



Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones

Estudio del Rendimiento Energético de un Vehículo Eléctrico en la Ciudad de Cuenca

*Tesis previo a la obtención del título
de Ingeniero en Electrónica y
Telecomunicaciones.*

Autor :

Jorge Luis Merchán Lima C.I: 0104863709

Director :

Ing. Luis Gerardo González Morales, PhD C.I: 1729711059

Cuenca - Ecuador

2018



Resumen

EL *Vehículo Eléctrico*(VE) es ampliamente considerado como una solución prometedora para reducir la contaminación del aire en las ciudades. El despliegue del VE se complica por aspectos técnicos y culturales tales como su limitada autonomía, debido a que las baterías aún necesitan superar compromisos fundamentales en cuanto a densidad de energía, vida útil y costos. La aceptación del usuario para adquirir un VE incrementará significativamente, si el propietario del vehículo confiase en base a un estudio técnico que garantice el rendimiento del VE en un ambiente real, además de disponer una infraestructura de carga ajustada a sus necesidades.

En este estudio se analiza el comportamiento de la eficiencia energética de un VE ante factores como la orografía, condiciones de tráfico, cantidad de pasajeros, modo de manejo, rutas de campo con características urbanas, suburbanas y rurales.

El propósito de esta investigación es poner a prueba un VE en ambientes reales. La metodología utilizada consiste en capturar los datos de las variables a través del sistema de comunicación bajo el estándar *Sistema de Diagnóstico a Bordo* (OBD)² que incorpora el vehículo, este sistema se conecta a un lector de códigos y este a su vez a un smartphone mediante comunicación Bluetooth. Los datos son capturados a una tasa de 10 muestras por segundo. Durante los recorridos en todos los ambientes, se encontró que la energía obtenida por regeneración es cercana al 33 % de la energía total descargada. En lo que respecta eficiencia energética entre la batería y el motor eléctrico esta supera el 86 %.

Palabras clave : VE, rendimiento energético, movilidad, conducción en ambientes reales, OBD², Bluetooth.



Abstract

The Electric Vehicle (EV) is widely considered as a promising solution to reduce air pollution in cities. The deployment of EV is complicated by technical and cultural aspects such as its limited autonomy, because the batteries still need to overcome fundamental commitments in terms of energy density, useful life and costs. The acceptance of the user to acquire a EV will increase significantly, if the owner of the vehicle relies on a technical study that guarantees the performance of the EV in a real environment, in addition to having a cargo infrastructure adjusted to their needs.

This study analyzes the behavior of the energy efficiency of a EV before factors such as terrain, traffic conditions, number of passengers, mode of operation, field routes with urban, suburban and rural characteristics.

The purpose of this research is to test a EV in real environments. The methodology used is to capture the data of the variables through the communication system under the standard onboard diagnostic system (OBD)2 that incorporates the vehicle, this system is connected to a code reader and this in turn to a smartphone through Bluetooth communication. The data is captured at a rate of 10 samples per second. During the tours in all the environments, it was found that the energy obtained by regeneration is close to 33% of the total energy discharged. Regarding energy efficiency between the battery and the electric motor, it exceeds 86%.

Keywords : EV, energy performance, mobility, real driving environments, OBD2, Bluetooth



Índice general

Resumen	III
Abstract	IV
Índice general	V
Índice de figuras	IX
Índice de tablas	XIII
Dedicatoria	XVII
Agradecimientos	XVIII
Abreviaciones y acrónimos	XIX
1. Introducción	2
1.1. Identificación del Problema	3
1.2. Justificación	3
1.3. Alcance	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
2. Marco Teórico	5
Jorge L. Merchán	V



2.1.	Introducción	6
2.2.	Consumo de Energía de los Vehículos	6
2.2.1.	Vehículos Convencionales	6
2.2.2.	Vehículos Híbridos	7
2.2.3.	Vehículos Eléctricos	9
2.3.	Consumo de Energía de los Vehículos Comerciales	9
2.4.	Evaluación Gastos de Transporte	11
2.5.	Efectos en las Condiciones de Conducción sobre el Consumo de Energía del VE	12
2.6.	Ciclos de Conducción	14
2.7.	Máquina Eléctrica como Motor de Tracción	15
2.8.	Motor Síncrono de Imanes Permanentes PMSM	16
2.9.	Baterías para VE	16
2.9.1.	Costo del Banco de Batería para VE	17
2.9.2.	Operación de la Celda de Baterías	17
3.	Estado del Arte	19
3.1.	Introducción	20
3.2.	Regulaciones para Registro y Procesamiento de Datos	20
3.2.1.	Métodos de Recopilación de Datos y Requisitos Técnicos	20
3.2.2.	Cuestiones Legales Relacionadas con la Recopilación de Datos del VE	21
3.3.	Categorización de Ciclos de Conducción en un Ambiente Real	21
3.4.	Factores que Intervienen en el Rendimiento Energético de VE	23
3.5.	Consideraciones en el Estudio del VE	26
3.6.	Conclusiones	28
4.	Metodología	29
4.1.	Introducción	30
4.2.	Descripción de Equipos	30
4.2.1.	Kia Soul EV	30
4.2.2.	OBD2 y Bus CAN	32



4.2.3.	Escáner de Diagnóstico LM327	33
4.2.4.	Smartphone Samsung SM-G920I	34
4.3.	Configuración de Dispositivos	35
4.4.	Descripción del Ambiente	35
4.4.1.	Ambiente 1: Urbano	37
4.4.2.	Ambiente 2: Mixto (Urbano, Suburbano, Rural, Alta Velocidad)	37
4.4.3.	Ambiente 3: Alta velocidad	38
4.5.	Descripción del Procedimiento	39
4.5.1.	Identificación de Variables	39
4.6.	Métricas de Análisis de Datos	40
4.6.1.	Descripción de Datos con Medidas Numéricas	40
4.6.2.	Análisis de Correlación	40
4.6.3.	Procesamiento de Datos	40
4.7.	Conclusiones	43
5.	Resultados: Análisis de Mediciones	44
5.1.	Introducción	45
5.2.	Mediciones previas	45
5.2.1.	Variables Consideradas	45
5.3.	Medición de Variables Consideradas	46
5.4.	Análisis Estadísticos	47
5.4.1.	Correlación	47
5.5.	Presentación de Resultados por Ambientes	49
5.5.1.	Ambiente 1: Urbano	49
5.5.2.	Ambiente 2: Mixto/Combinado	54
5.5.3.	Ambiente 3: Alta Velocidad	58
5.6.	Comparación de Ambientes	63
5.7.	Comparación Especificaciones Técnicas vs Conducción en Ambiente Real	71
5.8.	Conclusiones	73



6. Conclusiones y Recomendaciones	75
6.1. Conclusiones	76
6.2. Recomendaciones	77
6.3. Trabajos Futuros	77
A. Configuración de Dispositivos	81
A.1. Pasos de Configuración	81
Bibliografía	88



Índice de figuras

2.1. Mapa de eficiencia típico de encendido del ICE, Fuente: [1, Fig. 2.12]	6
2.2. Mapa de eficiencia del consumo de combustible del ICE, Fuente: [2, Fig. 3.6] . . .	7
2.3. Tren motriz híbrido en serie-paralelo, Fuente: [2, Fig. 5.20]	8
2.4. Representación esquemática del sistema de propulsión del VE, Fuente: [3, Fig. 1.5]	9
2.5. Consumo de energía de diferentes modelos anunciadas por los fabricantes y obtenida de fabricantes y distribuidores, en kWh/100km, Fuente: [4, Fig. 6]	11
2.6. Comparación ahorro de energía, Fuente: [5, Fig. 4.14]	12
2.7. Relación de velocidad del vehículo con el consumo de energía, Fuente: [6, Fig. 9]	13
2.8. Impacto de la aceleración en el consumo de energía, Fuente: [6, Fig. 11]	13
2.9. Trayectoria de velocidad de NEDC y WLTP , Fuente: [7, Fig. 1]	14
2.10. Características típicas del rendimiento de los motores eléctricos, Fuente: [2, Fig. 2.12]	15
2.11. Características típicas de la eficiencia del motor eléctrico, Fuente: [2, Fig. 4.14]	16
2.12. Costos del banco de baterías de un VE, (\$/kWh), Fuente: [8, Fig. 4.14]	17
2.13. Celda de lithium ion polymer bajo carga y descarga, Fuente: [9, Fig. 1.8]	18
3.1. Ciclos de conducción normativos de EEUU, Europa y Japón, Fuente: [9, Fig. 1.6]	22
3.2. Dos ciclos de manejo de ejemplo de la encuesta de viajes a hogares del sur de California 2001-2002, Fuente: [9, Fig. 3.1]	23
3.3. Factores de impacto del consumo de energía EV, Fuente: [10, Fig. 1]	24
3.4. Mapa jerárquico de los factores de influencia para el consumo de energía EV, Fuente: [11, Fig. 1]	25



3.5. Rutas de flujo de energía para un VE, Fuente: [12, Fig. 1]	25
4.1. Componentes principales del Kia Soul EV, Fuente: [13]	31
4.2. Utilización del bus CAN del vehículo, Fuente: [14, Fig. 1]	34
4.3. Escáner ELM327 y pines de conexión, Fuente: [14, Fig. 2]	35
4.4. Límites máximos de velocidad para la ciudad de Cuenca	36
4.5. Recorrido para el ambiente 1 (Urbano)	37
4.6. Recorrido para el ambiente 2 (Combinado/Mixto)	38
4.7. Recorrido para el ambiente 3 (Alta Velocidad)	39
4.8. Esquema de rendimiento energético considerado.	42
4.9. Ventana de operación para mantener el estado de carga.	42
5.1. Matriz de correlación de las variables consideradas	48
5.2. Distribución de la elevación ambiente 1	50
5.3. Distribución de actividad ambiente 1	51
5.4. Distribución de temperatura por velocidad en ambiente 1	51
5.5. Distribución de distancia, tiempo y regeneración en ambiente 1	52
5.6. Consumo de energía en ambiente 1	53
5.7. Comportamiento de la velocidad en el ambiente 1: Urbano	53
5.8. Relación estado de carga - elevación	54
5.9. Distribución de la elevación ambiente 2	55
5.10. Distribución de actividad ambiente 2	55
5.11. Distribución de temperatura por velocidad en ambiente 2	56
5.12. Distribución de distancia, tiempo y regeneración en ambiente 2	56
5.13. Consumo de energía en ambiente 2	57
5.14. Comportamiento de la velocidad en el ambiente 2: Combinado	58
5.15. Relación estado de carga - elevación	58
5.16. Distribución de la elevación ambiente 3	59
5.17. Distribución de actividad ambiente 3	60
5.18. Distribución de temperatura por velocidad en ambiente 3	60



5.19. Distribución de distancia, tiempo y regeneración en ambiente 3	61
5.20. Consumo de energía en ambiente 3	61
5.21. Comportamiento de la velocidad en el ambiente 3: Alta Velocidad	62
5.22. Relación estado de carga - elevación	63
5.23. Variables que afectan el rendimiento energético del VE.	64
5.24. Comparativo del consumo de energía.	65
5.25. Distribución del tiempo de conducción por velocidad.	66
5.26. Distribución de la distancia de conducción por velocidad.	66
5.27. Consumo de energía por velocidad.	67
5.28. Consumo de energía por elevación.	67
5.29. Rendimiento energético durante la conducción por corriente.	68
5.30. Rendimiento energético durante la conducción por aceleración.	69
5.31. Distribución de energía entre la batería y el motor.	69
5.32. Eficiencia energética entre la batería y el motor.	70
5.33. Consumo de energía por km recorrido.	71
5.34. Consumo promedio de energía por velocidad.	71
5.35. Estado operativo de carga - vs - voltaje.	72
5.36. Comparación de autonomía.	73
5.37. Rendimiento del VE. por aceleración y potencia DC utilizada.	73
A.1. Carpeta para copiar los archivos con los códigos PID	83
A.2. Ventana para agregar los códigos PID en Torque pro	83
A.3. Ventana para agregar conjunto de archivos en Torque pro	84
A.4. Ventana para agregar archivo con códigos PID en Torque pro	84
A.5. Ventana para agregar indicadores en Torque pro	85
A.6. Ventana para agregar indicadores en Torque pro	85
A.7. Ubicación puerto OBD2	86
A.8. Conexión escáner a puerto OBD2	86
A.9. Conexión exitosa entre el escáner y la aplicación Torque pro	87



A.10. Iniciar registro de datos en la aplicación Torque pro 87



Índice de tablas

4.1. Especificaciones técnicas Kia Soul EV.	32
5.1. Variables consideradas para el estudio.	46
5.2. Variables consideradas para el estudio, luego de correlación.	49



Universidad de Cuenca
Cláusula Propiedad Intelectual

Yo, Jorge Luis Merchán Lima, autor del trabajo de titulación "Estudio del Rendimiento Energético de un Vehículo Eléctrico en la Ciudad de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, marzo de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jorge Luis Merchán Lima", written over a horizontal line.

Jorge Luis Merchán Lima

C.I: 0104863709



Universidad de Cuenca

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Jorge Luis Merchán Lima, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Estudio del Rendimiento Energético de un Vehículo Eléctrico en la Ciudad de Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, marzo de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jorge Luis Merchán Lima", written over a horizontal line.

Jorge Luis Merchán Lima

C.I: 0104863709



Universidad de Cuenca
Cláusula de derecho de autor

Certifico

Que el trabajo de titulación "**Estudio del Rendimiento Energético de un Vehículo Eléctrico en la Ciudad de Cuenca**", ha sido desarrollado por el estudiante Jorge Luis Merchán Lima con C.I: 0104863709, dirigido y revisado por mi persona.

Cuenca, marzo de 2018.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Luis González', written over a horizontal line.

Ing. Luis González, PhD

DOCENTE DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



Dedicatoria

A mis padres, mis hermanos, mis hermanas, por ser ejemplo de perseverancia y estar siempre a mi lado, por sus palabras y silencios en los momentos adecuados. A mis amigos, por todos los momentos compartidos.

Jorge L. Merchán



Agradecimientos

Agradezco a mis padres, hermanos, hermanas, familiares y amigos por su apoyo incondicional en el transcurso de mi formación profesional. Al Dr. Luis González por su tiempo invertido, y motivación durante el desarrollo de este proyecto. A todos los profesores que compartieron sus conocimientos y nos brindaron su amistad, lo que fue indispensable para culminar con éxito esta carrera universitaria. Y a mis compañeros de carrera con los que hemos compartido buenos momentos.

Jorge L. Merchán



Abreviaciones y Acrónimos

- CAN** *Red de Área de Controlador.* 20, 21, 30, 32–34, 78
- ECR** *Tasa de Consumo de Energía.* 27
- ECU** *Unidades de Control Electrónico.* 32
- GPS** *Sistema de Posicionamiento Global.* 21, 27, 40, 79
- HEV** *Vehículo Eléctrico Híbrido.* 8–11
- HVAC** *Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado.* 25
- ICE** *Motor de Combustión Interna .* 6–9
- INER** *Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.* 2, 23, 28
- MCPEC** *Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad.* 2
- NEDC** *Nuevo Ciclo de Conducción Europeo.* 14, 15, 21, 22, 31
- OBD** *Sistema de Diagnóstico a Bordo .* 20, 28, 30, 32–34, 40, 78
- PHEV** *Vehículo Eléctrico Híbrido Enchufable .* 8, 10, 11
- PIB** *Producto Interno Bruto.* 3
- PMSM** *Motor Síncrono de Imanes Permanentes.* 11, 16, 32
- SAE** *Sociedad de Ingenieros de Automoción.* 30, 34
- SoC** *Estado de Carga.* 9, 21, 26
- UE** *Unión Europea.* 14
- VE** *Vehículo Eléctrico.* 2, 6, 8–13, 17, 19, 20, 24–28, 30, 34, 35, 37, 40, 42, 43, 46, 48, 54, 60, 73, 75, 78, 80
- WLTP** *Procedimiento Mundial de Prueba de Vehículo Ligero Armonizado.* 14, 15



Capítulo 1

Introducción

En este capítulo, se presenta la distribución del consumo energético en el Ecuador en el sector de transporte y las medidas que se toman en este campo para promover la investigación. Se presenta además el problema a tratar, así como la justificación, el alcance y los objetivos general y específicos a cumplir durante esta investigación.

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



1.1. Identificación del Problema

El consumo energético en el sector de transporte en el Ecuador está dado por el 43 % de gasolina, 45 % de diésel, mientras que el 0,01 % es electricidad [15]. Cabe indicar que el transporte terrestre demandó el 87 % del total de la energía en este sector con la participación del 71 % en carga liviana (1 a 3 pasajeros) por vehículo a gasolina, y el 20 % en carga liviana por vehículo a diésel [15]. Además, hay que tener en cuenta que el 70 % de gasolina y el 69 % de diésel demandado en este sector es importado, a diferencia de la electricidad cuyo porcentaje de importación es del 2 %, datos del año 2015 [16].

El sector automotor en Ecuador tiene una participación muy importante en la economía del país, por los ingresos que genera en impuestos. En el año 2017 contribuyó aproximadamente con US\$191,4 millones a nivel nacional, de los cuales la Provincia del Azuay contribuyó aproximadamente con US\$8,2 millones y el Cantón Cuenca aproximadamente con US\$7,2 millones [16].

Además, es fuente de numerosas plazas de trabajo en las actividades directas e indirectas relacionadas a este sector con 90,012 personas. Cerca del 30 % del empleo generado se concentra en el área de ensamblaje y el 70 % en el área de comercialización [17].

Ecuador cuenta con la nueva red de movilidad sostenible y nuevas tecnologías para el transporte. Esta red busca promover la investigación y proponer proyectos que solucionen los problemas de movilidad a nivel nacional. El *Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER)*, en una de sus líneas de investigación científica, contempla el desarrollo de proyectos de Eficiencia Energética. De esta manera, el contingente técnico ha realizado el acompañamiento científico en el desarrollo del proyecto “Vehículos 100 % Eléctricos”, que lleva a cabo el *Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad (MCPEC)* [18].

