



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Sede
Latacunga



Análisis de los parámetros 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

AUTORES : Llambo Ulpo, Bryan Tarquino

Andachi Valencia, Kevin Adrian

DIRECTOR: Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio



Planteamiento del problema



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Las motocicletas eléctricas operan bajo variaciones constantes de velocidad, aceleraciones y pendientes. Estas condiciones modifican la demanda energética del sistema de tracción afectando el consumo eléctrico durante la conducción.

La autonomía establecida por el fabricante se determina bajo ciclos estandarizados que no representan un entorno real de operación, lo cual genera diferencias entre la autonomía nominal y la obtenida en condiciones reales.

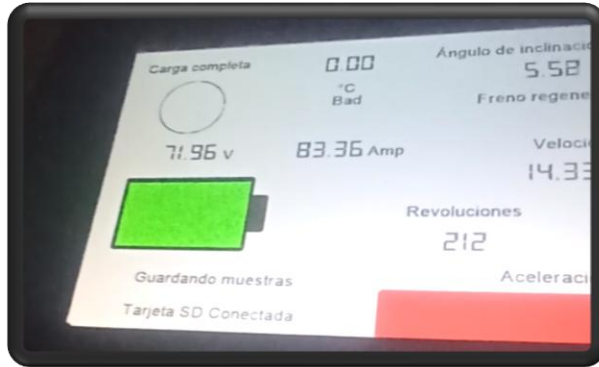
Ante esta problemática, el proyecto analiza parámetros de la gestión energética bajo ciclos de conducción armonizados y desarrollar un modelo matemático validado estadísticamente que permita estimar la autonomía del BEV L1-B M.V. bajo condiciones específicas de la ciudad de Latacunga.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Objetivo general

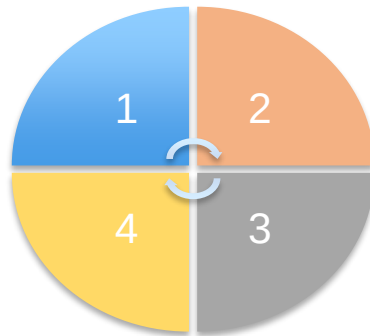
Analizar los parámetros de operación de la gestión de energía del vehículos BEV L1-B M.V. mediante la adquisición de flujo de datos en vivo y la aplicación de los ciclos de conducción armonizados WMTC (World Motorcycle Test Cycles) y JC08.



Objetivos específicos

Desarrollar y adaptar los protocolos de los ciclos de conducción armonizados WMTC y JC08 para su aplicación en el vehículo BEV L1-B M.V. mediante flujo de datos en vivo.

Analizar el consumo energético en función de la velocidad, voltaje y estado de carga (SOC), evaluando su relación con el comportamiento dinámico del vehículo.



Ejecutar pruebas dinámicas en condiciones reales en zonas urbanas, interurbanas y extraurbanas, registrando parámetros de operación relevantes para el análisis de la gestión energética.

Implementar un algoritmo de proyección de autonomía que relacione las variables energéticas con el consumo por kilómetro para estimar la autonomía del BEV L1-B M.V.

Metodología

Enfoque

- El enfoque cuantitativo se basa en la medición y análisis de variables numéricas obtenidas en tiempo real del vehículo BEV L1-B M.V
- El alcance es explicativo y experimental, ya que se evalúa el comportamiento energético bajo condiciones específicas de operación.

Diseño de la investigación

- Se aplicó un diseño experimental y comparativo, siguiendo un proceso cronológico que incluye protocolos de instrumentación del vehículo, toma de datos, diseño de la ruta, ejecución de ciclos armonizados WMTC y JC08 y la comparación matemática de los resultados obtenidos.

Fuentes de información

- La información proviene de fuentes primarias: pruebas experimentales en vivo e informes técnicos de los ciclos de conducción, y de fuentes secundarias incluyendo artículos, manuales y normativas de los ciclos armonizados.

Metodología



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Recolección de datos

- Se realizó mediante flujo de datos en vivo, registrando parámetros como Temperatura, RPM, Velocidad, Ángulo, Voltaje, Corriente, % Acelerador, Tiempo recolectados mediante una hoja de cálculo.

