m/s), C5 Ángulo, C6 Voltaje, C7 Corriente, C8 %Acelerador, and C9 TIEMPO (s). The 'Respuestas:' (Responses) field contains 'TIEMPO (s)'. The 'Predictores continuos:' (Continuous Predictors) field contains 'Temperatura 'Velocidad(m/s)' Voltaje Corriente'. The 'Predictores categóricos:' (Categorical Predictors) field is empty. At the bottom, there are buttons for 'Modelo...', 'Opciones...', 'Codificación...', 'Pago a paso...', 'Validación...', 'Gráficas...', 'Resultados...', 'Almacenamiento...', 'Ayuda', 'Aceptar', and 'Cancelar'.

Nota. Entrada de variables de respuesta y predictores.

Figura 25

Variables de respuesta y predictores para la regresión de la corriente

The screenshot shows the 'Regresión' (Regression) dialog box. On the left is a list of variables: C1 ENSAYO, C2 Temperatura, C3 RPM, C4 Velocidad(m/s), C5 Ángulo, C6 Voltaje, C7 Corriente, C8 %Acelerador, and C9 TIEMPO (s). The 'Respuestas:' (Responses) field contains 'Corriente'. The 'Predictores continuos:' (Continuous Predictors) field contains 'Temperatura 'Velocidad(m/s)' Voltaje'. The 'Predictores categóricos:' (Categorical Predictors) field is empty. At the bottom, there are buttons for 'Modelo...', 'Opciones...', 'Codificación...', 'Pago a paso...', 'Validación...', 'Gráficas...', 'Resultados...', 'Almacenamiento...', 'Ayuda', 'Aceptar', and 'Cancelar'.

Nota. Entrada de variables de respuesta y predictores.

Para el desarrollo de la estimación de autonomía A del vehículo eléctrico BEV L1-B en los dos ciclos de conducción, se debe expresar en kilómetros, por lo tanto, se realiza una ecuación que integre nuestra ecuación realizada con el software de análisis estadístico, debido a que la autonomía representa la capacidad real de desplazamiento del vehículo bajo los diferentes parámetros de operación.

$$A = \frac{t(s) * V_{media}}{1000} \quad (13)$$

Dónde:

A=Autonomía [km]

t(s)=tiempo [s]

V_{media} =Velocidad media $\left[\frac{m}{s}\right]$

Regresiones para la predicción de autonomía WMTC urbano

$$t(s) = 8363,3 + 106,22(T) - 1,050(u) - 130,37(V) - 4,333 (I) \quad (14)$$

Dónde:

t(s) = Tempo [s]

T = Temperatura promedio [°C]

u=Velocidad media $\left[\frac{m}{s}\right]$

V=Tensión nominal [V]

I=Corriente [A]

$$I = 406,3 + 19,021(T) + 0,8483(u) - 10,401(V) \quad (15)$$

Dónde:

T = Temperatura promedio [°C]

u=Velocidad media $\left[\frac{m}{s}\right]$

V=Tensión nominal [V]

Reemplazando la ecuación (15) en la ecuación (14) para reducir la ecuación en solo 3 variables: Temperatura(T), Velocidad media (u) y Tensión (V) se obtiene una ecuación reducida y más fácil de resolver.

$$t(s) = 8363,3 + 106,22(T) - 1,050(u) - 130,37(V) - 4,333 [406,3 + 19,021(T) + 0,8483(u) - 10,401(V)] \quad (16)$$

Se realiza las operaciones correspondientes para obtener una ecuación con la que se pueda trabajar en términos de operaciones básicas de suma y resta de las mismas variables.

$$t(s) = 8363,3 + 106,22(T) - 1,050(u) - 130,37(V) - 1760,49 - 82,41(T) - 3,67(u) + 45,06(V) \quad (17)$$

Reducir a términos semejantes las variables temperatura(T), velocidad media (u) y tensión (V) obtenido las ecuaciones de estimación.

Algoritmo de autonomía ciclo WMTC urbano

Como resultado final se obtiene una ecuación reducida la cual permita conocer la autonomía del vehículo BEV L1-B en la parte urbana.

$$t(s) = 6602,81 + 24,81(T) - 4,72(u) - 85,31(V) \quad (18)$$

Dónde:

T = Temperatura promedio [°C]

u=Velocidad media $\left[\frac{m}{s}\right]$

V=Tensión nominal [V]

Regresiones para la predicción de autonomía WTMC interurbano

$$t(s) = 18132 - 23,19(T) - 9,301(u) - 216,17(V) - 7,604(I) \quad (19)$$

Dónde:

t(s) = Tempo [s]

T = Temperatura promedio [°C]

u=Velocidad media $\left[\frac{m}{s}\right]$

V=Tensión nominal [V]

I=Corriente [A]

$$I = 2085,0 - 15,348 (T) - 0,3502(u) - 21,762(V) \quad (20)$$

Dónde:

T = Temperatura promedio [°C]

u=Velocidad media $\left[\frac{m}{s}\right]$

V= Tensión nominal [V]

Reemplazar la ecuación (20) de la corriente en la ecuación (20) del tiempo con el propósito de reducir variables.

$$t(s) = 18132 - 23,19(T) - 9,301(u) - 216,17(V) - 7,604[2085,0 - 15,348(T) - 0,3502(u) - 21,762(V)] \quad (21)$$

$$t(s) = 18132 - 23,19(T) - 9,301(u) - 216,17(V) - 15854,34 + 116,70(T) + 2,66(u) + 165,47(V) \quad (22)$$

Se realiza la reducción de términos semejantes temperatura(T), velocidad media (u) y tensión (V) obtenido la siguiente ecuación de estimación de autonomía en segundos.