La mejora de rendimiento del VE, se puede hacer mediante el crecimiento de la capacidad de la batería, pero el tamaño, peso y costo establece límites para esto. Otra forma sería la mejora en la eficiencia energética del VE. Aunque la mayor parte de la conducción diaria se realiza en áreas urbanas, el conductor necesita cierta certeza de que el vehículo tenga suficiente alcance para las necesidades de todo el día.

Es en este campo donde Gobiernos e industria necesitan trabajar conjuntamente para desarrollar programas innovadores y lograr un desarrollo sostenible y una mejora en la eficiencia energética en el sector transporte [19].

1.2. Justificación

La definición que describe a la Eficiencia Energética es “el consumo inteligente de la energía”, es decir, atender una necesidad con la menor cantidad de energía. Las fuentes de energía son



finitas y la demanda es creciente, por lo tanto, su correcta utilización se presenta como una necesidad vista hacia el futuro [15].

Este proyecto se enfoca en analizar el rendimiento energético en el sector de transporte. Este sector está íntimamente ligado al crecimiento productivo reflejado en el *Producto Interno Bruto(PIB)*, y por ende, se refleja en el indicador de intensidad energética [20].

1.3. Alcance

La contribución de este trabajo se centra en el estudio del rendimiento energético de un vehículo eléctrico en la Ciudad de Cuenca, para lo cual se plantea desarrollar un protocolo de pruebas dinámicas, con medios directos e indirectos que permitan obtener variables eléctricas con el fin de estimar el consumo energético. Estas variables eléctricas se determinan en un recorrido específico en la Ciudad, para estudiar la eficiencia energética teórica y comparar con los datos recopilados. Finalmente se realizará un análisis de resultados en relación de la eficiencia energética.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar el rendimiento energético de un vehículo eléctrico en la Ciudad de Cuenca.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Estudiar los medios directos e indirectos que permitan obtener variables eléctricas con el fin de estimar el consumo energético.
- Determinar las variables eléctricas del vehículo en un recorrido específico en la Ciudad de Cuenca.
- Estimar la eficiencia energética teórica y comparar con los datos recopilados.
- Analizar los resultados en relación de la eficiencia energética.



Capítulo 2

Marco Teórico

En el presente capítulo, se muestra de manera detallada las tecnologías de vehículos disponibles en el mercado, partiendo desde una base general en la que se explican conceptos de los principales factores que afectan la eficiencia de los vehículos, se hace una comparación del consumo energético de algunos vehículos comerciales, y del ahorro que representan al recorrer 100 km. Además, se resumen los ciclos de conducción considerados actualmente y los efectos de la velocidad en la conducción.

2.1. Introducción

La eficiencia de los VE es diferente, depende de su fabricante y el costo de cada vehículo. En esta sección, se presenta un resumen de los vehículos convencionales, híbridos y eléctricos, se exploran métodos para mejorar la eficiencia. Además, se comparan los diferentes tipos de consumo de energía de vehículos de carga liviana.

2.2. Consumo de Energía de los Vehículos

A continuación, se presentan el consumo energético de 3 diferentes tipos de vehículos.

2.2.1. Vehículos Convencionales

El *Motor de Combustión Interna (ICE)* y la caja de cambios son los principales componentes del sistema de propulsión, basados en el motor de combustión interna. Además de estos, se necesitan embragues o convertidores de par mecánico y auxiliares para operar el sistema de propulsión. Estos componentes tienen un efecto en la eficiencia energética del vehículo, pero el ICE, y su eficiencia depende del Par mecánico y la velocidad, que tienen el papel principal. La Figura 2.1 presenta el flujo de potencia esquemático desde el tanque hasta el volante del vehículo de ICE. Se muestra las pérdidas causadas por la caja de engranajes, diferencial, dispositivos auxiliares, embrague y el ICE, representados por eficiencia y la potencia de combustible consumida por el motor [1].

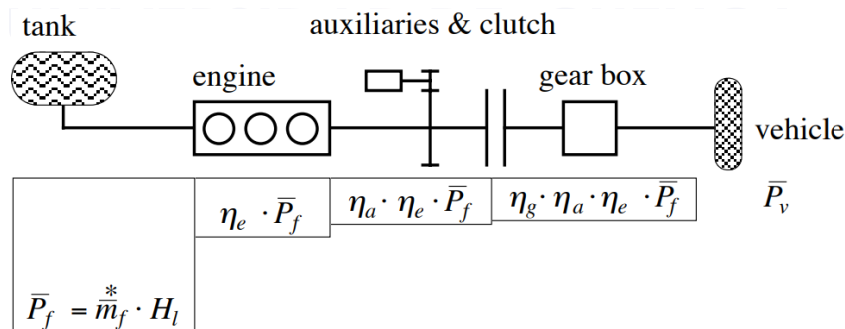


Figura 2.1: Mapa de eficiencia típico de encendido del ICE, Fuente: [1, Fig. 2.12]

La eficiencia del motor representa la eficiencia con la que la energía química del combustible se convierte en energía mecánica. La región operativa óptima del ICE suele estar en el medio del rango de velocidad a un par alto. La Figura 2.2, muestra que el ICE encendido por chispa típico tiene una eficiencia pico relativamente baja y el área donde se logra es pequeña. Como la eficiencia del motor disminuye significativamente cuando se cambian la velocidad o el par

mecánico, los puntos de operación del motor deben diseñarse para estar lo más cerca posible de la región eficiente para lograr un alto ahorro de combustible operativo [2].

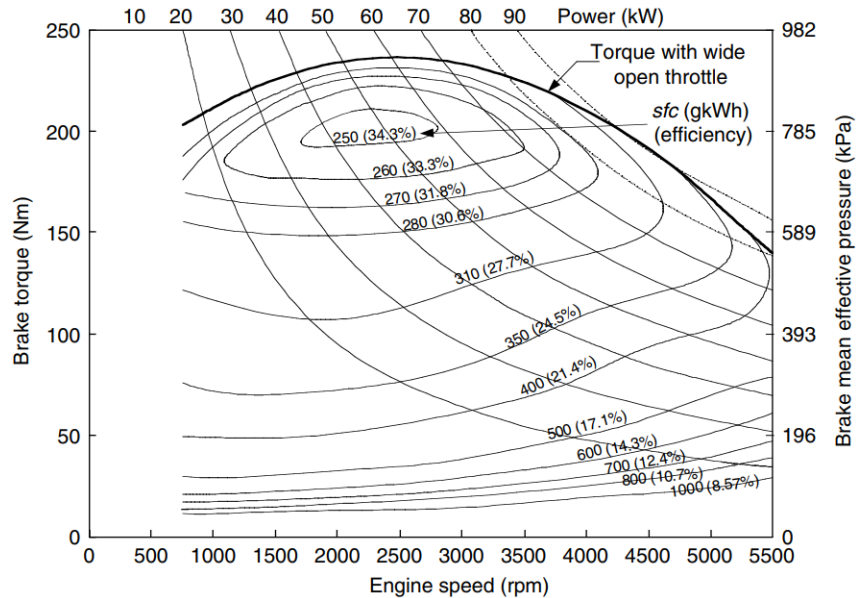


Figura 2.2: Mapa de eficiencia del consumo de combustible del ICE, Fuente: [2, Fig. 3.6]

Los puntos de funcionamiento del ICE se pueden ajustar seleccionando las relaciones de transmisión de la caja de engranajes. La selección de relaciones de transmisión también se realiza para cumplir con las características operativas suficientes del vehículo, por ejemplo, la velocidad máxima. Se tiene que considerar que la caja de engranajes causa pérdidas [1].

En los automóviles con ICE, el motor y la transmisión deben estar desacoplados cinemáticamente, cuando el motor y la velocidad del vehículo no son los mismos. En la práctica, esto se hace con embrague de fricción en automóviles con transmisión manual y con convertidor del par mecánico en automóviles con transmisión automática. El embrague de fricción produce la mayoría de sus pérdidas durante la primera fase de aceleración, es decir, cuando la velocidad del vehículo aumenta desde cero. El convertidor del par mecánico utilizado en transmisión automática es un dispositivo hidráulico y produce pérdidas cuando no está bloqueado [1].

2.2.2. Vehículos Híbridos

El Vehículo Eléctrico Híbrido (HEV) utiliza dos fuentes de energía diferentes, comúnmente ICE con motor de gasolina o diésel y un motor eléctrico acoplado. Debido al uso de múltiples fuentes de energía, existen diferentes alternativas para la topología del tren motriz del HEV. Las diferentes alternativas de topología son series híbridas, híbridas paralelas e híbridas serie-paralelo [2].

En la transmisión híbrida en serie, la tracción a la rueda se produce solo con motor eléctrico. Esta configuración produce energía para la batería con el ICE y el generador, que utiliza el motor eléctrico de tracción. En configuración paralela, tanto el ICE como el motor eléctrico se utilizan para producir el par mecánico para las ruedas motrices. La tercera versión, el tren de transmisión paralelo-serie, combina las dos versiones anteriores. Este ajuste requiere dos motores eléctricos y el otro funciona también como generador. La potencia de ICE se puede dividir para producir tracción o para generar energía. En la Figura 2.3 se presenta un esquema del tren de transmisión en serie-paralelo utilizado en el Toyota Prius [2].

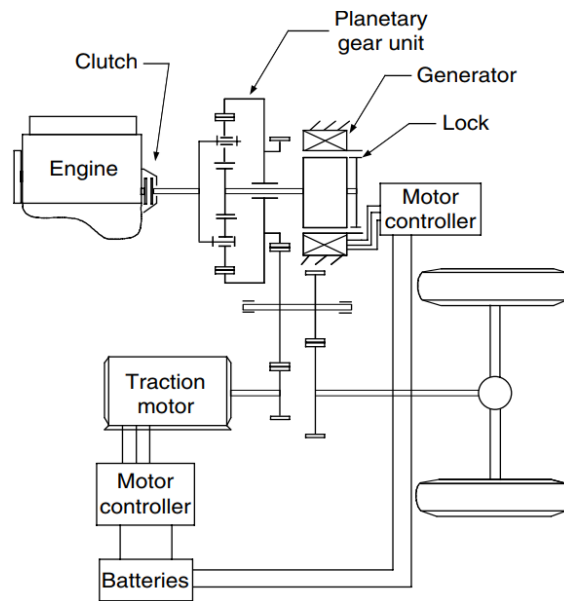


Figura 2.3: Tren motriz híbrido en serie-paralelo, Fuente: [2, Fig. 5.20]

La batería del *Vehículo Eléctrico Híbrido Enchufable (PHEV)* puede cargarse desde una fuente externa y, por lo tanto, puede funcionar como VE [21]. El interés de PHEV por los fabricantes de automóviles ha estado creciendo y hay muchos de este tipo de vehículos disponibles comercialmente.

La combinación de las ventajas del VE y el ICE ha sido una de las principales motivaciones en el desarrollo de HEV. Reducir el tamaño del motor en vehículos convencionales reduce el consumo de energía, pero también afecta a la potencia máxima y, por lo tanto, a las características del vehículo. Con el uso de HEV, el requisito de potencia máxima se puede lograr con la ayuda del motor eléctrico, mientras que el ICE puede reducir de tamaño. Además, la recuperación es posible con los HEV como se mencionó anteriormente y el consumo de ralentí del ICE se puede eliminar apagando el motor mientras no se requiera energía. Estas mejoras se logran agregando componentes y, por lo tanto, peso, lo que puede contrarrestar el ahorro de energía logrado [1].

2.2.3. Vehículos Eléctricos

En la Figura 2.4, se representa un esquema básico del sistema de propulsión del VE, el almacenamiento de energía es generalmente aquel que solo usa un motor eléctrico para su tracción, la fuente de energía proviene principalmente de una batería electro-química a menudo referida solo como batería, otras tecnologías permiten alimentar el motor eléctrico a partir de celdas de hidrogeno como fuente. En el caso de las baterías durante la carga, la energía externa se convierte en energía química potencial y durante la descarga la energía química se convierte de nuevo en energía eléctrica. La energía específica, la capacidad de energía por unidad de peso de la batería (Wh / kg), depende del tipo de batería. La descarga de la batería y la eficiencia de carga dependen del tipo, pero también del *Estado de Carga (SoC)* de la batería. Por lo general, la eficacia de la descarga es máxima en valores altos del SoC y disminuye con valores bajos del SoC [2].

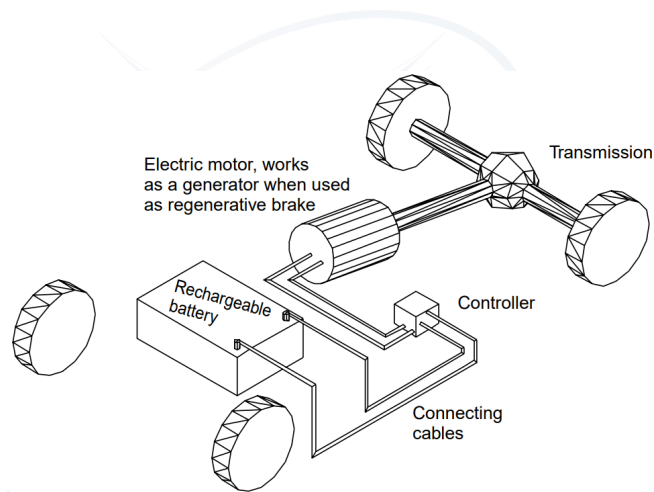


Figura 2.4: Representación esquemática del sistema de propulsión del VE, Fuente: [3, Fig. 1.5]

La energía es suministrada desde la batería al motor a través del controlador del motor y el inversor que proporciona una forma de onda suficiente para el motor. La eficiencia del inversor es alta, generalmente alrededor del 97 %, [4]. El componente principal del VE es, por supuesto, el motor eléctrico. La eficiencia del motor depende del par mecánico y la velocidad. El tipo de motor define la eficiencia del motor. Es notable que los motores eléctricos tienen una eficiencia significativamente mejor que el ICE, pero también tienen una región limitada para una máxima eficiencia.

2.3. Consumo de Energía de los Vehículos Comerciales

La mayoría de los automóviles nuevos tienen motor diésel o de gasolina. Los vehículos convencionales están separados en dos grupos. En el grupo 1: el tamaño del automóvil es típico



para 5 personas con motor a gasolina de 1,4 litros o motor a diésel de 1,6 litros con transmisión manual. Los autos típicos en esta clase son Volkswagen Golf, Ford Focus y Opel Astra. En el grupo 2: se considera a los automóviles pequeños para ciudad, tales como Nissan Micra y Volkswagen up, que se usan para la comparación en la Figura 2.5 [4].

El consumo del automóvil convencional generalmente se mide en millas por galón (mpg) o, litros por cada 100 kilómetros ($l/100km$). Para hacer que las cifras de consumo sean más comparables con los HEV y VE, el consumo se convierte en kilovatios-hora por cada 100 kilómetros ($kWh/100km$). El consumo de energía de los diferentes vehículos convencionales se compila en la Figura 2.5 (Ford Motor Company Limited 2017), (Kia Motors Finland 2017), (Opel 2017), (Toyota Auto Finland OY 2017a), (VW- Auto Group OY 2017a), (Ford Motor Company Limited 2016), (Nissan 2016), (Toyota Auto Finland OY 2016), (VW-Auto Group OY 2017b). La conversión del consumo de $l/100km$ a $kWh/100km$ se realiza con la suposición de que la densidad de energía de la gasolina es de 33,87 $MJ/litro$ y del diésel de 37,18 $MJ/litro$ (Neutrium 2014) [4].

La información de HEV y PHEV también se compila en la Figura 2.5. (Automobiles Peugeot 2015), (Toyota Auto Finland OY 2017a), (Kia Motors Finland 2016a), (VW-Auto Group OY 2015), (Kia Motors Finland 2016b), (Mitsubishi Motors Corporation 2015), (Toyota Auto Finland OY 2017b), (Vehö OY AB 2017), (Länsiauto 2017b), (Länsiauto 2017a) [4].

El consumo de energía de los vehículos eléctricos, también se muestra en la Figura 2.5 (Nissan Motor 2017), (Volkswagen 2017), (Mitsubishi Motors North America, Inc 2017), (Renault Suomi 2015), (Kia Motors Europe 2017), (Tesla 2017a), (Tesla 2017b), (Tesla 2017c). Todos los vehículos eléctricos presentados tienen transmisión de engranaje único y un motor eléctrico, excepto Tesla, que proporciona también modelos de tracción en las cuatro ruedas que tienen un motor por eje [4].

El consumo de energía de ambos tipos de híbridos es generalmente más bajo que el de los vehículos convencionales. La mayoría de los fabricantes confían en la tecnología plug-in. Es razonable y la comparación entre el consumo de energía de HEV y PHEV muestra la diferencia claramente. Lo más claro es que esta diferencia se puede ver cuando se comparan los modelos de Toyota, Prius HEV y PHEV con tamaños similares de motor eléctrico e ICE. Interesantes cosas que deben notarse son que los VE y PHEV tienen un consumo de energía similar y algunos PHEV tienen aún menos. La mayoría de los fabricantes dependen del *Motor Síncrono de Imanes Permanentes* (PMSM), siendo Tesla el único que usa motores de inducción (IM) [4].

De la Figura 2.5, se observa que en el caso de los vehículos eléctricos el rendimiento energético es considerablemente mayor, por ejemplo, para el caso del Volkswagen Golf con ICE y el e-Golf (El mismo modelo y fabricante) está en el orden de 3,33 veces más eficiente.