Análisis estadístico

- Se aplicaron estadísticas descriptivas e inferenciales, que incluye el coeficiente de correlación de Pearson, detección de valores atípicos mediante el método de Grubbs y regresión lineal múltiple por mínimos cuadrados para el desarrollo del modelo predictivo.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RESUMEN



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

—

- La investigación analiza 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 adaptan los ciclos a las condiciones de la ciudad de Latacunga conforme a los parámetros establecidos en cada protocolo

—

- La base de datos será 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
- Método de Grubbs, análisis de correlación de Pearson y diagramas de caja o bigotes, mejorando el coeficiente de determinación del modelo

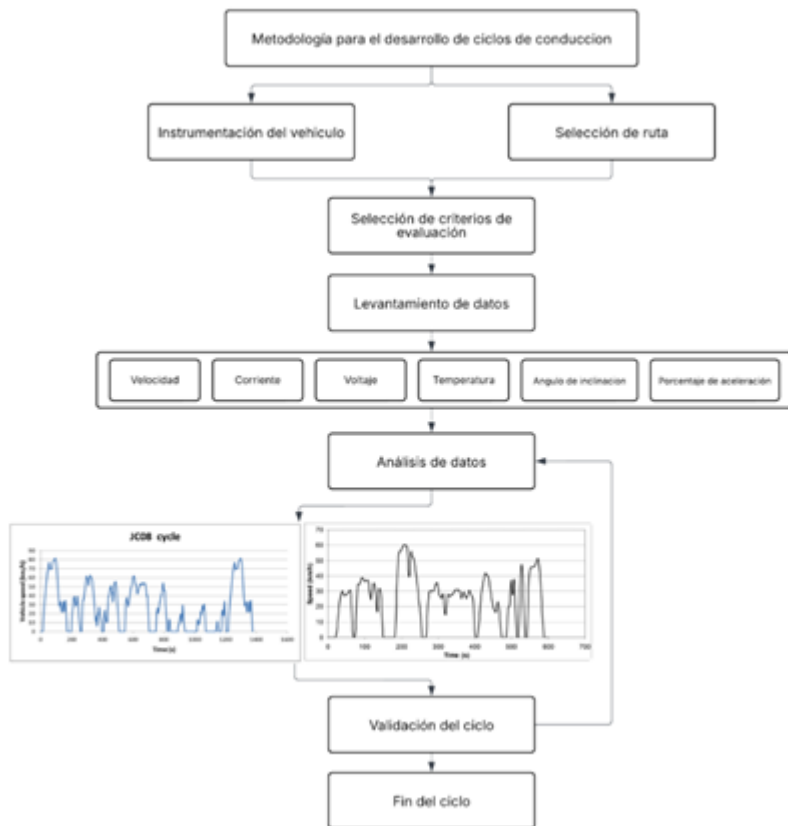
—

- Como resultado, se obtendrá un algoritmo con un coeficiente de determinación superior al 60 %, capaz de proyectar la autonomía con un margen de error de $\pm 7\%$.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