Algoritmo de autonomía ciclo WMTC interurbano

$$t(s) = 2278 + 93,51(T) - 6,641(u) - 50,7(V) \quad (23)$$

Dónde:

T = Temperatura promedio [°C]

u=Velocidad media $\left[\frac{m}{s}\right]$

V=Tensión nominal [V]

Regresiones para la predicción de autonomía WMTC extraurbano

$$t(s) = -6691 + 416,82(T) + 0,338(u) - 22,93(V) - 0,7755(I) \quad (24)$$

Dónde:

t(s) = Tempo [s]

T = Temperatura promedio [°C]

u =Velocidad media $\left[\frac{m}{s}\right]$

V =Tensión nominal [V]

I =Corriente [A]

$$I = 2374,7 - 34,036(T) - 0,1068(u) - 21,0118(V) \quad (25)$$

Dónde:

T = Temperatura promedio [$^{\circ}\text{C}$]

u =Velocidad media $\left[\frac{m}{s}\right]$

V = Tensión nominal [V]

Se reemplaza la ecuación(25) de la corriente en la ecuación del tiempo (24) para reducir variables.

$$t(s) = -6691 + 416,82(T) + 0,338(u) - 22,93(V) - 0,7755[2374,7 - 34,036(T) - 0,1068(u) - 21,0118(V)] \quad (26)$$

$$t(s) = -6691 + 416,82(T) + 0,338(u) - 22,93(V) - 1841,5 + 23,39(T) + 0,0828(u) + 16,29(V) \quad (27)$$

Reducir términos semejantes de las variables temperatura (T), velocidad media (u) y tensión (V) obtenido la siguiente ecuación de estimación de autonomía en segundos.

Algoritmo de autonomía del ciclo WMTC extraurbano

$$t(s) = -8532,5 + 440,21(T) + 0,4238(u) - 6,64(V) \quad (28)$$

Dónde:

T = Temperatura promedio [$^{\circ}\text{C}$]

u =Velocidad media $\left[\frac{m}{s}\right]$

V =Tensión nominal [V]

Regresiones para la predicción de autonomía JC08

$$t(s) = -62464 + 1134,2(T) + 17,53(u) + 594,6(V) + 24,655(I) \quad (29)$$

Dónde:

$t(s)$ = Tempo [s]

T = Temperatura promedio [$^{\circ}\text{C}$]

u =Velocidad media $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$

V =Tensión nominal [V]

I =Corriente [A]

$$I = 1647,3 - 13,583(T) - 0,0456(u) - 19,209(V) \quad (30)$$

Dónde:

T = Temperatura promedio [$^{\circ}\text{C}$]

u =Velocidad media $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$

V = Tensión nominal [V]

La ecuación de la corriente se reemplaza en la ecuación el tiempo para reducir la ecuación en termino de tres variables: Temperatura(T), Velocidad media (u) y Tensión (V).

$$t(s) = -62464 + 1134,2(T) + 17,53(u) + 594,6(V) + 24,655[1647,3 - 13,583(T) - 0,0456(u) - 19,209(V)] \quad (31)$$

$$t(s) = -62464 + 1134,2(T) + 17,53(u) + 594,6(V) + 40614,18 - 334,88(T) - 1,124(u) - 473,59(V) \quad (32)$$

Algoritmo de autonomía del ciclo JC08

$$t(s) = -21849,82 + 799,32(T) + 16,41(u) + 121,01(V) \quad (33)$$

Dónde:

T = Temperatura promedio [$^{\circ}\text{C}$]

u =Velocidad media $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$

V =Tensión nominal [V]

Validación del algoritmo

Para la validación del algoritmo que describe la autonomía de los ciclos de conducción WMTC y JC08 se utiliza la autonomía ideal y el rendimiento del ciclo para determinar la autonomía predicha de cada ciclo. Esta corresponde a la distancia máxima que puede recorrer con una carga completa antes de descargarse.

$$A_{\text{prd}} = A_{\text{ideal}} * \eta_{\text{ciclo}} \quad (34)$$

Dónde:

A_{prd} = Autonomía predicha [km]

A_{ideal} = Autonomía ideal [km]

η_{ciclo} = Eficiencia dinámica del ciclo

Cálculo de la autonomía ciclo WMTC

Tabla 9

Reporte y análisis estadístico del ciclo WMTC urbano

Parámetro	Valor	Unidad
Tensión nominal [V]	72	V
Velocidad media [u]	14,43	m/s
Temperatura promedio [T]	21,53	°C

Nota. Valores promedio experimentales correspondientes al ciclo WMTC urbano considerado para el cálculo de la autonomía en su respectivo modelo.

En la ecuación (18) se reemplazan los siguientes datos de.

$$t(s) = 6602,81 + 24,81(21,53) - 4,72(14,43) - 85,31(72)$$

$$t(s) = 926$$

Para calcular la autonomía en kilómetros se utiliza la ecuación (13):

$$A = \frac{t(s) * V_{\text{media}}}{1000}$$

$$A = 13,38 \text{ km}$$

Tabla 10

Reporte y análisis estadístico del ciclo WMTC Interurbano

Parámetro	Valor	Unidad
Tensión nominal [V]	72	V
Velocidad media [u]	30,41	m/s
Temperatura promedio [T]	24,20	°C

Nota. Valores de parámetros experimentales promedio correspondiente al ciclo WMTC interurbano, empleados para estimar el desempeño energético.