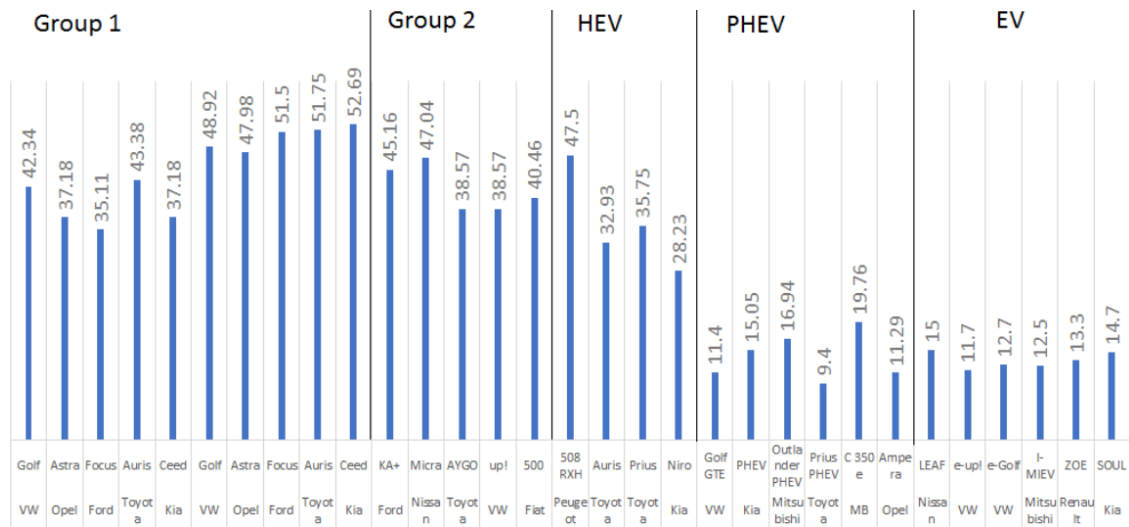


Figura 2.5: Consumo de energía de diferentes modelos anunciadas por los fabricantes y obtenida de fabricantes y distribuidores, en kWh/100km, Fuente: [4, Fig. 6]

2.4. Evaluación Gastos de Transporte

El presupuesto disponible para comprar y usar un vehículo para la familia en un nivel socio económico promedio puede ser limitado, y puede ser necesario estudiar las prioridades para respaldarlo. Es habitual comparar solo pagos mensuales, y considerar la gasolina y el mantenimiento como gastos inevitables. Esta es la razón por la cual el valor de los modelos eléctricos, generalmente son más altos, es visto como un obstáculo por muchos conductores. Sin embargo, al comparar todos los gastos relacionados con la adquisición y el uso de un vehículo, el VE a menudo resulta ser una opción más económica. Obviamente, esto varía según varios factores, como la intensidad de uso, el tipo de vehículo y el modelo [5].

Comparación de Costos de Energía

Considerando únicamente los costos de energía cada 100 kilómetros, en Ecuador, el vehículo eléctrico es aproximadamente dos veces más económico de usar. Esto se convierte en un ahorro significativo y recurrente al tiempo que lo libera del consumo de la gasolina.

En la Figura 2.6, se observa que el costo energético de recorrer 100 km puede ahorrar hasta \$1,49 para el caso de un VE, al cargarse luego de las 22 : 00.

Otros Costos

Además de la energía, los costos básicos de mantenimiento, que incluyen cambios de aceite y reemplazos de frenos, también se deben de considerar como beneficios en el uso de un VE [5]:



Figura 2.6: Comparación ahorro de energía, Fuente: [5, Fig. 4.14]

- **Lubricantes:** Con un vehículo totalmente eléctrico, no hay cambios de aceites en el motor, y con un vehículo híbrido, generalmente son menos frecuentes que con un vehículo de gasolina.
- **Sistema de Frenos:** La desaceleración y la parada con vehículos eléctricos o híbridos se maneja en gran medida mediante un efecto de frenado regenerativo que permite un mejor uso al sistema de frenado hidráulico convencional que desgasta menos en discos y almohadillas. Por lo tanto, los frenos podrían durar dos o tres veces más.
- **Otros:** Para el mantenimiento del vehículo a gasolina, además de los cambios de aceite, habrá reemplazo periódico de varias partes y líquidos (correas, refrigerante, silenciador, sistema de gases, convertidor catalítico, filtros, bujías, etc.).

2.5. Efectos en las Condiciones de Conducción sobre el Consumo de Energía del VE

Es evidente que el ciclo de conducción tiene una influencia significativa en el consumo de energía del vehículo. La energía se consume para superar los factores de conducción que dependen de las propiedades físicas del vehículo, la aceleración, la velocidad y las condiciones de la carretera. En [6], evaluaron los factores que influyen en el consumo de energía de un VE.

En [6], se realiza un estudio donde se simula un VE con masa de 1250 kg con una potencia máxima de 43 kW. Como se muestra en la Figura 2.7, el vehículo tiene el menor consumo de energía a una velocidad de alrededor de 20 km/h. debajo de esto, el consumo de energía aumenta debido a los auxiliares y, por encima de este punto, el consumo se ve afectado por las

crecientes pérdidas de los vehículos debido al aumento de la velocidad.

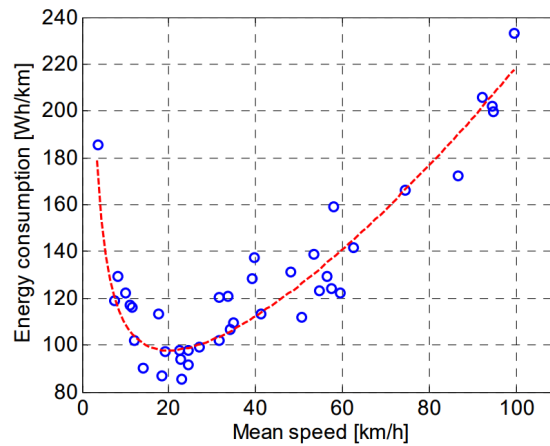


Figura 2.7: Relación de velocidad del vehículo con el consumo de energía, Fuente: [6, Fig. 9]

La aceleración también tiene una influencia significativa en el consumo de energía y el impacto de agresividad del conductor que se correlaciona con la aceleración del vehículo. En sus simulaciones, la aceleración varió de $0,38m/s^2$ a $1,03m/s^2$ y, como muestra en la Figura 2.8, el comportamiento agresivo también tuvo un impacto significativo en el consumo de energía [6].

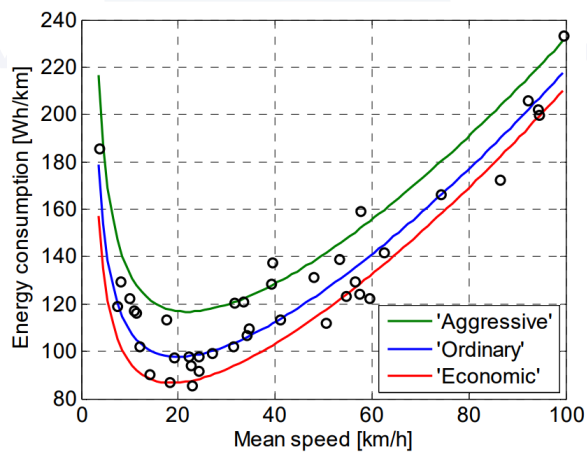


Figura 2.8: Impacto de la aceleración en el consumo de energía, Fuente: [6, Fig. 11]

De este análisis se podría inferir que solo por presentar un estilo agresivo y económico, se pudiese tener presente hasta un 20% de diferencia con un estilo ordinario.

2.6. Ciclos de Conducción

Los ciclos de conducción se pueden dividir en dos grupos según el carácter de la velocidad y los cambios de carga del motor. Estos grupos son ciclos de estado estacionario y ciclos transitorios. Para vehículos pesados, se utilizan ciclos de estado estacionario con una secuencia de modos de velocidad y carga constantes del motor. En los ciclos transitorios, la velocidad del vehículo y la carga del motor cambian con mayor frecuencia. Un ejemplo de ciclo transitorio es el *Nuevo Ciclo de Conducción Europeo*(NEDC), que se utiliza para la homologación de tipo de vehículo ligero en la *Unión Europea*(UE). NEDC consiste en cuatro ciclos urbanos de baja velocidad y un ciclo de carretera [22].

Además de NEDC, hay varios otros ciclos de conducción. Para simular el manejo urbano, el ciclo de conducción urbana federal (FUDS) se usa en los Estados Unidos y para las condiciones urbanas adicionales se usa el ciclo de conducción de autopista federal (FHDS). Al igual que NEDC, el procedimiento de prueba federal (FTP-75) es una combinación de FUDS urbanos y ciclos FHDS extra urbanos [1].

La variedad de ciclos de conducción usados en Europa, Estados Unidos y Japón ha liderado el desarrollo del *Procedimiento Mundial de Prueba de Vehículo Ligero Armonizado*(WLTP), [1]. En la Figura 2.9 se presenta la comparación entre los ciclos de conducción NEDC y WLTP.

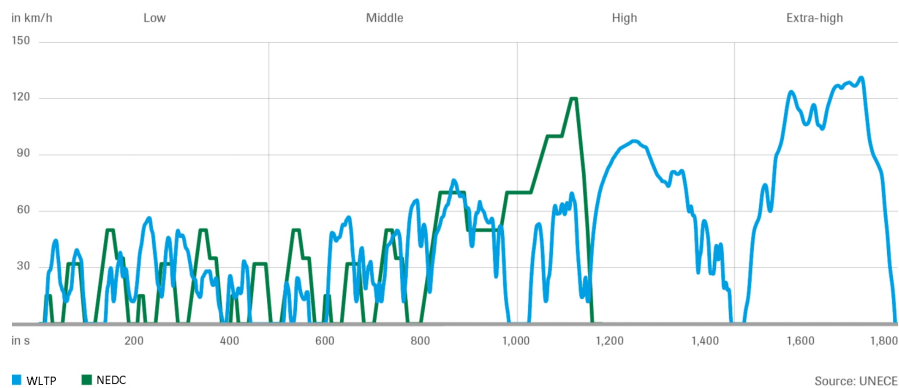


Figura 2.9: Trayectoria de velocidad de NEDC y WLTP , Fuente: [7, Fig. 1]

Al comparar las trayectorias NEDC y WLTP, se puede ver que WLTP no tiene zonas de velocidad constante, por lo que limita el comportamiento de conducción real de los conductores [7].

2.7. Máquina Eléctrica como Motor de Tracción

La característica ideal del motor de tracción del vehículo es la salida de potencia constante en todo el rango de velocidad, en otras palabras, el par mecánico decrece hiperbólicamente al aumentar la velocidad por encima de su velocidad base, como se muestra en la Figura 2.10. Las características de potencia constante y amplia, proporcionan un alto esfuerzo de tracción a bajas velocidades donde son necesarias para la aceleración, capacidad de ascenso y tracción [2].

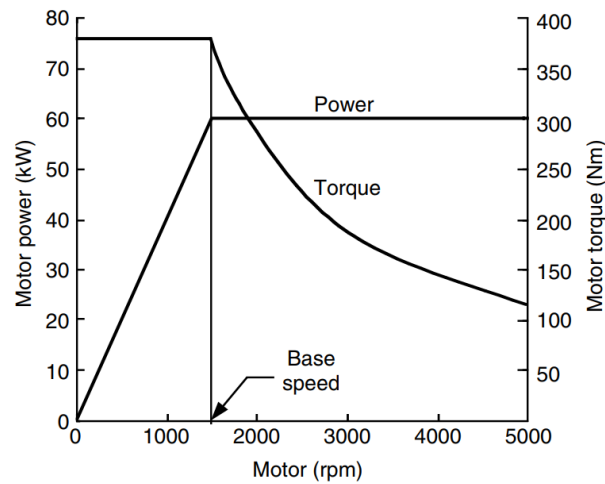


Figura 2.10: Características típicas del rendimiento de los motores eléctricos, Fuente: [2, Fig. 2.12]

La eficiencia general en un amplio rango de velocidad generalmente se expresa en un plano de velocidad-par mecánico como se muestra en la Figura 2.11. Como se indicó anteriormente en este trabajo, las condiciones de conducción o los ciclos de conducción afectan a los puntos de funcionamiento del motor eléctrico.[2], en un maquina eléctrica típica la mayor eficiencia energética es alcanzada a una velocidad cercana a 1250 rpm.

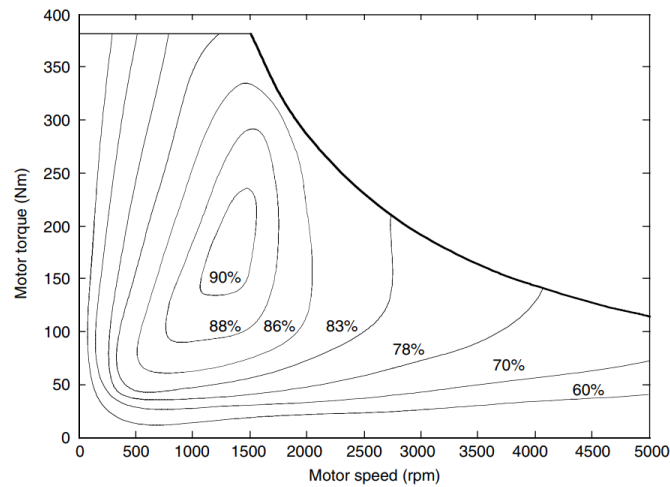


Figura 2.11: Características típicas de la eficiencia del motor eléctrico, Fuente: [2, Fig. 4.14]

2.8. Motor Síncrono de Imanes Permanentes PMSM

La mayoría de los fabricantes de automóviles presentan en sus productos máquinas con **PMSM** como motor de tracción eléctrica. Esta selección se debe a su reducido volumen general y peso, es decir, a una alta densidad de energía. Estos motores también son más eficientes que los motores de inducción (IM), lo que los convierte en una opción atractiva como motor de tracción [2].

En el **PMSM**, los imanes permanentes del rotor (PM) proporcionan el campo de excitación del rotor. El estator es esencialmente similar a las máquinas de inducción y el voltaje aplicado de 3 fases crea un campo magnético rotativo. Como el rotor de la máquina de inducción es arrastrado por el campo magnético giratorio, en las máquinas síncronas la velocidad del rotor se sincroniza con el campo del estator giratorio y por lo tanto es igual a la velocidad síncrona [23].

2.9. Baterías para VE

Las baterías afectan la adopción de vehículos eléctricos por parte del consumidor al influir en dos características importantes del vehículo: el costo y el campo de manejo con una sola carga. El costo de la batería es una fracción significativa del costo total del vehículo, y la capacidad de energía de la batería determina el rango de conducción [24].

2.9.1. Costo del Banco de Batería para VE

En [8], se realizan estudios económicos sobre los sistemas de almacenamiento para VE y, como se observa en la Figura 2.12, se estima que estas presenten una caída hasta llegar a \$90/kWh en 2025, a la fecha de realización del estudio el costo estimado para el 2017 era de \$145/kWh, y en realidad en el mercado es de \$130/kWh, presentando un costo inferior al estimado. Además, se presenta un desglose de los costos estimados de hoy y en el futuro. La reducción de los costos de la batería es el factor clave de la economía de los VE. La reducción proyectada en el costo del banco de baterías implica una reducción en los costos totales de fabricación del vehículo en \$4500 o el 12% del precio del VE, en el caso del Bolt VE.

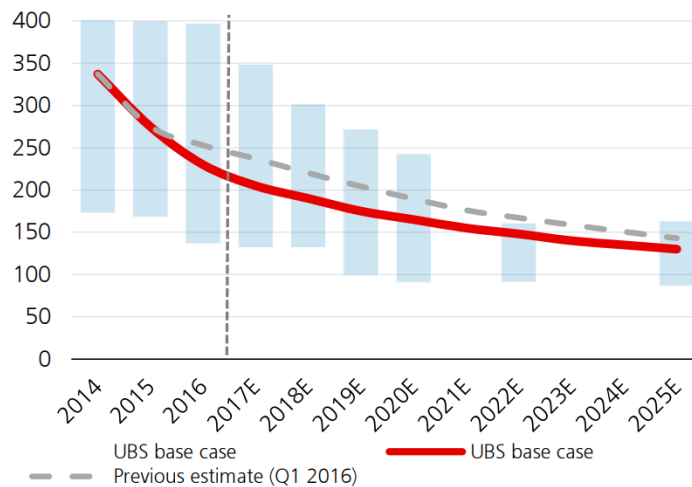


Figura 2.12: Costos del banco de baterías de un VE, (\$/kWh), Fuente: [8, Fig. 4.14]

2.9.2. Operación de la Celda de Baterías

Una batería de Lithium Ion Polymer, como se presenta en la Figura 2.13, típicamente está compuesta de electrodos positivos y negativos inmersos en una especie de gel (un compuesto polimérico), un separador que evita el flujo de electrones, pero permite la migración de iones y colectores de corriente en ambos electrodos, para proporcionar vías para los flujos de electrones con circuitos externos. Las denotaciones comunes para una batería incluyen: electrodo positivo, electrodo negativo, ánodo y cátodo. Durante la descarga, el flujo de electrones va del electrodo negativo al electrodo positivo, el flujo de corriente es en dirección opuesta; el electrodo positivo es el cátodo que acepta iones positivos, y el electrodo negativo es el ánodo que acepta iones negativos. Durante la carga, el flujo de corriente va del electrodo negativo al electrodo positivo, siempre al contrario del flujo de electrones; el electrodo negativo se convierte en cátodo atrayendo iones positivos, y el electrodo positivo se convierte en ánodo atrayendo iones negativos [9].