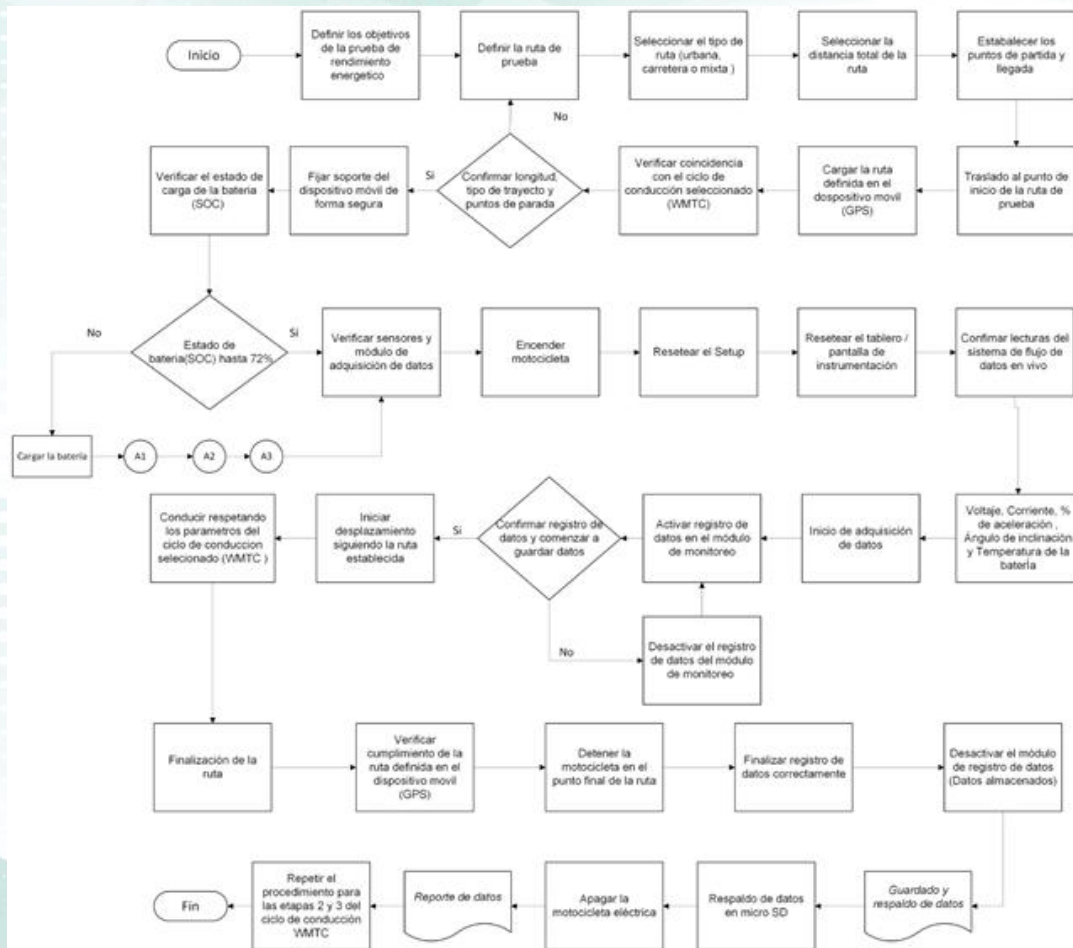
Metodología para el desarrollo de los ciclos de conducción



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.

PROTOCOLO DE PRUEBA PARA LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN ARMONIZADOS WMTC Y JC08





A1: Colocar switch posición OFF.
A2: Monitorear el led de carga.
A3: Desconexión segura.

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

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

Rutas seleccionadas ciclo WMTC

Trayecto urbano



Se definió 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

Trayecto interurbano



La ruta tiene 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.

Trayecto extraurbano



Esta ruta representa un trayecto de 14 kilómetros la cual se realizó en la vía panamericana 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

Rutas seleccionadas ciclo JC08



La ruta definida se la 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.

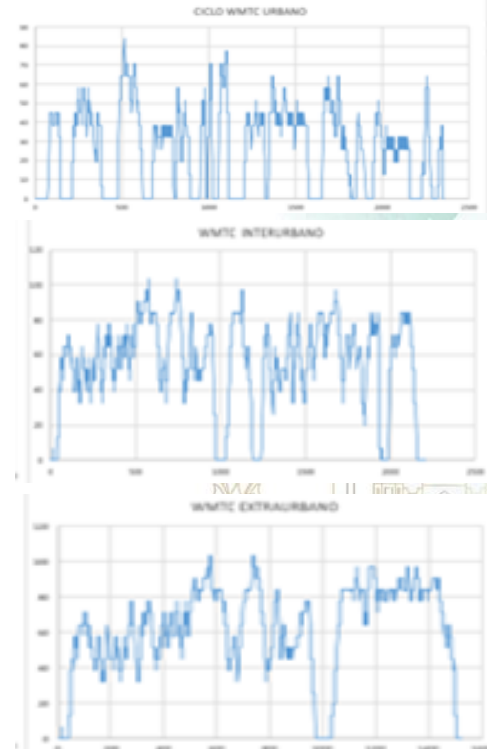
El trayecto se lo realiza como punto de partida desde la universidad de las fuerzas armadas Espe campus centro y recorre las principales de la ciudad