En la ecuación (23) se reemplazan los siguientes datos de la Tabla.

$$t(s) = 2278 + 93,51(24,20) - 6,641(30,41) - 50,7(72)$$

$$t(s) = 689$$

El cálculo de la autonomía del ciclo en kilómetros se utiliza la ecuación (13):

$$A = \frac{t(s) \cdot V_{\text{media}}}{1000}$$

$$A = 20,95 \text{ km}$$

Tabla 11

Reporte y análisis estadístico del ciclo WMTC extraurbano

Parámetro	Valor	Unidad
Tensión nominal [V]	72	V
Velocidad media [u]	34,19	m/s
Temperatura promedio [T]	21,24	°C

Nota. Valores promedio obtenidos experimentalmente durante el ciclo WMTC extraurbano, considerados para el análisis de su autonomía en su regresión.

En la ecuación (28) se reemplazan los siguientes datos de la tabla presentada.

$$t(s) = -8532,5 + 440,21(21,24) + 0,4238(34,19) - 6,64(72)$$

$$t(s) = 355$$

Para convertir la autonomía del ciclo en segundo a kilómetros se utiliza la ecuación (13):

$$A = \frac{t(s) * V_{media}}{1000}$$

$$A = 12,14 \text{ km}$$

Cálculo de la autonomía ciclo JC08

Tabla 12

Valores tomando del reporte y análisis estadístico del ciclo JC08

Parámetro	Valor	Unidad
Tensión nominal [V]	72	V
Velocidad media [u]	18,61	m/s
Temperatura promedio [T]	17,67	°c

Nota. Valores promedio correspondientes al ciclo JC08, utilizados en el desarrollo del cálculo energético de su respectivo modelo de regresión.

En la ecuación (33) se reemplazan los siguientes datos de la Tabla 12.

$$t(s) = -21849.82 + 799,32(17,67) + 16,41(18,61) + 121,01(72)$$

$$t(s) = 1297$$

Para la conversión de la autonomía del ciclo en segundo a kilómetros se utiliza la ecuación (13):

$$A = \frac{t(s) * V_{media}}{1000}$$

$$A = 24,15 \text{ km}$$

Modelo matemático estadístico para el análisis de la eficiencia energética

Para el análisis de eficiencia energética del vehículo, se desarrolla un modelo que relaciona el análisis de regresiones a partir de los datos experimentales, las cuales ayudan a

estimar el consumo eléctrico y el rendimiento energético en función de las variables operativas de cada ciclo de conducción.

Se presentan las ecuaciones a utilizar en el modelo matemático para los ciclos de conducción WMTC y JC08 con el fin de analizar la eficiencia energética bajo diferentes condiciones de operación de cada ciclo.

La profundidad de descarga representa el porcentaje de la capacidad total de la batería que se utiliza durante la operación, para el caso de operación bajo condiciones de tránsito urbano, aceleraciones y desaceleraciones frecuentes propios del ciclo JC08 y WMTC este valor $KD_o=0,8$ evita una sobreestimación al momento de calcular la capacidad de la batería.

La eficiencia dinámica del ciclo de conducción WMTC parte urbana relaciona el comportamiento ideal del vehículo y el comportamiento real bajo el perfil de conducción, como el ciclo de conducción se realiza en un tramo urbano $\eta_{ciclo}=2,82$ este valor representa las condiciones reales de operación dinámicas del ciclo.

Para la parte interurbana y extraurbana se reduce por resistencia aerodinámica y pérdidas de rodadura este valor representa las condiciones reales de operación dinámicas $\eta_{ciclo}=1,68$.

En ciclo de conducción JC08 relaciona el comportamiento ideal del vehículo y el comportamiento real bajo el perfil de conducción, como el ciclo de conducción se realiza en un tramo urbano el valor $\eta_{ciclo}=0,68$ representa las condiciones reales de operación dinámicas del ciclo.

Energía consumida

Esta energía sirve para calcular la energía consumida durante el trayecto de los ciclos de conducción a partir de la potencia medida durante el tiempo de cada ciclo.

$$\text{Energía consumida} = \frac{\sum (P_i \cdot \Delta t)}{3600} \quad (35)$$

Dónde:

Δt = Intervalo de tiempo [Ah]

P_i =Potencia instantánea [W]

Rendimiento calculado

Permite calcular el rendimiento energético del vehículo, el consumo de carga eléctrica por cada kilómetro recorrido.

$$\eta_{cal} = \frac{\text{Energía consumida}}{\text{Distancia}_{Total}} * 1000 \quad (36)$$

Dónde:

Energía consumida = Energía total utilizada durante el ciclo de conducción [Wh]

Distancia_{Total}= Longitud total del trayecto [km]

Modelo matemático WMTC Urbano

Para el análisis de la eficiencia energética del ciclo WMTC parte urbana se enfoca en la demanda de corriente eléctrica I_{pred} , de la ecuación(15) obtenida mediante regresión.

$$I_{pred} = 406,3 + 19,021(T) + 0,8483 (u) - 10,401 (V)$$

Dónde:

I_{pred} =Corriente predicha [A]

T=Temperatura [°C]

u=Velocidad media $\left[\frac{m}{s}\right]$

V=Tensión nominal [V]

Esta expresión permite caracterizar la demanda eléctrica bajo los diferentes parámetros de operación, constituyendo una base inicial para el análisis energético del vehículo eléctrico BEV - L1.