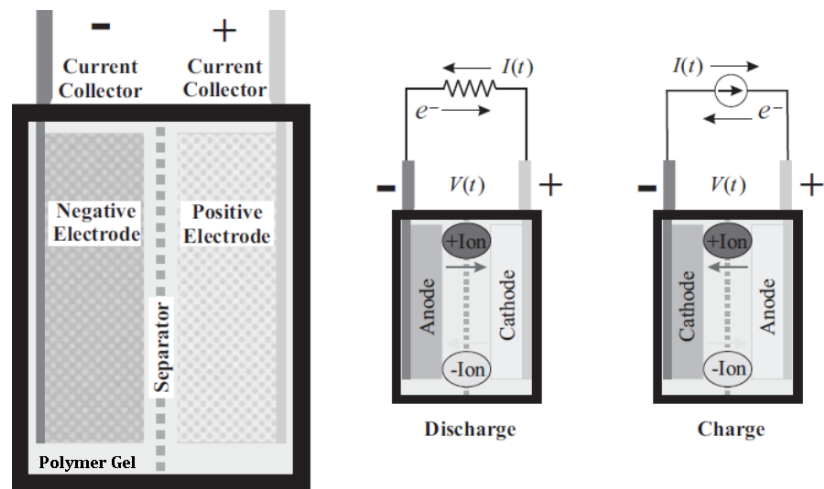


Figura 2.13: Celda de lithium ion polymer bajo carga y descarga, Fuente: [9, Fig. 1.8]



Capítulo 3

Estado del Arte

En este capítulo se presenta un resumen de los principales trabajos realizados para evaluar vehículos eléctricos, considerando regulaciones de registro y procesamiento de datos, para categorizar ciclos de conducción en ambientes reales, y presentar los factores que afectan el rendimiento del [VE](#).

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



3.1. Introducción

Como se ha identificado en capítulos anteriores, existen varias ventajas al adquirir un VE, no solo, el no emitir gases de efecto invernadero, también la eficiencia en el consumo de Energía, lo cual representa un ahorro económico para quienes lo adquieren.

A continuación, se presentan algunos enfoques que ayudan a encontrar una metodología de evaluación, de acuerdo a las condiciones de conducción en ambientes reales, considerando factores tanto internos como externos que afectan el rendimiento energético del VE.

3.2. Regulaciones para Registro y Procesamiento de Datos

Según una directiva de la UE, se requiere que todos los vehículos nuevos con motor de combustión convencional, desde 2001 tengan que estar equipados con un OBD. Los protocolos OBD que incluyen información de operación del vehículo se pueden recuperar del sistema utilizando dispositivos de diagnóstico. Sin embargo, debido a que este es un nuevo método de recopilación de datos, primero se deben obtener conocimientos sobre los requisitos técnicos y legales para registrar los datos, sobre los pasos previos al procesamiento para garantizar la calidad de los datos y sobre la interpretación de los datos [25].

Los beneficios y desafíos relacionados con la recopilación y el análisis de datos de los vehículos eléctricos. Abordan aspectos técnicos y legales relacionadas con la recopilación de datos. En el aspecto técnico, se analizan pasos de pre-procesamiento para mejorar la calidad de los datos. Los pasos de pre-procesamiento de datos incluyen el análisis, la preparación de registros y verificación de datos faltantes. Los primeros pasos son identificar claramente el tipo de actividades incluidas en los conjuntos de datos y marcar o eliminar registros nulos [26].

3.2.1. Métodos de Recopilación de Datos y Requisitos Técnicos

En [26] se usaron dos métodos de recolección de datos de vehículos. El primer método es equipar los vehículos con un dispositivo de registro de datos que se comunica en dos direcciones: con el vehículo a través de la *Red de Área de Controlador(CAN)* a través de redes móviles 3G. El segundo método es un suministro directo de datos del vehículo por parte del fabricante del automóvil (OEM) [26].

En [27] los datos disponibles se generaron con un dispositivo logger que registra las señales del bus CAN, registraron la corriente, el voltaje de la batería, el SoC, las coordenadas del *Sistema de Posicionamiento Global(GPS)* y la marca de tiempo en una frecuencia de 1 Hz. Los viajes que contienen valores de alta velocidad no realistas, se eliminan después de la detección



de valores atípicos a través del pre-procesamiento, el filtrado y el análisis de sensibilidad [27].

3.2.2. Cuestiones Legales Relacionadas con la Recopilación de Datos del VE

Para desplegar todo el potencial de los métodos con fines de investigación es necesario establecer estándares técnicos y de privacidad de datos para la recopilación de datos de vehículos, pero también apoyar el diálogo entre investigadores y proveedores de datos, así como la transferencia de información de lecciones aprendidas de proyectos de investigación recientes. Los problemas de privacidad de los datos que surgen son debido a que se captura la ubicación precisa con **GPS**, y consideran que la ubicación exacta es confidencial para ciertas compañías que participaron en el estudio [26].

El consumo de energía de los vehículos generalmente se evalúa mediante pruebas de ciclo de conducción estandarizadas; sin embargo, los resultados de las pruebas de ciclo de manejo estandarizadas se desvían de los resultados que caracterizan la conducción real y se presentan oportunidades para mostrar datos no reales [12].

3.3. Categorización de Ciclos de Conducción en un Ambiente Real

El ciclo de conducción, se define como un registro de los datos de la velocidad del vehículo en el tiempo. Los ciclos de manejo se pueden clasificar principalmente de dos maneras: registros de velocidad regulatorios y del mundo real. Los ciclos reguladores se refieren a las trazas de velocidad estándar utilizadas en el consumo de combustible o en las pruebas de emisiones para fines de certificación en entornos de laboratorio controlados. Los ejemplos incluyen los ciclos UDDS, HWFET, US06 y LA92 en los Estados Unidos; **NEDC**, ARTEMIS ciclos en Europa; Modo 10, modo 10 – 15, ciclos JC08 en Japón. Algunos de ellos se muestran en la Figura 3.1 [9].

El ciclo de conducción UDDS, simula una distancia de 12,07 km con paradas frecuentes. La velocidad máxima es de 91,25 km/h, la velocidad promedio es de 31,5 km/h y una duración de 1372 s.

El ciclo de conducción *US06*, simula una distancia de 12,8 km. La velocidad máxima es de 129,2 km/h, la velocidad promedio es de 77,9 km/h y una duración de 596 s.

El ciclo de conducción **NEDC**, simula una distancia de 10,75 km. La velocidad máxima es de 120 km/h, la velocidad promedio es de 44,36 km/h y una duración de 1180 s.

El ciclo de conducción JP 10 – 15, simula una distancia de 4,16 km. La velocidad máxima

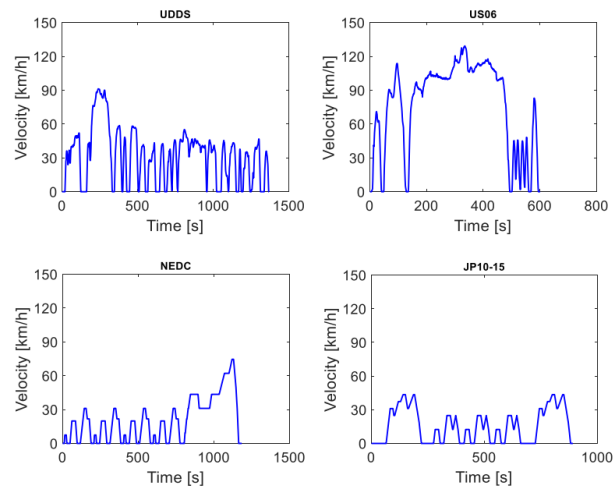


Figura 3.1: Ciclos de conducción normativos de EEUU, Europa y Japón, Fuente: [9, Fig. 1.6]

es de 70 km/h, la velocidad promedio es de 22,7 km/h y una duración de 660 s.

Se han realizado algunos modelos y simulaciones de vehículos eléctricos en los ciclos de conducción mencionados anteriormente, pero ningún estudio ha examinado hasta ahora si un solo ciclo de conducción estandarizado puede capturar la dinámica que se encuentra en las condiciones reales de conducción urbana, así como la heterogeneidad entre los conductores. Los comportamientos de conducción surgen de la interacción de las condiciones contextuales y los estilos de conducción específicos de la persona, y tanto esos comportamientos como la interacción de la que surgen tienden a fluctuar en el mundo real en lugar de permanecer igual [11].

Se busca desarrollar un método para una síntesis precisa de ciclos de manejo que proporcione una representación realista de los patrones de uso del vehículo en el mundo real. El método consiste en dividir los ciclos en diferentes grupos, esperando agregar ciclos de manejo similares en cada categoría. Se logrará una oportunidad de éxito en el análisis y la síntesis de ciclos representativos, si se separan los ciclos de parada y arranque a baja velocidad de los ciclos de autopistas de flujo libre de alta velocidad [9].

Los métodos de categorización de ciclos se basan en la distancia del ciclo y la velocidad media. Aunque exista una correlación entre la distancia de conducción y algunas de las variables estadísticamente significativas, como la velocidad media o aceleración positiva media, un inconveniente es el sacrificio de otros detalles del ciclo, como la frecuencia de “colinas”. Esto se ilustra mediante dos ciclos de manejo en la Figura 3.2. Ambos ciclos cubren la misma distancia con la misma velocidad media, pero el ciclo de ejemplo No. 1 puede interpretarse como un ciclo mixto en carretera sin interrupción de paradas y conducción urbana congestionada, mientras que el ciclo de ejemplo No. 2 representa una conducción urbana no congestionada interrumpida

solo por semáforos [9].

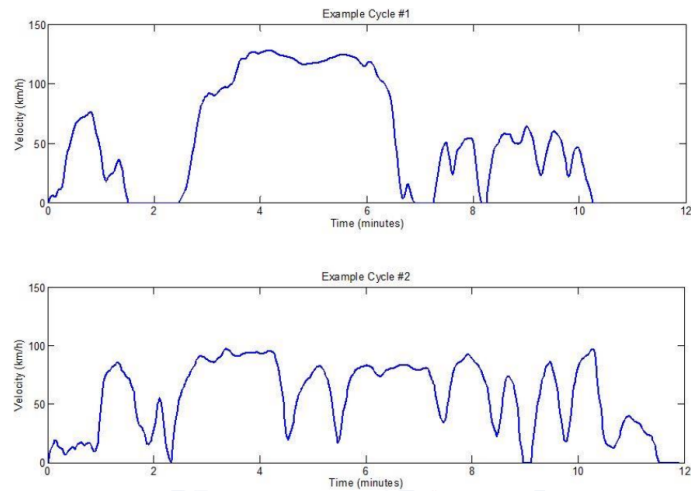


Figura 3.2: Dos ciclos de manejo de ejemplo de la encuesta de viajes a hogares del sur de California 2001-2002, Fuente: [9, Fig. 3.1]

En comparación con las pruebas de conducción reales, las pruebas de ciclo de conducción estandarizadas realizadas en el laboratorio son insuficientes. Los resultados de las pruebas de los ciclos de conducción estandarizados suelen ser inconsistentes con los resultados obtenidos durante la conducción en el mundo real [12].

En este sentido hay estudios preliminares realizados en el Ecuador por el INER, donde se establecen 3 ciclos de conducción para un ambiente real: Urbano, Combinado/Mixto y de Alta velocidad, evalúan a 3 vehículos diferentes, en las 3 ciudades más pobladas, Quito, Guayaquil y Cuenca [28].

3.4. Factores que Intervienen en el Rendimiento Energético de VE

La autonomía, es la mayor preocupación en la tecnología actual de vehículos eléctricos. Por lo tanto, la autonomía real puede diferir sustancialmente en situaciones de la vida real, y puede ser mucho más corto que las cifras oficiales dadas por los fabricantes [29].

Se ha demostrado que diversos factores externos (a diferencia de los factores internos asociados con el propio vehículo, por ejemplo, diferentes parámetros de la potencia motriz y de la eficiencia interna) influyen en el consumo de energía VE, representado en la Figura 3.3. Estos factores de impacto externo se pueden clasificar en las siguientes categorías: 1) factores relacionados con las condiciones del tráfico que influyen indirectamente en los parámetros dinámicos

del vehículo, como la velocidad y la aceleración; 2) factores relacionados con la infraestructura como el grado de la carretera, la rugosidad de la superficie de la carretera; 3) factores ambientales tales como la temperatura ambiente y la velocidad del viento; y 4) factores de comportamiento de conducción, tales como agresividad del conductor, presión del freno, selección del modo de conducción, etc [10].

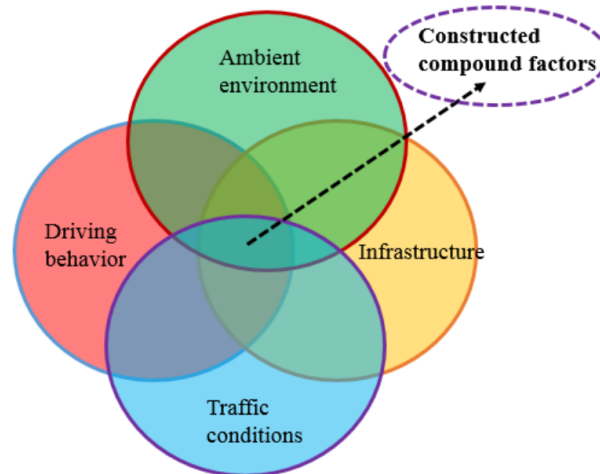


Figura 3.3: Factores de impacto del consumo de energía EV, Fuente: [10, Fig. 1]

El uso de energía depende en gran medida de los ciclos de conducción, el comportamiento de conducción, los estilos de conducción personal, las condiciones del tráfico y el diseño de la infraestructura en el mundo real [11].

El clima desafía el uso de vehículos eléctricos de muchas maneras. El clima frío y las condiciones adversas de la carretera aumentan las resistencias de conducción. Por lo tanto, la autonomía se vuelve más corta. Además, el clima frío requiere una carga más lenta y un calentamiento de la batería. De lo contrario, la vida útil de la batería se acortaría o podría dañarse. La *Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC)* del espacio de la cabina consumen también grandes cantidades de energía de la batería principal que tiene un efecto adverso en el alcance. Sin embargo, el calentamiento y la ventilación deben ser soportados adecuadamente; de lo contrario, los vehículos eléctricos no disfrutarán de un gran éxito en las ventas [29].

El consumo de energía de un VE en conducción real, es un proceso afectado por diferentes factores en múltiples niveles. Investigaciones previas raramente han abordado los efectos de los factores de meso y micro nivel sobre el consumo de energía en el mundo real, como se presenta en la Figura 3.4. Comprender los efectos de esos factores es fundamental para un mejor diseño de los experimentos de rendimiento de conducción del VE en el futuro y también puede contribuir al desarrollo de directrices específicas de conducción ecológica para los usuarios. Se consideran tres factores de micro y uno de nivel meso (es decir, el comportamiento de conducción, el estilo de conducción, las condiciones del tráfico y el diseño de la infraestructura) y cómo afectan en

el consumo de energía en los vehículos eléctricos [11].

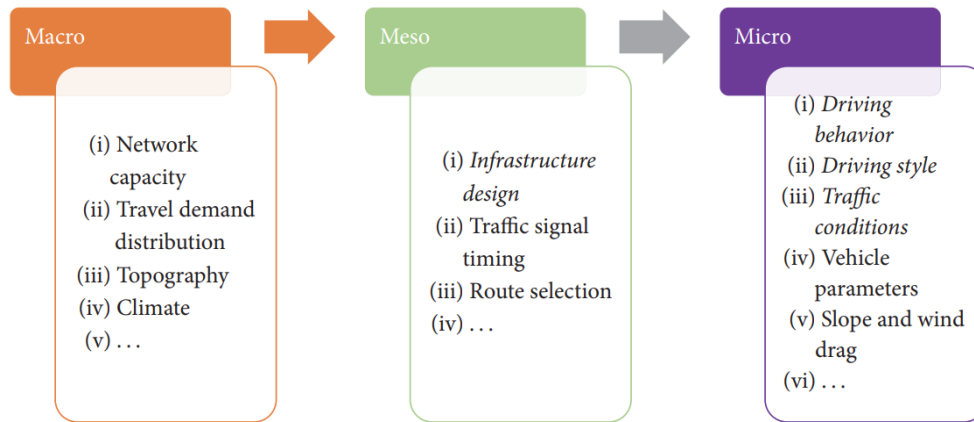


Figura 3.4: Mapa jerárquico de los factores de influencia para el consumo de energía EV, Fuente: [11, Fig. 1]

Otro de los aspectos importantes, son las pérdidas que se presentan en el consumo de Energía, en la Figura 3.5, se muestra un amplio conjunto de posibles factores que afectan la eficiencia energética de un VE, como por ejemplo la energía consumida por el vehículo durante la conducción, incluidas las pérdidas de la batería, las pérdidas del motor eléctrico, las pérdidas de la línea de transmisión, pérdidas de frenos y pérdidas de carga, inclusive las pérdidas por aceleración [12].

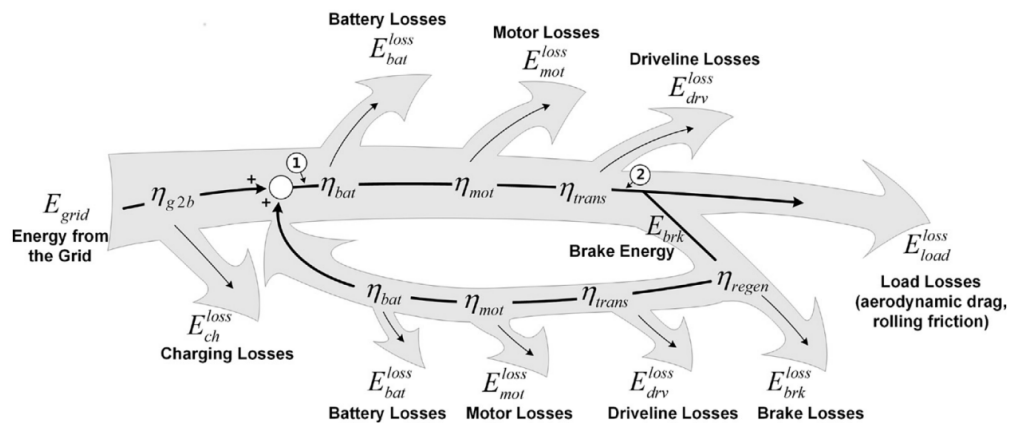


Figura 3.5: Rutas de flujo de energía para un VE, Fuente: [12, Fig. 1]

Sin embargo, para el estudio del rendimiento energético de un VE en la ciudad de Cuenca, se considera únicamente las pérdidas producidas entre la energía suministrada por el banco de baterías y la energía mecánica suministrada por el motor eléctrico. Adicionalmente se analiza la energía suministrada por el freno regenerativo.