Perfil de velocidad del ciclo de conducción WMTC

Una vez finalizada 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

Se presenta 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

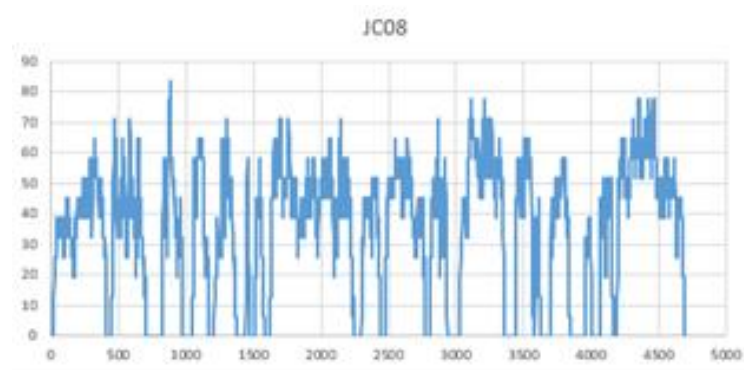


Perfil de velocidad del ciclo de conducción JC08



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Se presenta un análisis comparativo del perfil de velocidad obtenido de forma experimental en la ciudad de Latacunga (ciclo de conducción armonizado JC08) bajo las condiciones de tráfico y topografía específicas de la zona centro de la ciudad y el patrón de velocidad estandarizado del ciclo.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Análisis de resultados

Variables obtenidas mediante los sensores implementados los cuales son procesadas por el módulo de adquisición

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

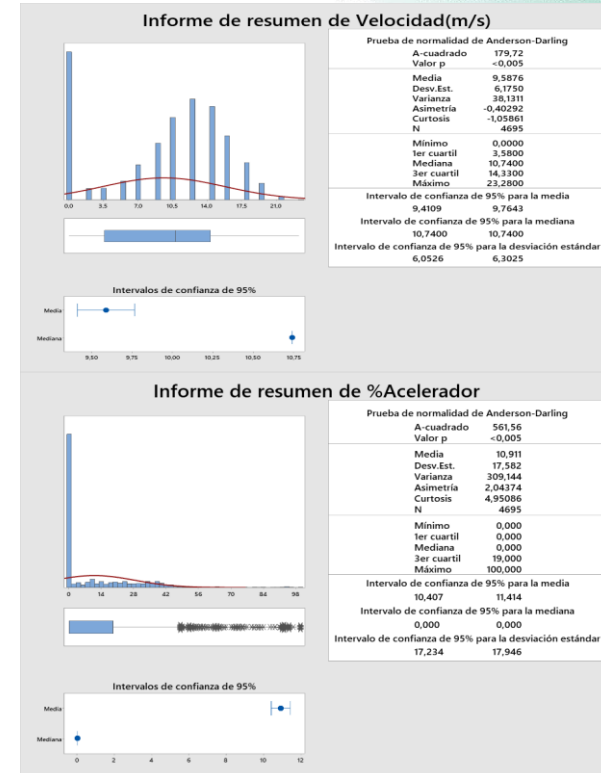


Análisis de resultados

Filtración de datos atípicos de forma manual

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

Mide qué tan bien se ajustan los datos a una distribución específica entre menor sea el número Anderson-Darling



Análisis de resultados

Análisis de correlación por el método de Pearson

Una vez validados los datos, analizamos la correlación física entre variables usando el coeficiente de Pearson

	Temperatura	RPM	Velocidad(m/s)	Ángulo	Voltaje	Corriente	%Acelerador
RPM	0,097						
Velocidad(m/s)	-0,051	0,427					
Ángulo	0,219	-0,025					
Voltaje	-0,446	-0,427	-0,660				
Corriente	0,082	0,180	0,404	0,681	-0,852		
%Acelerador	0,139	0,217	0,442	0,582	-0,797	0,828	
Tiempo (s)	0,423	0,047	-0,038	0,159	-0,357	0,068	0,185



Relación analizada	r WMTC Urbano	r WMTC Interurbano	r WMTC Extraurbano	r 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

$$-1 \leq r_{xy} \leq 1$$

Análisis de resultados

Valores atípicos por el método de Grubbs

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.