Cálculo del modelo matemático WMTC urbano

Para el cálculo de la corriente predicha se utiliza la ecuación (15) se reemplazan los datos de la Tabla 9, obteniendo como resultado.

$$I_{\text{pred}} = 406,3 + 19,021(21,53) + 0,8483 (14,43) - 10,401 (72)$$

$$I_{\text{pred}} = 79,38$$

Para calcular el rendimiento predicho se utiliza la ecuación (1) reemplazando el valor obtenido de la corriente predicha. Se multiplica la velocidad media por 3,6 para tener un valor de la velocidad media en kilómetros por hora.

$$\eta_{\text{prd}} = \frac{72 \cdot 79,38}{14,43 \cdot 3,6}$$

$$\eta_{\text{prd}} = 109,96 \frac{\text{Wh}}{\text{km}}$$

Para el calcular la autonomía ideal se ocupa la ecuación (2), reemplazando el valor del rendimiento predicho.

$$A_{\text{ideal}} = \frac{E_{\text{batt}}}{\eta_{\text{prd}}}$$

Tabla 13

Valores para el cálculo de la capacidad de la batería

Parámetro	Valor	Unidad
Tensión nominal [V]	72	V
Capacidad nominal [c]	35	A/h
Profundidad de descarga [KD _o]	0,8	—

Nota. Valores son propios de la capacidad de la batería de la motocicleta para el valor de la profundidad de descarga se utiliza el valor de KD_o=0,8.

Utilizando la ecuación (5), se encuentra el valor de la *capacidad de la batería*

$$E_{\text{batt}} = 72 \cdot 35 \cdot 0,8$$

$$E_{\text{batt}} = 2016 \text{ Wh}$$

Reemplazando en la ecuación (2).

$$A_{\text{ideal}} = \frac{2016}{109,96}$$

$$A_{ideal} = 18,33 \text{ km}$$

Se reemplaza el valor de la autonomía ideal en la ecuación (3) para conocer la autonomía promedio, el rendimiento del ciclo utiliza un valor de $\eta_{ciclo}=2,82$.

$$A_{prd}=18,33 * 2,82$$

$$A_{prd}= 51,69 \text{ km}$$

Tabla 14

Valores para el cálculo de la energía consumida ciclo WMTC urbano

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia instantánea [P_i]	2388255,476	W
Intervalo de tiempo [Δt]	0,5	s

Nota. Estos valores son calculados dependientemente del tipo de ciclo.

Al reemplazar en la ecuación (35), se obtiene el resultado:

$$\text{Energía consumida} = \frac{(2388255,476 * 0,5)}{3600}$$

$$\text{Energía consumida} = 331,70 \text{ [Wh]}$$

Para obtener el rendimiento calculado, se utiliza la ecuación (36) con el dato de la distancia total recorrida de la Tabla 15.

Tabla 15

Distancia total recorrida durante el ciclo WMTC trayecto urbano

Parámetro	Valor	Unidad
Distancia recorrida	8522,08	m
Energía consumida	331,70	Wh

Nota. Resultados obtenidos de la distancia y energía consumida durante el trayecto urbano.

$$\eta_{cal} = \frac{331,70}{8522,08} * 1000$$

$$\eta_{cal} = 38,92 \frac{Wh}{km}$$

Modelo matemático WMTC interurbano

Para la parte dos correspondiente para la parte interurbana se utiliza la regresión de la corriente eléctrica I_{pred} , ecuación (20) obtenida mediante regresión.

$$I_{pred} = 2085,0 - 15,348(T) - 0,3502(u) - 21,762(V)$$

Cálculo del modelo matemático

Para el cálculo de la corriente predicha se utiliza la ecuación (20) se reemplazan los datos de la Tabla 10, dando como resultado.

$$I_{pred} = 2085,0 - 15,348 (24,20) - 0,3502(30,41) - 21,762(72)$$

$$I_{pred} = 135,98$$

Se realiza la misma metodología de cálculo para el resto de etapas del ciclo WMTC y el ciclo JC08.

Para calcular el rendimiento predicho se utiliza la ecuación (1) reemplazando el valor obtenido de la corriente predicha. Se multiplica la velocidad media por 3,6 para tener un valor de la velocidad media en kilómetros por hora.

$$\eta_{prd} = \frac{72 * 135,98}{30,41 * 3,6}$$

$$\eta_{prd} = 89,41 \frac{Wh}{km}$$

Para el calcular la autonomía ideal se ocupa la ecuación (2) reemplazando el valor del rendimiento predicho.

$$A_{ideal} = \frac{E_{batt}}{\eta_{prd}}$$

Para calcular la capacidad de la batería se utiliza los datos de la Tabla 13 en la ecuación (2).

$$E_{\text{batt}} = 2016 \text{ Wh}$$

Reemplazando en la ecuación (2).

$$A_{\text{ideal}} = \frac{2016}{89,41}$$

$$A_{\text{ideal}} = 22,54 \text{ km}$$

Se reemplaza este valor de la autonomía ideal en la ecuación (3) para conocer la autonomía promedio, para el rendimiento del ciclo de utiliza el valor de $\eta_{\text{ciclo}}=1,68$.

$$A_{\text{prd}} = 22,54 * 1,68$$

$$A_{\text{prd}} = 37,87 \text{ km}$$

$$A_{\text{prd}} = 51,69 \text{ km}$$

Tabla 16

Valores para el cálculo de la energía consumida ciclo WMTC interurbano

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia instantánea [P_i]	6431934,6	W
Intervalo de tiempo [Δt]	0,5	s

Nota. Estos valores son calculados dependientemente del tipo de ciclo.

Al remplazar en la ecuación (35), se obtiene el resultado:

$$\text{Energía consumida} = \frac{(6431934,6 * 0,5)}{3600}$$

$$\text{Energía consumida} = 893,32 \text{ [Wh]}$$

Para obtener el rendimiento calculado, se utiliza la ecuación (36) con el dato de la distancia total recorrida presentado en la siguiente tabla.