La capacidad de la batería utilizable no es idéntica a la capacidad nominal de la batería informada por el fabricante del automóvil. Esto se debe a que los sistemas de administración de “estado de carga” restringen la batería a estar llena o vacía en un 100 % para preservar la eficiencia de la batería. Como resultado, solo el 85 % de la capacidad nominal de la batería se puede usar dependiendo del modelo del vehículo. Además, la capacidad de la batería utilizable se reduce aún más durante el tiempo de uso. Por lo tanto, al estimar la energía consumida usando el SoC, se debe considerar la capacidad de la batería y también las características del vehículo, cuando se interpretan los resultados del análisis del rendimiento del vehículo [26].

Los consumos de energía probados en vehículos eléctricos en rutas predefinidas con varios conductores en Sheffield (Reino Unido) mostraron que las diferencias entre los modos de conducción pueden producir hasta un 30 % de diferencias en el consumo de energía incluso en la misma ruta. Los rangos de conducción en condiciones relevantes para la conducción en carretera muestran una desviación significativa de los rangos de conducción publicados por los fabricantes de vehículos eléctricos [12].

En [30], propusieron un estudio del tamaño adecuado de la batería al caracterizar los perfiles de los viajes urbanos en una ciudad de Canadá. Además de estos enfoques que han atraído una atención considerable dentro de la industria de fabricación de vehículos, el comportamiento de conducción en sí mismo podría ser un factor profundamente influyente en la reducción del consumo de energía en el uso de vehículos eléctricos [11].

3.5. Consideraciones en el Estudio del VE

Los combustibles fósiles son finitos, mientras que la demanda aumenta inevitablemente en función del crecimiento económico (el 31 % del consumo mundial de energía va dedicado para el sector del transporte). Entonces, el VE es una alternativa, a un vehículo de motor de gasolina. El rendimiento es aproximadamente dos veces mayor. Sin embargo, es una alternativa que llevará tiempo, avances tecnológicos e inversiones para lograr niveles constantes de costos con la distribución en los mercados masivos [31].

Los beneficios ambientales de los vehículos eléctricos no solo dependen de la generación de electricidad o incluso de la producción y vida futura de vehículos y baterías, sino también de cómo se usan los vehículos eléctricos en las condiciones reales de conducción [32].

En [24], se desarrolla un método para estimar los requerimientos de energía del viaje en el vehículo, analizando los datos con un alcance geográfico más amplio. El método consiste en el consumo de energía del vehículo y un procedimiento de arranque condicional para combinar datos de viaje de GPS con datos a gran escala de la encuesta nacional de viajes domésticos de los EE. UU. Se comparan entre sí: objetivos de rendimiento, tecnología actual y los requisitos de viaje. Para hacer una evaluación más precisa del nivel de rendimiento de las baterías de los



vehículos eléctricos [24].

El uso de datos detallados del vehículo en el nivel de actividades durante un período de tiempo más largo proporciona información más detallada sobre los patrones de viaje y carga típicos. Esto permite evaluar el rendimiento del vehículo y la compatibilidad del vehículo con las necesidades de movilidad específicas del usuario [26].

En [33] se propone un modelo econométrico de efectos fijos para predecir que la velocidad de ahorro de energía de conducción está entre (45 – 56) km / h, los hallazgos de este estudio ayudan a los consumidores a elegir autos apropiados que satisfagan su demanda de viaje bajo el entorno de conducción en el que viven, para conocer los patrones de ahorro de energía de la unidad y reducir el problema de ansiedad en el rango de manejo [33].

La *Tasa de Consumo de Energía*(ECR) considerada en [33], se calcula como la relación entre la potencia consumida y la distancia recorrida para diferentes modelos y diferentes entornos de conducción. Determinan que cuando menor es la ECR, mejor es la eficiencia energética. Dado el ECR, el rango de conducción de los VE se calcula dividiendo la capacidad de la carga inicial en kWh, para el ECR. Cabe señalar que el rango de conducción depende de la capacidad de la batería, el rendimiento del automóvil o ambos. En consecuencia, la comparación del ECR en VE proporcionaría una visión más clara de la eficiencia energética de los VE [33].

El modelo presentado en [34] utiliza la ecuación dinámica del vehículo para calcular la energía mecánica requerida y agrega un término dependiente de la temperatura y el tiempo para tener en cuenta los auxiliares y las eficiencias dependientes de la temperatura. Además, como el consumo de energía se calcula integrando la multiplicación de la tensión y la corriente de la batería a lo largo del tiempo, la disminución de la frecuencia de registro aumenta el error de integración [27].

En [35], proponen el siguiente algoritmo para evaluar a los VE.

- Calcular la velocidad promedio y la tasa de consumo de energía (por km) para cada fragmento de conducción del mundo real.
- Aplicar la técnica de regresión paramétrica para modelar las estadísticas de la tasa de consumo de energía basada en la distancia, teniendo en cuenta el tipo de camino, así como el grado de la carretera.

La planificación del VE es imprescindible para todos los servicios. En el caso del sector público ayudaría a decidir qué métodos de fomento del VE son apropiados. Los métodos que parecen eficaces y a menudo adecuados incluyen [35]:

- Sensibilizar mediante menciones en boletines informativos, redes sociales, carteles, etc.
- Hospedaje de eventos que ofrecen pruebas de conducción o paseos en VE.
- Instalar y operar estaciones de carga; enfocado en apartamentos, lugares de trabajo, metro



y pasillo.

- Ofrecer un incentivo financiero, como organizar una compra de grupo con descuento.

3.6. Conclusiones

Aun a pesar de los estudios realizados, no existe una política de regulación para la evaluación del VE en ambientes reales, sin embargo, es evidente ver que con la ayuda del sistema OBD2, se pueden registrar los valores de las variables medidos desde los sensores de los vehículos, que sirven para analizar el rendimiento del VE.

Aun a pesar de replicar un ciclo de conducción en un ambiente real, el rendimiento del vehículo se ve afectado, tanto por factores internos como externos, con lo cual las mediciones pueden variar en un 30 % entre replicas. Luego de analizar los diferentes ciclos de conducción, se opta por replicar los ciclos de conducción considerados por el INER.



Capítulo 4

Metodología



En el presente capítulo se describe la metodología de manera técnica, mostrando las características de los dispositivos utilizados, la disposición física de los mismos, los ambientes elegidos y la metodología utilizada para las mediciones y su posterior análisis

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



4.1. Introducción

Al realizar un estudio de investigación y evaluación es de vital importancia replicar las mediciones que se vayan a realizar. La replicabilidad se basa en que un estudio debe producir los mismos resultados si se repite bajo las mismas condiciones iniciales, es por esto que en este capítulo se tratan aspectos técnicos de los dispositivos utilizados, así como los parámetros utilizados para su configuración.

Otro aspecto importante al hacer un estudio de campo es el describir el ambiente a profundidad para determinar todas las variables que podrían incidir en la toma de datos. Parte fundamental de la metodología es la descripción del procedimiento de medición, en el que se explica cómo se midieron las variables.

4.2. Descripción de Equipos

En esta sección, se describen los equipos utilizados para la adquisición de datos. Primero, se da una breve descripción del VE Kia Soul en la sección 4,2,1, en la sección 4,2,2, se habla sobre el sistema OBD2 y el Bus CAN, que permite la extracción de datos de los sensores del VE, en la sección 4,2,3 se habla sobre el escáner LM327 que permite la comunicación con el sistema OBD2 para procesarlo y enviarlo una aplicación instalada en un Smartphone en donde se almacenan los datos extraídos, en la sección 4,2,4 se detalla el smartphone utilizado, y en la sección 4,2,5, se presenta la disposición de los equipos utilizados en las pruebas.

4.2.1. Kia Soul EV

Al igual que con otros vehículos eléctricos, el Kia Soul EV utiliza una batería de alto voltaje y un motor eléctrico para impulsar el vehículo sin ningún combustible de gasolina, mientras que el vehículo convencional utiliza el motor de combustión estándar. El Kia Soul es un vehículo ecológico que no produce emisiones de escape [13].

El cableado de alto voltaje es naranja según el estándar de la *Sociedad de Ingenieros de Automoción(SAE)*. Los cables se extienden desde la parte inferior del vehículo donde se conecta la batería de alto voltaje a la unidad de control de energía eléctrica, el motor, el inversor y otros componentes de alto voltaje se ubican en la parte delantera del vehículo. La presencia de cables de color naranja debajo del capó identifica el vehículo como un vehículo eléctrico [13].

En la Figura 4.1, se presenta los componentes principales de los que está compuesto el VE Kia Soul.

- **Bloque de conexiones de alto voltaje:** Suministra electricidad desde la batería de

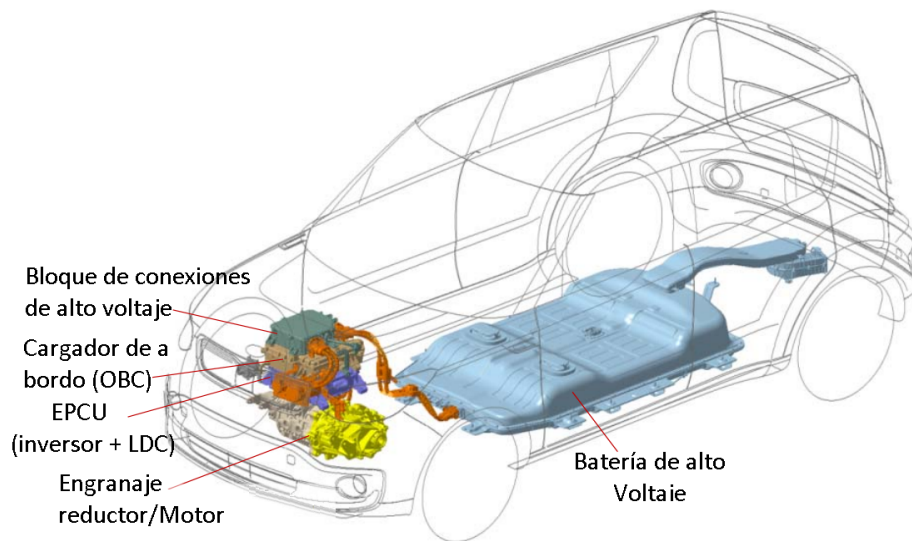


Figura 4.1: Componentes principales del Kia Soul EV, Fuente: [13]

alto voltaje al inversor, al LDC, al compresor del aire acondicionado y al calefactor PTC.

- **Cargador de a bordo (OBC):** Dispositivo externo (velocidad lenta) para cargar la batería de alto voltaje.
- **Inversor:** Convierte la corriente continua en corriente alterna para suministrar energía al motor, y convierte la corriente alterna en corriente continua para cargar la batería de alto voltaje.
- **LDC:** Convierte la tensión de la batería de alto voltaje a bajo voltaje (12 V) para suministrar electricidad al vehículo (DC-DC).
- **Motor eléctrico:** Utiliza la energía eléctrica almacenada en el interior de la batería de alto voltaje para accionar el vehículo (tiene la misma función que el motor de combustión en un vehículo convencional).
- **Engranaje reductor:** Suministra la fuerza de rotación del motor a las ruedas a la velocidad y el par mecánico adecuados.
- **Batería de alto voltaje (polímero de iones de litio):** Almacena y suministra la electricidad necesaria para la operación del vehículo eléctrico (una batería auxiliar de 12 V suministra electricidad al equipamiento del vehículo, como las luces y los limpiaparabrisas).

El consumo combinado de energía en el **NEDC** es de 16,4 kWh/100km. Esto resulta en un rango operacional de 165 km.

En la Tabla 4.1, se presentan las especificaciones técnicas del **VE** [13].



Especificaciones técnicas Kia Soul EV			
Parámetro	Especificación	Valor	
Motor	Tipo	PMSM	
	Máx. Salida (kW)	81,4	
	Máx. Par mecánico (Nm)	285	
	Horsepower	109 hp (81,4 kW)	
Unidad de reducción de engranajes	Par máximo permitido (Nm)	300	
	Relación de engranaje	8,206	
EPCU	Inversor: Voltaje de Entrada (V)	240 - 413	
	LDC: Máx. Salida (kW)	1,7	
Cargador a bordo (OBC)	Máx. Salida (kW)	6,6	
	Densidad de salida (kVA/ℓ)	0,52	
Batería	Tipo	Polímero de iones de litio	
	Voltaje nominal (V)	360	
	Capacidad/Energía (Ah/kWh)	75 Ah / 27 kWh	
	No. Bancos (Celda/Módulo)	192 celdas / 8 Módulos	
	Potencia (kW)	90	
	Densidad de Energía (Wh/kg)	97,6	
	Peso (kg) / Volumen (ℓ)	Tiempo de carga	277 / 241
			120 V : 24 h
240 V : 4h, 50min			
	480 V (80 % carga): 33 min		
Desempeño	Aceleración	11,2 s (0 a 100 km/h)	
	Velocidad máx. (km/h)	145	
	Autonomía (km)	193	
Peso	En Vacío (kg)	1492	
	Neto (kg)	1960	

Tabla 4.1: Especificaciones técnicas Kia Soul EV.

4.2.2. OBD2 y Bus CAN

OBD es un sistema de diagnóstico vehicular, incorporado al vehículo y que tiene la función de controlar y monitorear tanto al motor como algunos otros dispositivos.

Los automóviles modernos suelen tener más de 50 *Unidades de Control Electrónico*(ECU) que desempeñan diversas funciones en diversos subsistemas. **CAN** es un bus serie que permite un intercambio de datos rápido (hasta 1MB/s) y robusto [14].

En la capa de enlace de datos (capa 2), los paquetes CAN están compuestos por un identifi-

cador y una carga de datos. El identificador generalmente comprende 11 bits o 29 bits, aunque los identificadores de 11 bits son los más comunes. El identificador (**CAN ID**) también denota la prioridad del mensaje, cuanto menor es el valor, mayor es la prioridad. Cada controlador en el bus transmite mensajes a todos los demás. Después del identificador, hay de 0 a 8 bytes de datos. Se recomienda a los lectores interesados sobre las definiciones de sincronización de bits, sincronización y marcos de datos del protocolo **CAN** que consulten [36], [37].

Existen dos métodos para extraer los datos del bus **CAN** de un vehículo. El primero es usar La “herramienta de husmear” del bus **CAN** para observar el tráfico de mensajes **CAN** de los vehículos. Este enfoque requiere un conocimiento previo de los protocolos **CAN**. La segunda y más fácil es usar el “intérprete **OBD**”, que interpreta el tráfico de mensajes de capa 2 y los analiza para devolver parámetros legibles [14].

Herramientas de monitoreo de capa de enlace de datos[14]

Lee el paquete **CAN** e inyecta el paquete **CAN** en la red. Una variante simple comúnmente utilizada es un escudo **CAN-BUS** diseñado para interactuar con una placa Arduino. Tales blindajes usan el controlador de **CAN** Microchip MCP2515 con un transceptor **CAN** MCP2551, y requieren que los usuarios programen su propio firmware de interpretación.

Intérpretes **OBD[14]**

Un enfoque más directo y fácil de usar para obtener datos **CAN** es utilizar un conjunto de chips que está diseñado de una manera específica de la aplicación para interpretar el tráfico **CAN** en parámetros que luego se retransmiten como mensajes seriales. Los intérpretes **OBD** más comunes usan hardware ELM327, son intérpretes **OBD** a RS323 que funcionan como un puente que conecta el puerto **OBD** a un puerto serie estándar RS232.

En la Figura 4.2, se presenta el marco completo de utilización del bus **CAN** del vehículo, que muestra las dos vías comunes.

4.2.3. Escáner de Diagnóstico LM327

El hardware ELM327 tiene la capacidad de trabajar con nueve protocolos **CAN** diferentes además de detectar automáticamente el protocolo utilizado. ELM327 es completamente configurable usando comandos AT que es definido por el fabricante [38]. Este chip es ampliamente utilizado en lectores de códigos de problemas de diagnóstico y herramientas de escaneo automatizado. Los intérpretes populares de **OBD** pueden utilizar interfaces Bluetooth o TCP/IP para teléfonos inteligentes o computadoras para comunicarse debido a la forma relativamente parsimoniosa de extraer datos.

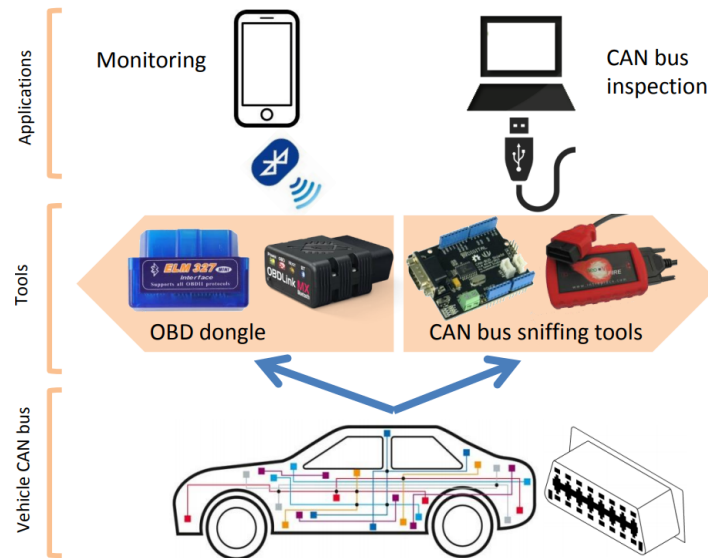


Figura 4.2: Utilización del bus CAN del vehículo, Fuente: [14, Fig. 1]

Se utiliza el escáner ELM327 Bluetooth OBD¹, que se conecta directamente en el computador del VE, usando el sistema OBD2, y mediante la conexión bluetooth se puede visualizar todos los parámetros configurados en un smartphone con ANDROID o computador usando el programa Torque Pro.

Características:

- Conexión inalámbrica Bluetooth.
- ISO 9141, KWP 2000.
- Compatible con SAE J1850 y Bus CAN.