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

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

Análisis de resultados

Regresiones múltiples

WMTC URBANO

Ecuación de regresión

Tiempo (s) = 8363,3 + 106,22 Temperatura - 1,050 Velocidad(m/s) - 130,37 Voltaje
- 4,333 Corriente

Ecuación de regresión

Corriente = 406,3 + 19,021 Temperatura + 0,8483 Velocidad(m/s) - 10,401 Voltaje



Resumen del modelo

	S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
	95,6237	76,01%	75,97% 75,87%

61,51 %

WMTC INTERURBANO

Ecuación de regresión

Tiempo (s) = 18132 - 23,19 Temperatura - 9,301 Velocidad(m/s) - 216,17 Voltaje
- 7,604 Corriente

Ecuación de regresión

Corriente = 2085,0 - 15,348 Temperatura - 0,3502 Velocidad(m/s) - 21,762 Voltaje



Resumen del modelo

	S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
	255,034	36,25%	36,13% 35,89%

Resumen del modelo

	S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
	15,2478	83,99%	83,97% 83,95%

59,92 %

$$t(s) = 6602,81 + 24,81(T) - 4,72(v) - 85,31(V)$$

$$t(s) = 2278 + 93,51(T) - 6,641(v) - 50,7(V)$$

Análisis de resultados

Regresiones múltiples

WMTC EXTRAURBANO

Ecuación de regresión

Tiempo (s) = -6691 + 416,82 Temperatura + 0,338 Velocidad(m/s) - 22,93 Voltaje
- 0,7755 Corriente

Ecuación de regresión

Corriente = 2374,7 - 34,036 Temperatura - 0,1068 Velocidad(m/s) - 21,011 Voltaje

$$t(s) = -8532,5 + 440,21(T) + 0,4238(v) - 6,64(V)$$

JC08

Ecuación de regresión

TIEMPO (s) = -62464 + 1134,2 Temperatura + 17,53 Velocidad(m/s) + 594,6 Voltaje
+ 24,655 Corriente

Ecuación de regresión

Corriente = 1647,3 - 13,583 Temperatura - 0,0456 Velocidad(m/s) - 19,209 Voltaje

$$t(s) = -21849.82 + 799,32(T) + 16,41(v) + 121,01V$$

Resumen del modelo

		R-cuad.	R-cuad.
	S	R-cuad. (ajustado)	(pred)
	34,8718	97,49%	97,48% 97,46%

Resumen del modelo

		R-cuad.	R-cuad.
	S	R-cuad. (ajustado)	(pred)
	14,7784	84,25%	84,22% 84,18%

90,82 %

Resumen del modelo

		R-cuad.	R-cuad.
	S	R-cuad. (ajustado)	(pred)
	430,108	59,96%	59,93% 59,84%

Resumen del modelo

		R-cuad.	R-cuad.
	S	R-cuad. (ajustado)	(pred)
	13,8204	77,03%	77,02% 76,99%

68,41 %

Análisis de resultados

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

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

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



Análisis de resultados

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

Cálculo de la autonomía por ciclo ciclo

WMTC Urbano: $t(s) = 926,7439497 \text{ s}$ Distancia(Km) = $\frac{t(s) * V_{media}}{1000}$ Distancia= 13,3804 km

WMTC Interurbano: $t(s) = 689,012072 \text{ s}$ Distancia(Km) = $\frac{t(s) * V_{media}}{1000}$ Distancia= 20,9566 km

WMTC Extraurbano: $t(s) = 355,297479 \text{ s}$ Distancia(Km) = $\frac{t(s) * V_{media}}{1000}$ Distancia= 12,1498 km

WMTC JC08: $t(s) = 1297,638971 \text{ s}$ Distancia(Km) = $\frac{t(s) * V_{media}}{1000}$ Distancia=24,1525 km

Análisis de resultados

Hoja de cálculo para autonomía Real (Ejemplo JC08)



DE LAS FUERZAS ARMADAS
PARA LA EXCELENCIA

Autonomía Real		
Parámetro/ Unidad	Valor calculado	Formula
Distancia total recorrida (m)	22506,84	$Distancia_{Total} = \sum (v_i * \Delta t)$
Energía consumida wh	882,4394537	$Energía\ consumida = \frac{\sum (P_i * \Delta t)}{3600}$
Rendimiento calculado (Wh/Km)	39,20761216	$Rendimiento_{calculado} = \frac{Energía\ consumida}{Distancia_{Total}} * 1000$
Autonomía(km)	51,41858657	$Autonomía\ (km) = \frac{Capacidad\ de\ batería\ (Wh)}{Rendimiento\ calculado\ (\frac{Wh}{km})}$