Tabla 17*Distancia total recorrida durante el ciclo WMTC trayecto interurbano*

Parámetro	Valor	Unidad
Distancia recorrida	16812,175	m
Energía consumida	893,32	Wh

Nota. Resultados obtenidos de la distancia y energía consumida durante el trayecto interurbano.

$$\eta_{cal} = \frac{893,32}{16812,175} * 1000$$

$$\eta_{cal} = 53,13 \frac{\text{Wh}}{\text{km}}$$

Modelo matemático WMTC extraurbano

Para la parte tres correspondiente para la parte extraurbana se utiliza la regresión de la corriente eléctrica I_{pred} , ecuación (25) obtenida mediante regresión

$$I = 2374,7 - 34,036(T) - 0,1068(u) - 21,0118(V)$$

Cálculo del modelo matemático WMTC extraurbano**Tabla 18***Valores del reporte y análisis estadístico del ciclo WTMC extraurbano*

Parámetro	Valor	Unidad
Tensión nominal [V]	72	V
Velocidad media [u]	34,19	m/s
Temperatura promedio [T]	21,24	°c

Nota. Valores para el cálculo del modelo matemático.

Para el cálculo de la corriente predicha se utiliza la ecuación (25) se reemplazan los datos de la Tabla 11, en la ecuación de regresión dando como resultado.

$$I = 2374,7 - 34,036(21,24) - 0,1068(34,19) - 21,0118(72)$$

$$I_{\text{pred}} = 135,22$$

Para el rendimiento predicho se utiliza la ecuación (1) y se multiplica la velocidad media por 3,6 para tener un valor de la velocidad media en kilómetros por hora.

$$\eta_{\text{prd}} = \frac{72 * 135,22}{34,19 * 3,6}$$

$$\eta_{\text{prd}} = 79,08 \frac{\text{Wh}}{\text{km}}$$

Para la autonomía ideal se ocupa la ecuación (2)reemplazando el valor del rendimiento predicho.

$$A_{\text{ideal}} = \frac{E_{\text{batt}}}{\eta_{\text{prd}}}$$

Para calcular la capacidad de la batería se utiliza los datos de la Tabla 13 en la ecuación (5).

$$E_{\text{batt}} = 2016 \text{ Wh}$$

Reemplazando en la ecuación (2).

$$A_{\text{ideal}} = \frac{2016}{79,08}$$

$$A_{\text{ideal}} = 25,49 \text{ km}$$

Se reemplaza este valor en la ecuación (3) para conocer la autonomía predicha, para el rendimiento del ciclo de utiliza el valor de $\eta_{\text{ciclo}}=1,68$.

$$A_{\text{prd}}=25,49 * 1,68$$

$$A_{\text{prd}}= 42,82 \text{ km}$$

Tabla 19

Valores para el cálculo de la energía consumida ciclo WMTC extraurbano

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia instantánea [P_i]	4307806,091	W
Intervalo de tiempo [Δt]	0,5	s

Nota. Estos valores son calculados dependientemente del tipo de ciclo.

Al remplazar en la ecuación (35), se obtiene el resultado:

$$\text{Energía consumida} = \frac{(4307806,091 * 0,5)}{3600}$$

$$\text{Energía consumida} = 598,31 \text{ [Wh]}$$

Para obtener el rendimiento calculado, se utiliza la ecuación (36) con el dato de la distancia total recorrida siguiente tabla.

Tabla 20

Distancia total recorrida durante el ciclo WMTC trayecto extraurbano

Parámetro	Valor	Unidad
Distancia recorrida	13054,445	m
Energía consumida	598,31	Wh

Nota. Resultados obtenidos de la distancia y energía consumida durante el trayecto.

$$\eta_{cal} = \frac{598,31}{13054,445} * 1000$$

$$\eta_{cal} = 45,83 \frac{\text{Wh}}{\text{km}}$$

Modelo matemático JC08

Para el modelo matemático del ciclo JC08 se utiliza la regresión de la corriente eléctrica I_{pred} , de la ecuación (30).

$$I = 1647,3 - 13,583(T) - 0,0456(u) - 19,209(V)$$

Cálculo del modelo matemático JC08

Para el cálculo de la corriente predicha se utiliza la ecuación (30) se reemplaza con los valores promedio de este ciclo presentados en la Tabla 12.

$$I = 1647,3 - 13,583(17,67) - 0,0456(18,61) - 19,209(72)$$

$$I_{\text{pred}} = 23,30$$

Para el rendimiento predicho se utiliza la ecuación (1) además se multiplica la velocidad media por 3,6 para convertir la velocidad media en kilómetros por hora.

$$\eta_{\text{prd}} = \frac{72 * 23,30}{18,61 * 3,6}$$

$$\eta_{\text{prd}} = 25,03 \frac{\text{Wh}}{\text{km}}$$

Para la autonomía ideal se utiliza la ecuación (2).

$$A_{\text{ideal}} = \frac{E_{\text{batt}}}{\eta_{\text{prd}}}$$

Para calcular la capacidad de la batería se utiliza los datos de la Tabla 13 en la ecuación (5).

$$E_{\text{batt}} = 2016 \text{ Wh}$$

$$A_{\text{ideal}} = \frac{2016}{25,03}$$

$$A_{\text{ideal}} = 80,51 \text{ km}$$

Se reemplaza en la ecuación (3) para conocer la autonomía promedio, para el rendimiento del ciclo se utiliza el valor de $\eta_{\text{ciclo}} = 0,68$.

$$A_{\text{prd}} = 80,51 * 0,68$$

$$A_{\text{prd}} = 54,75 \text{ km}$$

Tabla 21

Valores para el cálculo de la energía consumida ciclo JC08

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia instantánea [P_i]	6353563	W
Intervalo de tiempo [Δt]	0,5	s

Nota. Estos valores son calculados dependientemente del tipo de ciclo.

Al remplazar en la ecuación (35), se obtiene el resultado:

$$\text{Energía consumida} = \frac{(6353563 * 0,5)}{3600}$$

$$\text{Energía consumida} = 882,43 \text{ [Wh]}$$

Para obtener el rendimiento calculado, se utiliza la ecuación (36) con el dato de la distancia total recorrida con los siguientes valores.