Funciones:

- Lee códigos de diagnóstico, tanto genéricos como específicos del fabricante, y muestra su significado (Mas de 3000 definiciones genéricas de códigos en la base de datos).
- Limpia códigos de errores y (“Check Engine” de luz).
- Extrae valores instantáneos de los sensores.

En la Figura 4.3, se presenta el escáner y los respectivos pines de conexión.

4.2.4. Smartphone Samsung SM-G920I

El smartphone utilizado es el Samsung S6 SM-G920I, el dispositivo cuenta con un procesador de 2,1Ghz Samsung Exynos (ocho núcleos), 32Gb de almacenamiento, 3Gb de RAM, 2550 mAh

¹<https://electronline.cl/scanner-automotriz-mini-elm327-bluetooth-obd2-v21>



Figura 4.3: Escáner ELM327 y pines de conexión, Fuente: [14, Fig. 2]

de Batería, y conectividad **GPS**: A-GPS, GeoTagging, GLONASS, BeiDou, lo cual brinda una precisión entre (3 y 12)m².

4.3. Configuración de Dispositivos

Al utilizar el escáner ELM327 con el smartphone SM-G920I, lo que es necesario configurar son los códigos PID (son los ID de los parámetros; estos son los códigos utilizados para solicitar datos de un vehículo), de acuerdo a los sensores que dispone el **VE**. En el Apéndice A, se detalla la configuración de los dispositivos descritos.

Existe la aplicación para plataforma de teléfonos inteligentes llamada “Torque Pro”, que proporciona mediciones de la información de **VE** utilizando este tipo de escáner, la aplicación descrita se puede tener una velocidad de muestreo de hasta 10Hz.

4.4. Descripción del Ambiente

El objetivo del estudio es evaluar el rendimiento energético de un vehículo eléctrico en la Ciudad de Cuenca e identificar las variables eléctricas que afectan el rendimiento, usando diferentes mediciones de las variables disponibles. Para estas mediciones, se tomó en cuenta los ambientes planteados en el proyecto: Eficiencia energética de Vehículos Eléctricos en Ecuador (INER-MCPEC-ARCONEL)[28]. Dado que se requiere darle generalidad al estudio, se escogieron los tres ambientes planteados en el proyecto, en zonas: urbana, de alta velocidad y mixta de la ciudad de Cuenca, Ecuador. En los cuales se agregan 3 mediciones por ambiente donde exista diferentes condiciones de tráfico. En cuanto a los factores climáticos, las mediciones se tomaron en horas de la mañana al medio día y al anochecer. La temperatura promedio es un

²<http://smart-gsm.com/moviles/samsung-galaxy-s6>)

parámetro difícil de estimar puesto que resulta sumamente variante en esta región del país, sin embargo, de manera general varía entre los (12 y 25) °C para el ambiente urbano, entre (4 y 16) °C para el ambiente de alta velocidad y entre (12 y 26) °C para el ambiente mixto.

En la Figura 4.4, se presenta el límite máximo de velocidad para vehículos livianos, motocicletas y similares para el sector urbano es de 50 km/h y el rango moderado es de 50 a 60 Km/h; en el sector perimetral es de 90 km/h y el rango moderado es de 90 a 120 km/h; rectas en carreteras es de 100 km/h y el rango moderado es de 100 a 135 km/h y curvas en carreteras es de 60 km/h y el rango moderado es de 60 a 75 km/h. Art. 142, 145 de Ley Transistor del Ecuador³.



Figura 4.4: Límites máximos de velocidad para la ciudad de Cuenca

A las siguientes secciones, se describen con detalle cada uno de los ambientes considerados.

³<http://especiales.elcomercio.com/infografias/2012/08/velocidadViasCuenca/index.html>

4.4.1. Ambiente 1: Urbano

Para el ambiente urbano, se consideran realizar 3 recorridos, Día 1: el primero en la mañana a partir de las 07 : 00, donde el tráfico es reducido y las únicas interrupciones estén dadas por semáforos, redondeles o paradas para ceder el paso, Día 2: el segundo al medio día, entre las 11 : 45 y las 14 : 00, donde el clima es un poco más caluroso, y existe tráfico moderado, Día 3: el tercero al anochecer, entre las 17 : 30 y las 19 : 30, donde existe mayor congestión vehicular, y se hace uso de las luces del VE.

El ambiente 1, se caracteriza por recorrer la parte urbana de la ciudad de Cuenca, esta inicia en el laboratorio de micro-redes eléctricas ubicado en el campus Balzay de la Universidad de Cuenca [39], se avanza hasta llegar el centro comercial Mall del Río, pasar por el estadio Alejandro Serrano Aguilar, el hospital Vicente Corral Moscoso, el aeropuerto Mariscal Lamar, la avenida de las Américas hasta el redondel de la calle Ordoñez Laso, circular por el centro histórico, avanzar hasta la avenida Héroes de Verdeloma, dirigirse por la avenida Huayna-Capac, hasta la iglesia de el Vergel, para finalmente avanzar por la avenida 12 de Abril, y retornar al punto de partida. Como se observa en la Figura 4.5.



Figura 4.5: Recorrido para el ambiente 1 (Urbano)

4.4.2. Ambiente 2: Mixto (Urbano, Suburbano, Rural, Alta Velocidad)

Para el ambiente 2 se realizan 3 recorridos, en el mismo horario considerado para el ambiente 1, y con el mismo punto de partida. Este ambiente se caracteriza por recorrer la autopista, para



pasar por la cabecera del cantón Gualaceo, luego por el cantón Paute, desviarse por la Parroquia de Bulan perteneciente al cantón Paute, donde se cruza por carretera sin asfaltar, hasta salir a la ciudad de Azogues, para luego pasar por Cojitambo, Déleg, Ricaurte, y retornar al punto de partida. Hay que tener en cuenta que al pasar por estos cantones el clima es diferente. El recorrido mencionado se observa en la Figura 4.6.



Figura 4.6: Recorrido para el ambiente 2 (Combinado/Mixto)

4.4.3. Ambiente 3: Alta velocidad

Para el ambiente 3 se realizan 3 recorridos, en el mismo horario considerado para el ambiente 1, y con el mismo punto de partida. Este ambiente se caracteriza por recorrer vías de mayor velocidad, con curvas pronunciadas, mayor elevación, menor temperatura, y niebla a diferencia de los otros ambientes. Este ambiente avanza por la vía Cuenca-Molleturo, subiendo por el Parque Nacional el Cajas; debido a que se desconocía el alcance real del VE, se tienen diferentes puntos de retorno. Como se observa en la Figura 4.7.

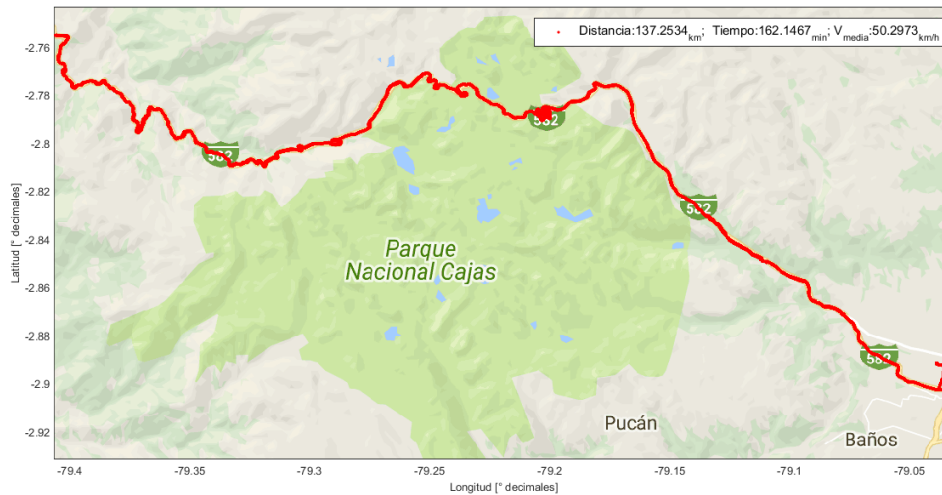


Figura 4.7: Recorrido para el ambiente 3 (Alta Velocidad)

4.5. Descripción del Procedimiento

El procedimiento de medición, consiste en extraer los datos del sistema **OBD2**, mediante el escáner **ELM327**, el cual mediante comunicación **Bluetooth** envía los datos al smartphone para almacenarlos en un archivo “.CSV”. El smartphone está a una distancia no mayor de 1 metro del escáner, los datos son grabados en tiempo real a una tasa de diez muestras por segundo (10Hz), el registro de datos empieza 1 minuto antes de iniciar el recorrido, y termina 1 minuto luego de finalizar el recorrido, se tiene que considerar que, para la ubicación del vehículo en el transcurso del recorrido, se utiliza el **GPS** del smartphone, el mismo que registra la latitud, longitud y elevación por donde circula el **VE**. El **GPS** hace uso tanto de las redes móviles, como de los satélites que estén disponibles para calcular la ubicación del **VE**.

4.5.1. Identificación de Variables

Para la identificación de las variables que se pueden registrar, primero se configura los **PID**, como se explica en el apéndice **A**, luego de esto se realizan pruebas con el vehículo en el laboratorio de micro-redes, hasta identificar que variables están registrando los datos en tiempo instantáneo, que variables no se modifican a lo largo de las pruebas, y las variables que no tienen ningún tipo de registro. Luego de realizar este proceso, se vuelve a configurar los **PID** en la aplicación **Torque pro**, para registrar únicamente las variables identificadas como aptas para el estudio.



4.6. Métricas de Análisis de Datos

A continuación, se detallan las herramientas que serán utilizadas para el análisis de las mediciones obtenidas en los tres ambientes anteriormente descritos.

4.6.1. Descripción de Datos con Medidas Numéricas

Las medidas numéricas carecen de la efectividad de las gráficas, sin embargo, ayudan a tener una idea de la tendencia de los datos sin la necesidad de observar la imagen de los mismos [40].

Medidas Centrales: Son medidas a lo largo del eje horizontal de una distribución que localizan el centro de la misma. La media, mediana y moda son utilizados para describir conjuntos de datos.

Medidas de Variabilidad: Dos conjuntos de datos pueden tener el mismo centro, pero diferente dispersión o variación. Las medidas de variabilidad ayudan a crear una imagen de la distribución de los datos. Entre ellas se encuentra el rango, que es la diferencia entre la medición más grande y la más pequeña; la varianza de la población y de la muestra que se definen como los promedios de los cuadrados de las desviaciones alrededor de la media. La desviación estándar es igual a la raíz cuadrada positiva de la varianza. Una característica de ésta es que su unidad de medida es la misma que la de las mediciones [40].

4.6.2. Análisis de Correlación

El análisis de correlación, se basa en el coeficiente de correlación (r) que no es más que una medida de la fuerza de la relación entre dos variables. Este puede asumir valores entre $-1y + 1$.

Un $r = -1$ indica una relación negativa perfecta entre las variables. En general, mientras mayor sea el valor absoluto de r , más fuerte será la relación entre las variables [41].

4.6.3. Procesamiento de Datos

Antes del procesamiento de datos se tiene que realizar el pre-procesamiento de datos, para esto, primero se debe de verificar si no existen pérdidas de datos o lecturas nulas en los archivos registrados, en el caso de darse estos inconvenientes se debe de eliminar estos datos que no aportan al estudio, luego de esto se procede al procesamiento de datos, para esto se usan las métricas descritas en 4,6,1 y 4,6,2, adicionalmente para ver la potencia eléctrica suministrada de la batería a partir del voltaje y la corriente, mediante la ecuación (4.1):

$$P_{batería} = V \cdot I \quad [V \cdot A] \equiv [W] \quad (4.1)$$

Para determinar la potencia mecánica, generada por el motor, a partir de la velocidad del motor, y el par mecánico empleado, se utiliza la ecuación (4.2):

$$P_{motor} = V_{motor} \cdot T_{motor} \cdot \frac{2 \cdot \Pi}{60} \quad \left[\frac{N \cdot m}{seg} \right] \equiv [W] \quad (4.2)$$

Para determinar la energía se utiliza la ecuación de (4.3,4.4):

$$E_{recarga} = \int_{x=0}^{x=duraciónrecorrido} P_{negativa} \cdot dt \quad [Wh] \quad (4.3)$$

$$E_{descarga} = \int_{x=0}^{x=duraciónrecorrido} P_{positiva} \cdot dt \quad [Wh] \quad (4.4)$$

Donde:

dt : Intervalo de tiempo entre muestra y muestra

$P_{positiva}$: Potencia suministrada por la batería

$P_{negativa}$: Potencia suministrada por el freno regenerativo

Para determinar el rendimiento energético del VE, es necesario conocer la cantidad de energía que se descarga de la batería y la cantidad de energía que es regenerada, presentado en la ecuación (4.5):

$$RendimientoEnergético = \frac{E_{recarga}}{E_{descarga}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.5)$$

Para determinar el rendimiento energético entre la batería y el motor, se utiliza la relación de la energía suministrada por la batería y la energía mecánica suministrada por el motor, presentado en la ecuación (4.6):

$$RendimientoEnergético = \frac{E_{salida-batería}}{E_{salida-motor}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.6)$$

En la Figura 4.8, se puede observar el esquema del rendimiento energético entre la batería y el motor síncrono de imanes permanentes, que se considera para este estudio.

Estado de carga

Las restricciones de voltaje necesarias para evitar problemas como sobre-voltaje y sobre-descarga que pueden traducirse en recomendaciones para el rango de funcionamiento del estado

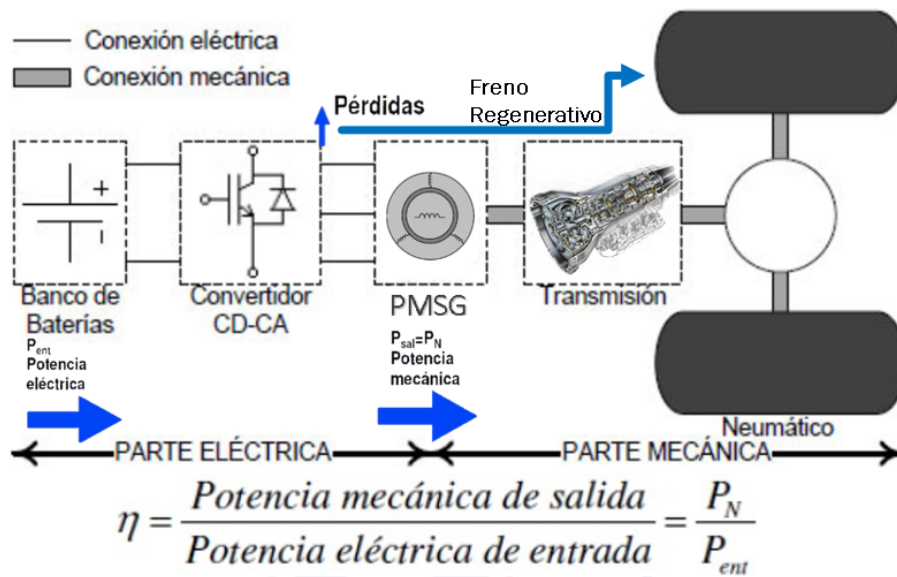


Figura 4.8: Esquema de rendimiento energético considerado.

de carga de la batería. en la Figura 4.9, se representa el diagrama⁴ del estado operativo de carga.

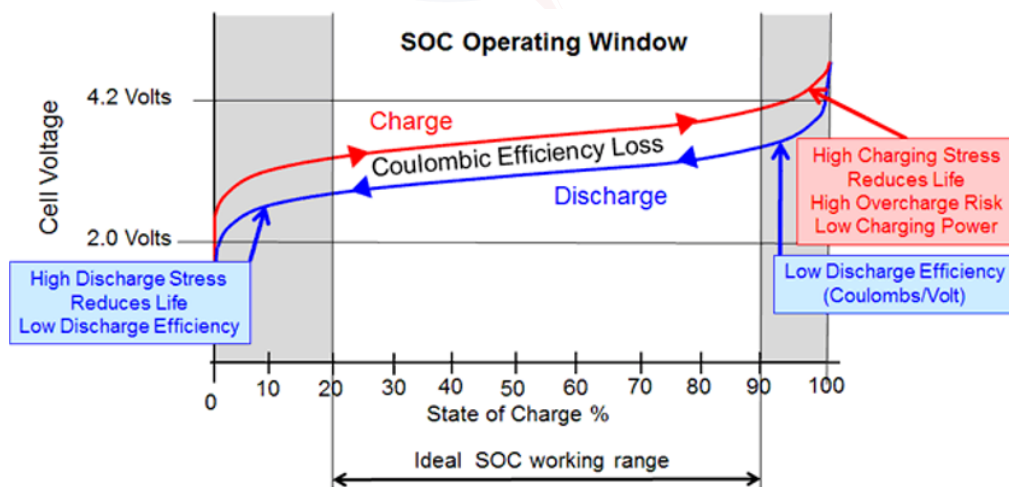


Figura 4.9: Ventana de operación para mantener el estado de carga.

Se debe considerar estas recomendaciones para evitar descargar la batería por debajo del 15%, y en el caso del VE de prueba, tiene un mecanismo que permite cargar solo hasta el 95% de la batería.

⁴http://mpoweruk.com/lithium_failures.htm



4.7. Conclusiones

El estudio del rendimiento energético, requiere que se considere tanto variables eléctricas como variables mecánicas y la orografía de los ambientes en donde se desarrolle la evaluación del VE. Los equipos y procedimientos para este estudio son descritos a detalle en este capítulo.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



Capítulo 5

Resultados: Análisis de Mediciones



En el presente capítulo se presenta el análisis de los datos recopilados de las mediciones en los tres ambientes mencionados en el capítulo anterior, con esto se realizan cálculos estadísticos para estimar y comparar el rendimiento energético utilizado en cada recorrido.



5.1. Introducción

De acuerdo a lo descrito en el capítulo anterior se realizaron las mediciones en tres ambientes: urbano, de alta velocidad y mixtos; en los cuales se tomaron mediciones de las variables mecánicas y eléctricas para describir los diferentes factores que afectan el rendimiento energético del VE en cada recorrido, para esto se calculó la energía que es suministrada desde el banco de baterías, y la energía mecánica que proporciona el motor, teniendo en cuenta las pérdidas causadas en la conversión DC/AC, AC/DC, entre el banco de baterías y el motor.