Características eficiencia-Capacidad de la Batería			
Parámetro	Valor	Unidad	Característica
Tensión nominal	72	v	Dato placa
Capacidad nominal	35	Ah	Dato placa
Capacidad batería	2016	Wh	Dato calculado
KD_o	0,8	--	Profundidad de descarga
η_{ciclo}	U(2,82); I(1,68); E(1,68) J (0,68)	--	Eficiencia dinámica del ciclo

$$E_{batt} = V * c * KD_o$$



Batería: Litio 72V 35Ah
 Tipo de batería: Extraíble
 Motor: 2000W
 Carga máxima: 140 kg
 Llantas: 3" x 10 sin tubo
 Freno hidráulico de disco frontal: Si
 Freno hidráulico de disco posterior: Si
 Tiempo de carga: 6 horas
 Sistema de alarma: Si



ESPE
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Análisis de resultados

Hoja de cálculo para la autonomía Predicha (Ejemplo JC08)

Autonomía Modelo		
Parámetro	Valor calculado	Formula
Corriente promedio (A)	23,30124254	$I_{pred} = 1647,3 - 13,583Temperatura - 0,0456Velocidad \left(\frac{m}{s}\right) - 19,209Voltaje$
Rendimiento predicho (Wh/km)	25,03801378	$Rendimiento_{prd} = \frac{Tensión\ nominal * I_{pred}}{V_{media}}$
Autonomía ideal (km)	80,5175689	$Autonomía_{ideal} = \frac{Capacidad\ batería}{Rendimiento\ predicho}$
Autonomía predicha (km)	54,75194685	$Autonomía_{prd} = Autonomía_{ideal} * \eta_{ciclo}$

Análisis de resultados

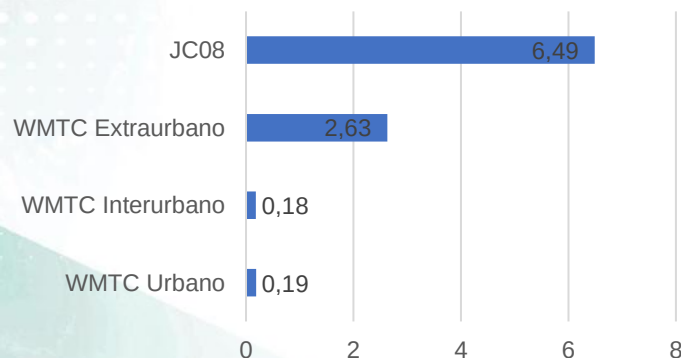
Cálculo de la autonomía en función de rendimiento y capacidad de la batería

Ciclo armonizado	Real		Predicha	
	Rendimiento (Wh/km)	Autonomía (km)	Rendimiento (Wh/km)	Autonomía (km)
WMTC-Urbano	38,92267492	51,79500135	54,9822	51,69961652
WMTC-Interurbano	53,13555539	37,94069687	44,7099	37,87617142
WMTC-Extraurbano	45,83162299	43,987096	39,544	42,82329461
JC08	39,20761216	51,41858657	25,03801378	54,75194685

Análisis de resultados

Resultados obtenidos

Ciclo Armonizado	distancia predicha (km)	distancia real (km)	Autonomía predicha (km)	Autonomía real (km)	Error (%)
WMTC- Urbano	13,3804	8,52208	51,6996	51,7950	0,19
WMTC-Interurbano	20,9566	16,8121	37,8761	37,9406	0,18
WMTC-Extraurbano	12,1498	13,0544	42,8232	43,9870	2,63
JC08	24,1525	22,5068	54,7519	51,4185	6,49



Se válida el modelo de estimación de la autonomía de la motocicleta de prueba el algoritmo WMTC Interurbano

Conclusiones

En el estudio de la eficiencia energética determinó que el algoritmo donde T representa la temperatura media, 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, permitiendo caracterizar su consumo energético expresado en Wh/km la cual presentó valores promedio de 38,92 Wh/km en zona urbana, 53,13 Wh/km en interurbano 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 % respecto a velocidades medias de operación en zonas interurbanas con un error promedio de 0,18%.

Recomendaciones

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.

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.

Gracias por su
atención