Tabla 22

Distancia total recorrida durante el ciclo JC08

Parámetro	Valor	Unidad
Distancia recorrida	22506,84	m
Energía consumida	882,43	Wh

Nota. Resultados obtenidos de la distancia y energía consumida durante el trayecto.

$$\eta_{cal} = \frac{882,43}{22506,84} * 1000$$

$$\eta_{cal} = 39,20 \frac{\text{Wh}}{\text{km}}$$

Comparación de la autonomía real y la predicha de cada ciclo de conducción

Para calcular la autonomía real del ciclo se utiliza la siguiente ecuación, reemplazando todos los valores obtenidos previamente.

$$\text{Autonomía (km)} = \frac{E_{\text{batt}}}{\eta_{\text{cal}}} \quad (37)$$

Dónde:

E_{batt} = Capacidad de la batería

η_{cal} = Rendimiento calculado

Ciclo WMTC

Urbano

$$\text{Autonomía (km)} = \frac{2016}{38,92}$$

$$\text{Autonomía (km)} = 51,79 \text{ km}$$

Autonomía predicha

$$A_{\text{prd}} = 51,69 \text{ km}$$

Interurbano

$$\text{Autonomía (km)} = \frac{2016}{53,13}$$

$$\text{Autonomía (km)} = 37,94 \text{ km}$$

Autonomía predicha

$$A_{\text{prd}} = 37,87 \text{ km}$$

Extraurbano

$$\text{Autonomía (km)} = \frac{2016}{45,83}$$

$$\text{Autonomía (km)} = 43,98 \text{ km}$$

Autonomía predicha

$$A_{\text{prd}} = 42,82 \text{ km}$$

CICLO JC08

$$\text{Autonomía (km)} = \frac{2016}{39,20}$$

Autonomía (km)= 51,41 km

Autonomía predicha

$A_{prd} = 54,75$ km

Con el propósito de comparar la capacidad predictiva de los modelos desarrollados para cada ciclo de conducción, se calculó el error porcentual entre la autonomía real y la autonomía predicha.

El error porcentual permite cuantificar la desviación relativa de cada modelo respecto al valor real, normalizando la diferencia en función de la magnitud de la autonomía obtenida en cada ciclo. De esta manera, se establece un criterio uniforme de comparación el error porcentual se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Error \% = \frac{|A_{real} - A_{pred}|}{A_{real}} \times 100 \quad (38)$$

Tabla 23

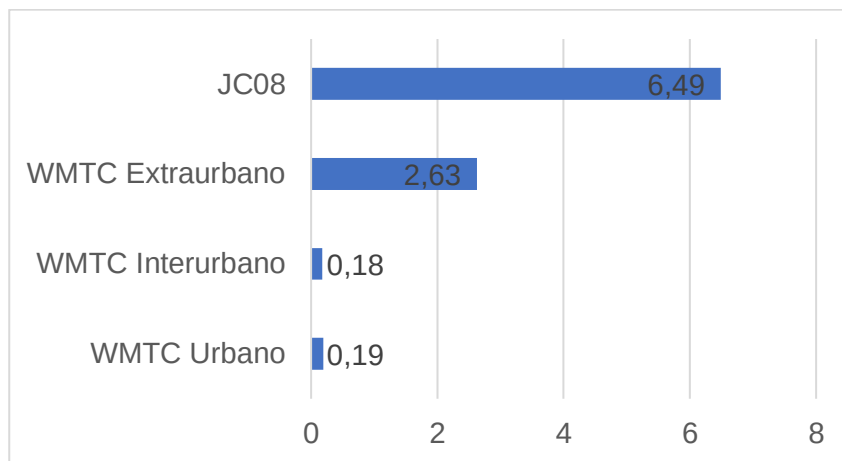
Error porcentual de la autonomía de cada ciclo

Ciclo	Autonomía real [km]	Autonomía predicha [km]	Error (%)
WMTC Urbano	51,79	51,69	0,19
WMTC Interurbano	37,94	37,87	0,18
WMTC Extraurbano	43,98	42,82	2,63
JC08	51,41	54,75	6,49

Nota. Porcentajes de error porcentual de la autonomía real y la predicha de cada ciclo.

Figura 26

Comparación del error porcentual entre la autonomía real y predicha.



Nota. Los valores corresponden al error relativo obtenido de los algoritmos en ciclos WMTC y JC08.

Los resultados obtenidos evidencian que los modelos correspondientes al ciclo WMTC presentan menor desviación respecto a los valores reales de autonomía, registrando el menor error porcentual en el tramo interurbano 0,16 % seguido del tramo urbano 0,19 % lo que indica una alta capacidad predictiva del modelo bajo estas condiciones operativas. En tramos extraurbano WMTC se observa un incremento moderado del error de 2,63 % atribuidos a efectos aerodinámicos, condiciones topográficas propias de la ciudad de Latacunga y altas demandas energéticas, factores que generan variaciones en el consumo eléctrico y afectan la precisión del modelo desarrollado. Por otro lado, el ciclo JC08 presenta un mayor error de 6,49 %, indicando una menor capacidad predictiva, este comportamiento se asocia a la presencia de picos de velocidad de hasta 83,8 km/h y aceleraciones fuertes debido a que el entorno permite un estilo de conducción defensivo. En consecuencia, dentro del marco experimental desarrollado y considerando las condiciones reales de operación del vehículo en el entorno local, el perfil interurbano del ciclo WMTC se establece como el modelo más confiable para la proyección de autonomía del vehículo eléctrico BEV L1-B.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Se desarrollaron los protocolos de prueba para la ejecución de los ciclos de conducción armonizados WMTC y JC08 en condiciones urbanas, interurbanas y extraurbanas, estableciendo procedimientos técnicos para la recolección estructurada de datos, garantizando su usabilidad y confiabilidad en las mediciones experimentales.