Además, se estima el comportamiento de conducción a partir de las variables mecánicas y eléctricas; y como la forma de conducir afecta al rendimiento energético del VE. También se considera la cantidad de energía que se recupera a través de la recarga regenerativa al momento de utilizar el freno.

Luego de presentar las comparaciones y resultados, se comprueba que las variables eléctricas consideradas en este estudio ayudan a ver que existen medios directos (forma de conducir: velocidad constante, aceleración) e indirectos (número de personas a bordo, orografía) que afectan el consumo energético; y como estos están relacionados con la eficiencia energética en cada recorrido.

5.2. Mediciones previas

Luego de realizar las configuraciones descritas en el apéndice A, se realizaron mediciones en el laboratorio de micro-redes eléctricas [39], de las posibles variables a considerar en el estudio, para eliminar las variables que estén registrando datos constantes o datos nulos, esto antes de iniciar los recorridos para evitar captura de datos innecesarios, se comprueba que la aplicación Torque pro, puede capturar datos desde: una muestra cada cinco segundos, hasta 10 muestras por segundo, se elige 10 muestras por segundo para disminuir errores al momento de calcular la energía consumida.

5.2.1. Variables Consideradas

Una vez configurados los diferentes PIDs en la aplicación Torque Pro, y considerando la frecuencia de muestro para la captura de datos, se tienen un total de 154 variables disponibles que se pueden capturar del VE en cada recorrido.

Se realiza un pre-procesamiento de datos para verificar si existen archivos con registros nulos o pérdida de información, en el caso de existir se procede a eliminarlos, de las variables que se capturan algunas son dependientes, en el caso del voltaje por celda del banco de baterías, y el total que es la suma de las celdas, de la misma manera se captura la temperatura individual



de cada módulo, y la temperatura promedio de todos los módulos, que sirven para ver el comportamiento del banco de baterías, de las variables independientes se tiene un total de 25, que se presentan en la Tabla 5.1.

Variables Consideradas			
Variable	Unidad de Medida	Mínimo	Máximo
Elevación	(m)	–	–
Corriente de la batería	(A)	–230	230
Voltaje de la batería	(V)	268	403
Potencia de la batería	(kW)	–90	90
Corriente carga acumulada	(Ah)	0	1E6
Corriente descarga acumulada	(Ah)	0	1E6
Energía acumulada cargada	(kWh)	0	1E6
Energía acumulada descargada	(kWh)	0	1E6
Voltaje de condensador inversor	(V)	0	500
Voltaje máximo de la celda	(V)	2,8	4,2
Voltaje mínimo de la celda	(V)	2,8	4,2
Tiempo de funcionamiento	(horas)	0	1E6
Estado de carga BMS	(%)	0	100
Velocidad real del motor	(rpm)	–10100	10100
Corriente de fase del motor	(rms)	0	5000
Temperatura del motor	(°C)	–40	125
Par mecánico motor Estimado	(Nm)	–300	300
Velocidad real del vehículo	(km/h)	0	180
Temperatura Módulos batería	(°C)	–40	80
KWh restantes instantáneos	(kWh)	0	30
Aceleración	(g)	–	–
Pedal Aceleración	(%)	0	100
Posición Pedal Freno	(%)	0	1
No. Celda con máx. Deterioro	(No.)	–	–
Potencia de carga disponible	(kW)	0	98

Tabla 5.1: Variables consideradas para el estudio.

5.3. Medición de Variables Consideradas

Para la medición de las variables en los ambientes mencionados en el capítulo anterior, se considera repetir el recorrido tres veces en cada ambiente, en horarios definidos en la mañana, al medio día y al anochecer.



En el ambiente urbano en la mañana, existe menor congestión de tráfico y temperaturas que varían entre (12 y 15) °C, al medio día con temperaturas que varían entre (23 y 25) °C, y al anochecer con temperaturas que varían entre (15 y 17) °C, cabe recalcar que en el caso del ambiente urbano al medio día y al anochecer existe mayor congestión de tráfico en la ruta establecida.

En el ambiente de alta velocidad en la mañana se tienen temperaturas que varían entre (8 y 14) °C, al medio día con temperaturas que varían entre (11 y 16) °C, y al anochecer con temperaturas que varían entre (4 y 13) °C, cabe recalcar que en el caso del ambiente de alta velocidad debido a que no existen semáforos a lo largo de la ruta y se tienen carriles de doble vía, no hubo congestión vehicular.

En el ambiente mixto en la mañana se tienen temperaturas que varían entre (12 y 17) °C, al medio día con temperaturas que varían entre (18 y 26) °C, y al anochecer con temperaturas que varían entre (12 y 18) °C, cabe recalcar que en el caso del ambiente mixto debido a que es un ambiente combinado (urbano, rural, alta velocidad). La congestión de tráfico cambia aleatoriamente.

5.4. Análisis Estadísticos

A continuación, se presentan el análisis estadístico que ayudará a validar las mediciones y a determinar cómo afectan las diferentes variables al rendimiento energético del VE. Una de las más importantes es la matriz de correlación para determinar, como se ven afectadas todas las variables entre sí.

5.4.1. Correlación

Como se mencionó en el capítulo anterior, la correlación muestra la fuerza de la relación entre dos variables. En este caso, se quiere mostrar que la relación entre las variables seleccionadas para este estudio es fuerte. Esto indicaría que aun a pesar de tener diferentes conductores con diferentes años de experiencia, en diferentes orografías de recorrido, estas variables mantienen su relación. Las características de los ambientes probados se detallaron en la Sección 4,4.

Para la correlación no se considera la variable No. de celda con máximo deterioro, pero si se considera para conocer el comportamiento de deterioro del banco de baterías.

Los colores se identifican de la siguiente manera: rojo para una correlación muy alta, verde oscuro para una correlación alta, verde claro para una correlación moderada, gris oscuro para una correlación baja, gris claro para una correlación muy baja, y blanco para una correlación nula.

En la Figura 5.1 se detalla la matriz de correlación promedio de todos los recorridos en los diferentes ambientes de las variables seleccionadas.

Se puede observar como la variable voltaje, y corriente tienen la mayor cantidad de relación con las demás variables, aun a pesar de que la variable aceleración no tiene una relación considerable, se puede ver que la variable pedal de aceleración, si mantiene una relación con la corriente y la potencia, también se ve la relación existente entre la velocidad del motor y la velocidad del vehículo, de la misma manera que la temperatura del motor, la temperatura del banco de baterías con el tiempo de funcionamiento y el estado de carga.

La variable potencia, mantiene una relación moderadamente fuerte con las variables, par mecánico (torque) del motor y el pedal de aceleración, que es la vía por la que viaja la energía que se considera para este estudio, desde el banco de baterías hasta el motor, como se muestra en la figura 4.8.

		Matriz de correlación de variables de medición de rendimiento energético vehículo eléctrico																							
Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1 Elevación	1,00																								
2 Potencia de carga disponible	0,20	1,00																							
3 Corriente de la batería	-0,02	0,04	1,00																						
4 Voltaje de la batería	-0,35	-0,79	-0,26	1,00																					
5 Potencia de la batería	-0,02	0,03	0,96	-0,24	1,00																				
6 Corriente carga acumulada	0,08	0,71	-0,05	-0,85	-0,06	1,00																			
7 Corriente descarga acumulada	0,26	0,77	-0,04	-0,92	-0,06	0,97	1,00																		
8 Energía acumulada cargada	0,08	0,72	-0,04	-0,86	-0,05	1,00	0,97	1,00																	
9 Energía acumulada descargada	0,26	0,78	-0,04	-0,92	-0,05	0,97	1,00	0,97	1,00																
10 Voltaje de condensador inversor	-0,35	-0,78	-0,24	0,99	-0,24	-0,85	-0,91	-0,85	-0,91	1,00															
11 Voltaje máximo de la celda	-0,01	0,10	0,33	-0,11	0,35	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,13	1,00														
12 Voltaje mínimo de la celda	0,05	0,01	0,47	-0,12	0,48	-0,09	-0,07	-0,09	-0,07	-0,14	0,17	1,00													
13 Tiempo de funcionamiento	0,15	0,76	-0,04	-0,89	-0,05	0,98	0,98	0,98	0,98	-0,88	-0,01	-0,07	1,00												
14 Estado de carga BMS	-0,35	-0,79	0,04	0,93	0,05	-0,94	-0,99	-0,94	-0,99	0,93	0,01	0,05	-0,96	1,00											
15 Velocidad real del motor	0,12	0,12	0,13	-0,07	0,14	-0,10	-0,04	-0,10	-0,04	-0,08	0,02	0,18	-0,07	0,02	1,00										
16 Corriente de fase del motor	0,08	0,10	0,38	-0,15	0,31	0,01	0,02	0,01	0,03	-0,14	0,07	0,26	0,02	-0,03	0,16	1,00									
17 Temperatura del motor	0,27	0,80	0,05	-0,69	0,04	0,59	0,65	0,60	0,66	-0,69	0,01	0,05	0,61	-0,66	0,19	0,16	1,00								
18 Par mecánico Estimado	-0,03	0,01	0,74	-0,17	0,72	-0,06	-0,06	-0,05	-0,06	-0,16	0,32	0,36	-0,05	0,05	-0,01	0,36	0,01	1,00							
19 Velocidad real del vehículo	0,12	0,12	0,11	-0,06	0,12	-0,10	-0,04	-0,10	-0,04	-0,08	0,01	0,18	-0,07	0,02	1,00	0,15	0,19	-0,04	1,00						
20 Temperatura Modulosa batería	0,33	0,80	-0,06	-0,89	-0,07	0,93	0,97	0,94	0,97	-0,88	-0,02	-0,07	0,94	-0,97	-0,02	0,03	0,69	-0,07	-0,02	1,00					
21 kWh restantes	-0,35	-0,79	0,04	0,93	0,05	-0,94	-0,99	-0,94	-0,99	0,93	0,01	0,05	-0,96	1,00	0,02	-0,03	-0,66	0,05	0,02	-0,97	1,00				
22 Aceleración	0,03	0,03	-0,03	-0,01	-0,03	0,00	0,01	0,01	0,01	-0,01	-0,02	0,00	0,01	-0,02	0,05	0,07	0,04	-0,02	0,05	0,02	-0,02	1,00			
23 Pedal Aceleración	0,03	0,07	0,74	-0,20	0,73	-0,07	-0,05	-0,06	-0,05	-0,20	0,29	0,45	-0,05	0,04	0,32	0,61	0,12	0,77	0,30	-0,06	0,04	0,02	1,00		
24 Pedal Freno	0,01	0,01	0,38	-0,08	0,38	-0,07	-0,06	-0,07	-0,06	-0,08	0,16	0,19	-0,05	0,05	0,40	0,08	0,04	0,49	0,38	-0,06	0,05	0,00	0,44	1,00	

Figura 5.1: Matriz de correlación de las variables consideradas

Luego de analizar la matriz de correlación se puede observar como algunas variables mantienen poca relación, entre ellas la elevación, aun a pesar de tener poca relación con las demás variables, ésta se considera debido a afecta en gran medida a la orografía de los recorridos, de la misma manera el caso de la aceleración, que mantiene una relación débil con las demás variables, pero el pedal de aceleración y freno si mantienen una relación moderadamente fuerte, en la Tabla 5.2, se presenta las variables consideradas para el análisis de este estudio luego de conocer la relación existente entre las variables independientes.

Variables Consideradas			
Variable	Unidad de Medida	Mínimo	Máximo
Elevación	(m)	–	–
Corriente de la batería	(A)	–230	230
Voltaje de la batería	(V)	268	403
Potencia de la batería	(kW)	–90	90
Energía acumulada cargada	(kWh)	0	1E6
Energía acumulada descargada	(kWh)	0	1E6
Tiempo de funcionamiento	(horas)	0	1E6
Estado de carga BMS	(%)	0	100
Velocidad real del motor	(rpm)	–10100	10100
Temperatura del motor	(°C)	–40	125
Par mecánico motor Estimado	(Nm)	–300	300
Velocidad real del vehículo	(km/h)	0	180
Temperatura Módulos batería	(°C)	–40	80
KWh restantes instantáneos	(kWh)	0	30
Aceleración	(g)	–	–
Pedal aceleración	(%)	0	100
No. Celda con máx. Deterioro	(No.)	–	–

Tabla 5.2: Variables consideradas para el estudio, luego de correlación.

A pesar de que la variable distancia no está considerada dentro de ésta lista, si se considera para este estudio, la misma que se calcula a partir del punto de partida y cada punto registrado por el GPS del smartpone, en las variables Latitud y longitud, hasta el punto de llegada.

5.5. Presentación de Resultados por Ambientes

A continuación, se presenta la distribución de elevación, Actividad durante la conducción, temperatura, distancia, tiempo, regeneración, estado de carga, comportamiento de la conducción y el consumo de energía para cada recorrido en los ambientes considerados.

5.5.1. Ambiente 1: Urbano

En el ambiente 1, la distribución de la elevación está dada entre (2499 y 2635) metros sobre el nivel del mar (msnm), con una media de 2562 msnm, que es aproximadamente igual a la media considerada para la ciudad de Cuenca, que es 2560 msnm, la altura promedio para los 3 recorridos es de 131 metros. En la Figura 5.2, se puede observar los resultados estadísticos del

ambiente 1, la desviación estándar es menor en comparación con los demás ambientes, debido a que no se tiene presencia de montañas.

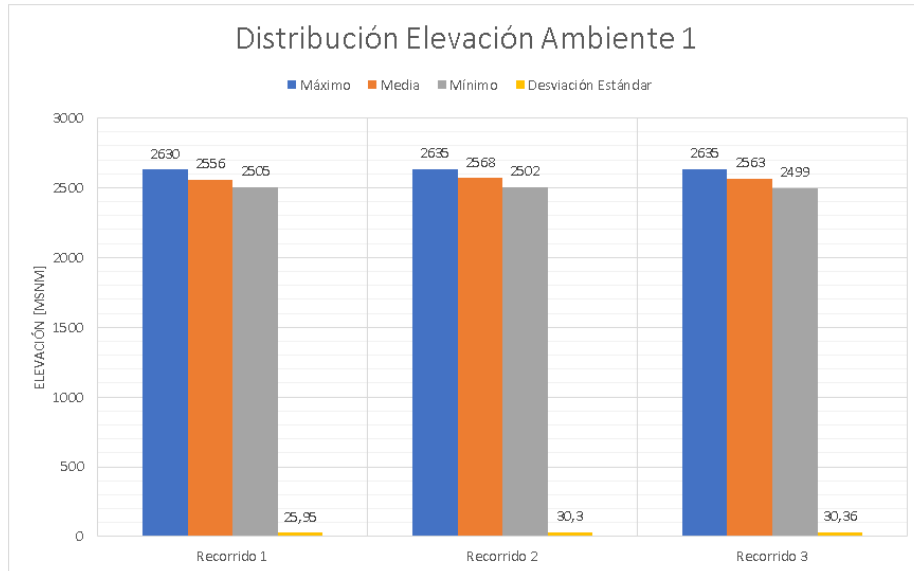


Figura 5.2: Distribución de la elevación ambiente 1

Es importante considerar la transición de la actividad del recorrido, lo cual permite conocer el modo de conducción del conductor y el ambiente en el que se realiza el recorrido, en la Figura 5.3, se puede observar que existe un alto porcentaje de inactividad del vehículo, lo que conlleva a decir que efectivamente se encuentra en un ambiente urbano con congestión vehicular, además los recorridos fueron realizados por diferentes conductores, en diferentes horas del día, y se puede observar que el recorrido 3 tiene mayor porcentaje de velocidad constante, y menor porcentaje de aceleración, lo que demuestra que el conductor tiene un modo de conducción económico, al hacer menos uso del acelerador, y mantenerse en velocidad constante, sin considerar al recorrido 1, debido a que tiene menor tiempo y distancia.

También se tiene que considerar como varía la temperatura tanto del banco de baterías como del motor, de acuerdo a la velocidad a la que se esté circulando.

En la Figura 5.4, se puede observar esta variación, se constata que en el caso del recorrido 2 al tener una velocidad media mayor, tanto la temperatura del batería como del motor, son mayores en comparación con los otros recorridos, esto quiere decir que se tiene un mayor esfuerzo, tanto del motor, como del suministro de energía de las baterías.