Se diseñaron y ejecutaron los ciclos WMTC y JC08 bajo escenarios reales de operación del vehículo BEV L1-B M.V., los cuales fueron adaptados a las condiciones de movilidad y topografía de la ciudad de Latacunga, registrando parámetros relevantes como velocidad, tensión, temperatura, corriente, lo que permitió caracterizar el comportamiento energético del sistema de tracción en cada ciclo de conducción.

Se analizó los parámetros de operación asociados a la gestión energética del vehículo BEV L1-B M.V. mediante la aplicación de ciclos de conducción armonizados WMTC y JC08, utilizando el flujo de datos en vivo para la adquisición y procesamiento de información en tiempo real, lo que permitió evaluar el comportamiento energético del sistema de tracción.

Se implementó un algoritmo de proyección de autonomía que relaciona velocidad, voltaje, corriente, temperatura, tiempo con el consumo energético por kilómetro, permitiendo estimar de manera técnica y cuantificable la autonomía del BEV L1- B.M.V.

Se determinó que la aplicación de los ciclos armonizados WMTC y JC08 permite comparar el desempeño energético bajo condiciones estandarizadas tomando en consideración parámetros eléctricos y dinámicos que facilitan la comprensión del comportamiento energético del sistema en vehículos ligeros motorizados de dos ruedas.

El análisis estadístico de los datos experimentales, mediante el coeficiente de correlación de Pearson directos e inversos 1 y -1 respectivamente validan la relación entre

variables de entrada y salida confirmando su relación entre velocidad, SOC, voltaje y consumo energético.

En el estudio de la eficiencia energética determinó que el algoritmo $t(s)=2278+93,51T-6,641v-50,7V$ donde T representa la temperatura media, v la velocidad media y V la tensión nominal, caracteriza de mejor manera la predicción de autonomía en función del rendimiento y la capacidad de la batería en zonas interurbanas, con un error porcentual de 0,18 % lo que valida su aplicabilidad para este tipo de motocicletas bajo dichas condiciones.

Mediante la adquisición y procesamiento de datos en tiempo real durante la ejecución de los ciclos de conducción armonizados WMTC y JC08, se estableció el consumo energético expresado en Wh/km, el cual presentó valores promedio de 38,92 Wh/km en zona urbana, 53,13 Wh/km en zona interurbana y 45,83 Wh/km en extraurbano, evidenciando la influencia directa del perfil dinámico sobre la demanda energética.

Se comprobó que el incremento de velocidad y las aceleraciones afectan la autonomía, observándose que en zonas extraurbanas el error porcentual es de 2,64 % en comparación de velocidades medias de operación en zonas interurbanas, donde se registró un error promedio de 0,18%.

Recomendaciones

Se recomienda emplear el ciclo de conducción WMTC en su perfil interurbano como referencia principal para futuras evaluaciones del vehículo BEV L1-B M.V., debido a que demostró ser el modelo que mejor se adapta a las condiciones reales de operación en la ciudad de Latacunga, presentando el menor error porcentual en la estimación de autonomía.

Ampliar el número de pruebas experimentales incorporando diferentes condiciones de conducción, como variaciones en la carga del vehículo, estilos de manejo y horarios de circulación, con el propósito de fortalecer la base de datos y mejorar el coeficiente de determinación superior al 60 %.

Validar el algoritmo desarrollado en otras rutas o ciudades con diferentes características topográficas a fin de comprobar su nivel de adaptabilidad y verificar si mantiene un comportamiento predictivo similar fuera del entorno de estudio.

Se sugiere establecer condiciones iniciales controladas antes de ejecutar cada ciclo de conducción, tales como porcentaje de SOC inicial constante, temperatura de batería dentro de un rango estable y rutas previamente definidas, asegurando así la repetibilidad y comparabilidad de los resultados obtenidos.

Diseñar rutas de prueba considerando secciones representativas de conducción urbana, interurbana y extraurbana en la ciudad de Latacunga, incorporando pendientes reales y condiciones dinámicas controladas, de manera que los resultados reflejen con mayor precisión el comportamiento energético en operación cotidiana.

Implementar sistemas de monitoreo continuo en tiempo real integrados al BMS del vehículo, que permitan registrar datos históricos en tiempo real, facilitando el desarrollo de modelos matemáticos de estimación de autonomía y estrategias de la gestión energética.

Referencias

- Argentaria, B. B. (25 de Julio de 2024). *bbva.com*. Obtenido de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/cual-es-la-autonomia-de-un-coche-electrico-claves-para-su-uso/>
- Aquilla, C., & Cajamarca, D. (2024). *Estimación de la demanda de energía requerida en una trayectoria determinada para la moto eléctrica Venus 2.0 considerando topografía y el tráfico de la carretera*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29435>
- Barlow, T., Latham, S., McCrae, I., & Boulter, P. (2009). *A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions*. Published Project Report.
- Chicaiza, D., & Duchi, S. (2023). *Análisis del ciclo de conducción en el cantón Rumiñahui*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25664>
- Choksey, J. S. (11 de Marzo de 2024). <https://www.jdpower.com/>. Obtenido de <https://www.jdpower.com/cars/shopping-guides/what-does-kw-and-kwh-mean-for-electric-cars>
- Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa. (12 de Febrero de 2026). *UNECE*. Obtenido de <https://unece.org/>
- Dieselnet. (02 de Diciembre de 2026). *Dieselnet.com*. Obtenido de https://dieselnet.com/standards/cycles/jp_jc08.php
- Donkers, A., Yang, D., & Viktorović, M. (2020). Transportation Research. Part D, Transport and Environment. *Applied Energy* , 102569.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115408>
- Duque, D., & Rocano, J. (2018). *Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados*. Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15067>

- Ecomove. (28 de Abril de 2022). Obtenido de <https://ecomove.com.ec/>
- Electroverse. (08 de Agosto de 2023). *Electroverse.com*. Obtenido de <https://electroverse.com/es-ES/community/ev-blogs-and-guides/como-afecta-la-temperatura-a-la-capacidad-de-la-bateria-de-un-vehiculo-electrico>
- Energy, N. C. (29 de Julio de 2024). *nbcenergy.com*. Obtenido de <https://nbcenergy.com/es/what-is-battery-socstate-of-charge-and-sohstate-of-health/>
- Evoke Electric Motorcycles. (24 de Octubre de 2021). Obtenido de <https://www.evokemotorcycles.com/what-is-wmtc-and-why-should-e-motorcycle-drivers-care>
- Fiallos, G. (Junio de 2021). La Correlación de Pearson y el proceso de regresión por el Método de Mínimos Cuadrados. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5, 2491-2509. doi:10.37811/cl_rcm.v5i3.466
- Finders, R. (23 de Octubre de 2020). *rentingfinders.com*. Obtenido de <https://rentingfinders.com/glosario/capacidad-de-la-bateria/>
- Fiori, C., Ahn, K., & Rakha, H. (2016). Power-based electric vehicle energy consumption model: Model development and validation. *Applied Energy*, 168, 257-268. doi:10.1016/j.apenergy.2016.01.097
- Ghosh, A. (2020). Possibilities and Challenges for the Inclusion of the Electric Vehicle (EV) to Reduce the Carbon Footprint in the Transport Sector: A Review. *Energies*, 13(10), 2602. doi:<https://doi.org/10.3390/en13102602>
- Hajduk, P., Ranta, M., Farzam Far, M., Pippuri-Mäkeläinen, J., Anttila, J., Vukotić, M., & Miljavec, D. (23 de Julio de 2025). Enhanced socially oriented mission-based driving cycles generation and simulation framework for light electric vehicles. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12, 1166. doi:10.1057/s41599-025-05220-0

- Hu, K., Wu, J., & Schwanen, T. (13 de Septiembre de 2017). Differences in Energy Consumption in Electric Vehicles: An Exploratory Real-World Study in Beijing. (J. Dong, Ed.) *Journal of Advanced Transportation*, 1-17. doi:10.1155/2017/4695975
- Jaimez, E. (2019). *Análisis comparativo de elementos del tren de potencia de vehículos eléctricos de clase M y N*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Lambrecht, A. (27 de Febrero de 2023). *Ever.com*. Obtenido de <https://www.evercars.com/articles/ev-range-guide>
- López, F., & Fernández, R. (12 de 2020). Predictive model for energy consumption of battery electric vehicle with consideration of self-uncertainty route factors. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124188. doi:10.1016/j.jclepro.2020.124188
- Luin, B., Petelin, S., & Al-Mansour, F. (2019). Microsimulation of electric vehicle energy consumption. *Energy*, 174, 24-32. doi:10.1016/j.energy.2019.02.034
- Martyushev, N., Malozyomov, B., Sorokova, S., Efremenkov, E., & Qi, M. (5 de Junio de 2023). Mathematical Modeling the Performance of an Electric Vehicle Considering Various Driving Cycles. *Mathematics*, 11, 2586. doi:10.3390/math11112586
- Merchán, J. (2018). *Estudio del rendimiento energético de un vehículo eléctrico en la ciudad de Cuenca*. Universidad de Cuenca, Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30321>
- Miller, J., & Miller, J. (2002). *Estadística y quimiometría para química analítica*. Madrid: Prentice Hall.
- Montes, I. R. (11 de Junio de 2024). *Pesquisa Javeriana*. Obtenido de <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/vehiculos-electricos-optimizacion-eficiencia-energetica/>
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (12 de Julio de 2024). *EUR-Lex*. Obtenido de Europa.eu: <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj>

recharged. (17 de Noviembre de 2025). *EV car battery capacity: kWh, range & health guide*

2025. Obtenido de <https://recharged.com/articles/ev-car-battery-capacity>

Rosas, J., & Trujillo, A. (2022). *Análisis de autonomía de batería y ciclos de conducción en un vehículo eléctrico urbano, en ciudades de altura*. Universidad Técnica del Norte , Ibarra.

Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12431>

Transporte, M. d. (2021). *LEY ORGÁNICA DE TRANSPORTE TERRESTRE TRÁNSITO Y*

SEGURIDAD VIAL. Obtenido de [https://www.mit.gob.ec/wp-](https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/08/LOTAIP_6_Ley-Organica-de-Transporte-Terrestre-Transito-y-Seguridad-Vial-2021.pdf)

[content/uploads/downloads/2021/08/LOTAIP_6_Ley-Organica-de-Transporte-Terrestre-Transito-y-Seguridad-Vial-2021.pdf](https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/08/LOTAIP_6_Ley-Organica-de-Transporte-Terrestre-Transito-y-Seguridad-Vial-2021.pdf)

Trashorras, J. (2019). *Vehículos eléctricos*. Ediciones Parainfor, S.A.

UNNECE. (2012). *Foro mundial para al armonización de reglamentación sobre vehiculos*.

Obtenido de

https://unece.org/DAM/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29pub/WP29_Blue_Book_2012-1s_01.pdf

Uyaguari, A. (2020). *Análisis del requerimiento operativo y legal para los vehículos eléctricos*.

Quito. Obtenido de

<https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9ae45a27-85f1-42cf-a73a-d0e84d1bd2fa/content>

Apéndices