Antes de ver el consumo energético de los 3 recorridos se tiene que considerar la duración, distancia y el porcentaje de regeneración de cada recorrido, en la Figura 5.5, se puede observar que la distancia del recorrido 1 es menor en comparación a los otros recorridos, éste debido a que fue el primer recorrido en realizarse, y el punto de inicio y fin del recorrido se hizo desde

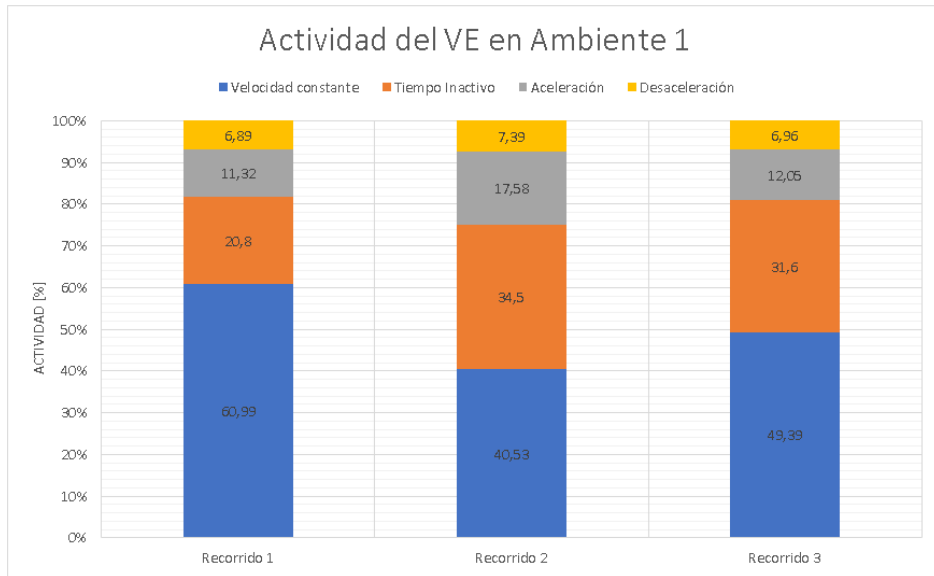


Figura 5.3: Distribución de actividad ambiente 1

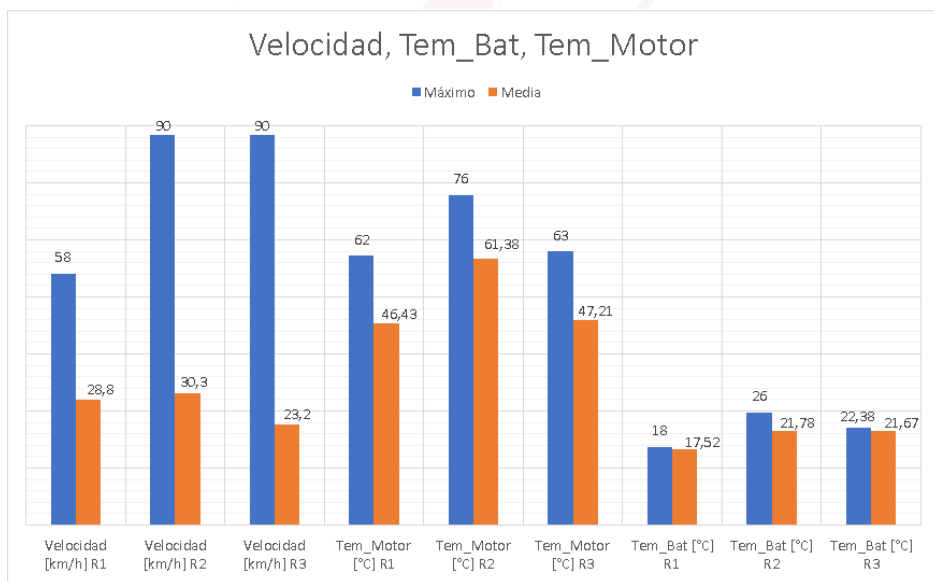


Figura 5.4: Distribución de temperatura por velocidad en ambiente 1

el campus central de la Universidad de Cuenca, considerando esto, también se puede ver como el recorrido 2 realiza el recorrido con 29,7 minutos menos que el recorrido 3, aun a pesar de que es aproximadamente la misma distancia de recorrido, esto es razonable ya que en la Figura 5.4, se puede verificar que el recorrido 2 tiene una velocidad media superior a la del recorrido 3, y al observar la Figura 5.3, tiene mayor porcentaje de aceleración, además debido a que la

regeneración se da por el porcentaje de freno aplicado, también se verifica que tiene un mayor porcentaje de regeneración.

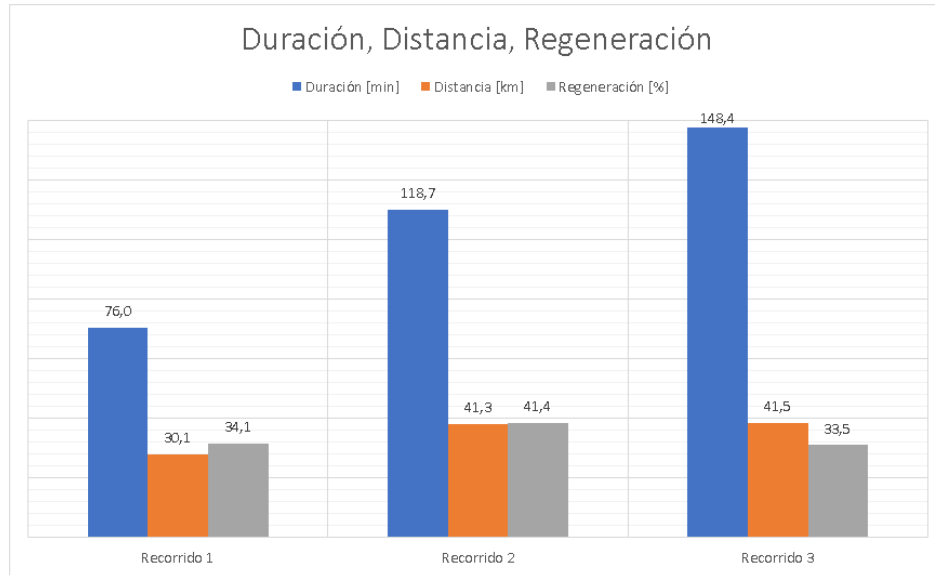


Figura 5.5: Distribución de distancia, tiempo y regeneración en ambiente 1

En la Figura 5.6, se presenta la distribución energética de los recorridos en el ambiente 1, se puede verificar que el recorrido 1 tiene menor consumo debido a que su distancia y duración es menor a los otros recorridos, también se confirma que el recorrido 2 tiene un mayor consumo, esto debido a que tiene una mayor velocidad media y más personas a bordo, al interpretar las Figuras presentadas para el ambiente 1, sin considerar al recorrido 1, a simple vista el recorrido 3 tiene menor consumo de energía, mayor porcentaje de velocidad constante y menor porcentaje de aceleración, con lo que efectivamente se afirma que el modo de conducción es económico, en comparación con el recorrido 2, que para recorrer la misma distancia, lo hace en menos tiempo, haciendo mayor uso de aceleración, lo que resulta en un mayor consumo de energía, por lo cual se considera como un modo de conducción agresivo.

En las siguientes Figuras se presenta el comportamiento de la velocidad y la variación del estado de carga en relación con la altura para el ambiente 1.

En la Figura 5.7, la velocidad para el recorrido de la mañana el 70% está por debajo de 35 km/h, el 33% entre (35 y 55) km/h, para el caso del recorrido del medio día el 75,4% está por debajo de 35 km/h, el 16,2% entre (35 y 55) km/h, y el 8,4% mayores a 55 km/h, para el caso del recorrido de la noche el 84,5% está por debajo de 35 km/h, el 13,8% entre (35 y 55) km/h, y el 1,7% mayores a 55 km/h, con estos resultados se comprueba que efectivamente los datos pertenecen a un ambiente urbano. En el eje Distancia se observa que entre (25 y 35) km, es en donde existe mayores episodios de parada, debido a que se encuentra circulando por el centro

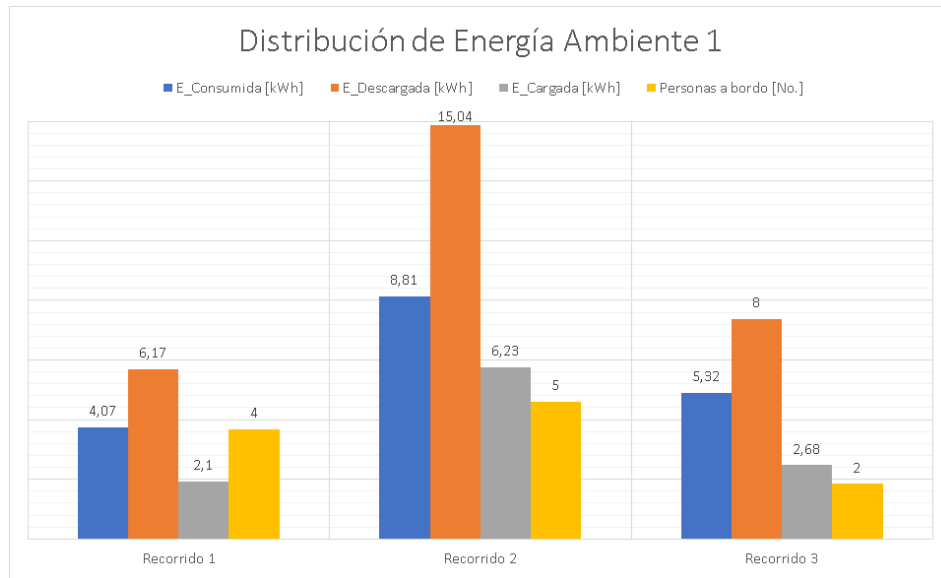


Figura 5.6: Consumo de energía en ambiente 1

histórico.

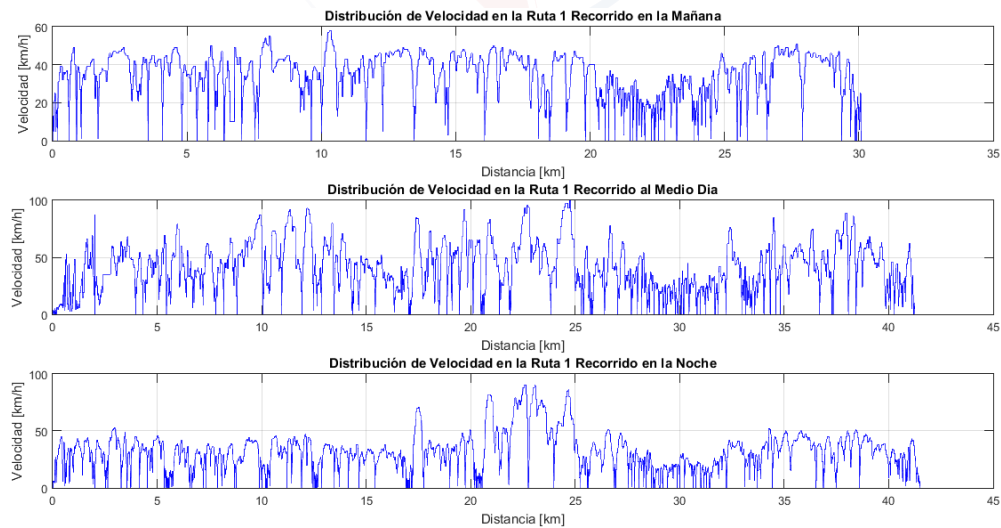


Figura 5.7: Comportamiento de la velocidad en el ambiente 1: Urbano

En la Figura 5.8, se puede observar la relación que existe entre el estado de carga y la elevación, se observa que cuando existe una pendiente ascendente, el estado de carga disminuye en mayor proporción, de manera opuesta cuando el VE tiene un recorrido con pendientes descendentes el estado de carga presenta un menor cambio, y cuando es necesario el uso del frenado se observa que el estado de carga incrementa ligeramente.

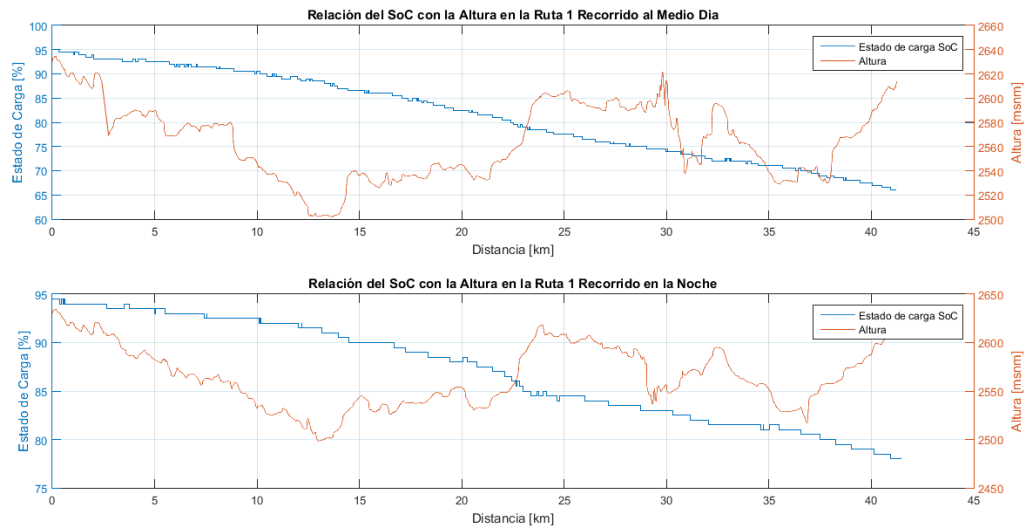


Figura 5.8: Relación estado de carga - elevación

5.5.2. Ambiente 2: Mixto/Combinado

En el ambiente 2, la distribución de la elevación está dada entre (2163 y 3064) msnm, con una media de 2563 msnm, la altura promedio para los 3 recorridos es de 889 metros. Al ser un recorrido mixto de autopista, urbana, rural y montañosa, la desviación estándar incrementa. En la Figura 5.9, se puede observar los resultados estadísticos del ambiente 2, se tiene una elevación mínima, menor a la de los demás ambientes, debido a que el cantón Gualaceo tiene una elevación promedio de 2233 msnm.

En la Figura 5.10, se puede observar que existe un alto porcentaje de inactividad del vehículo en el recorrido 3, esto debido a que ese día se encontraban rehabilitando la vía, luego de un deslizamiento de tierra causado por la lluvia, en el sector el Descanso, considerando esto, y al ver el porcentaje de inactividad de los otros recorridos se puede verificar que existe menor congestión vehicular, al tratarse de un ambiente no urbano, además se puede observar que el recorrido 3 es el que menor porcentaje de aceleración tiene, seguido del recorrido 1, que es el que mayor porcentaje de velocidad constante presenta.

En la Figura 5.11, se puede observar la variación de las temperaturas y la velocidad, el recorrido 2 al tener una mayor velocidad media tiene mayor incremento en la temperatura del motor, pero menor incremento en la temperatura de la batería, siendo el recorrido 1 con el mayor incremento en la temperatura de la batería, esto se puede dar porque existe una distancia o duración de recorrido mayor, o existe mayor número de pasajeros a bordo, lo que quiere decir que se tiene un mayor esfuerzo, tanto del motor, como del suministro de energía de las baterías.

En la Figura 5.12, se puede observar que la duración del recorrido 3 por rehabilitación de la

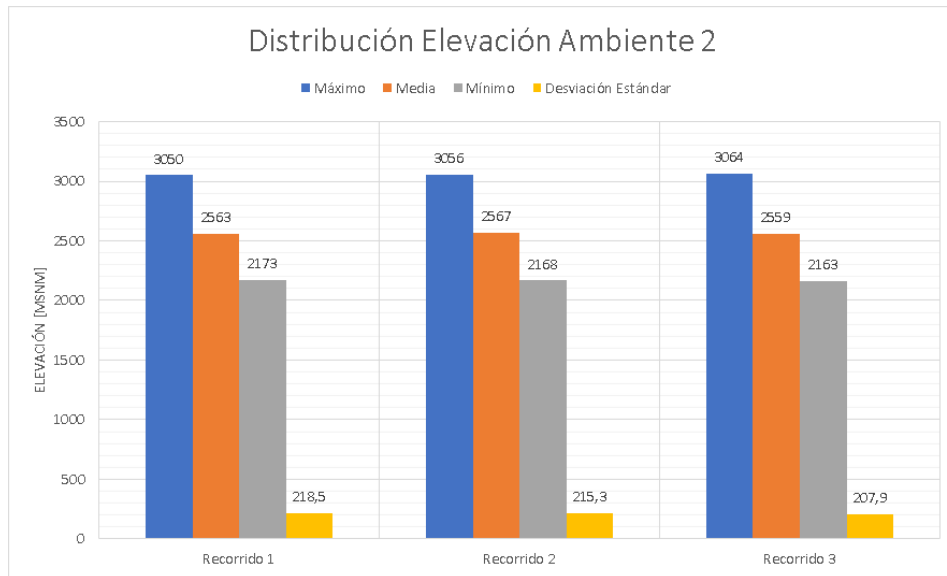


Figura 5.9: Distribución de la elevación ambiente 2

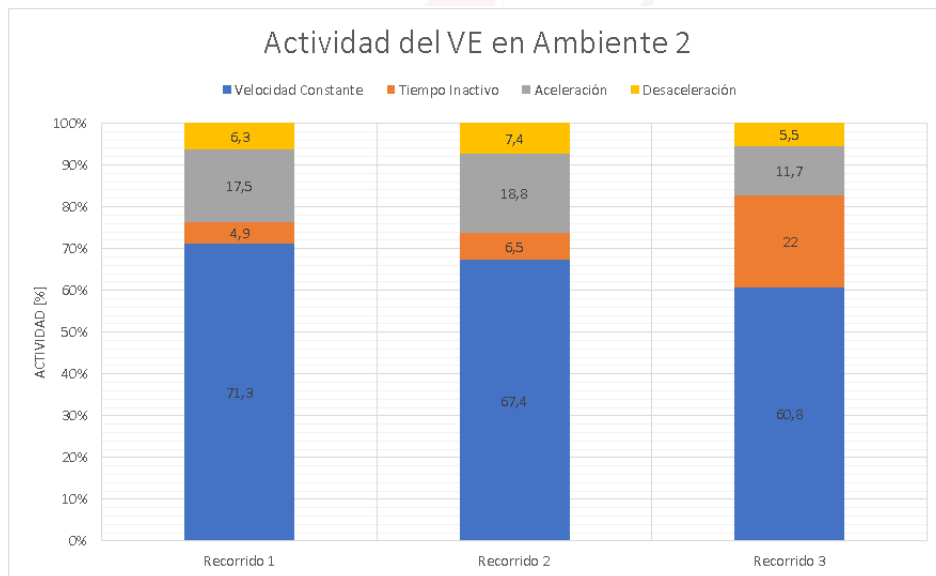


Figura 5.10: Distribución de actividad ambiente 2

vía, es mayor, las distancias son aproximadamente iguales, la diferencia se da por motivos de cierre de vías o por congestión vehicular en el retorno del recorrido, aun a pesar del percance sucedido, el recorrido 3 tiene mayor porcentaje de regeneración, debido a que, al momento de estar en la espera de la rehabilitación de la vía, también se tienen periodos de regeneración al momento de avanzar y parar, que no son considerados en el porcentaje de desaceleración, que

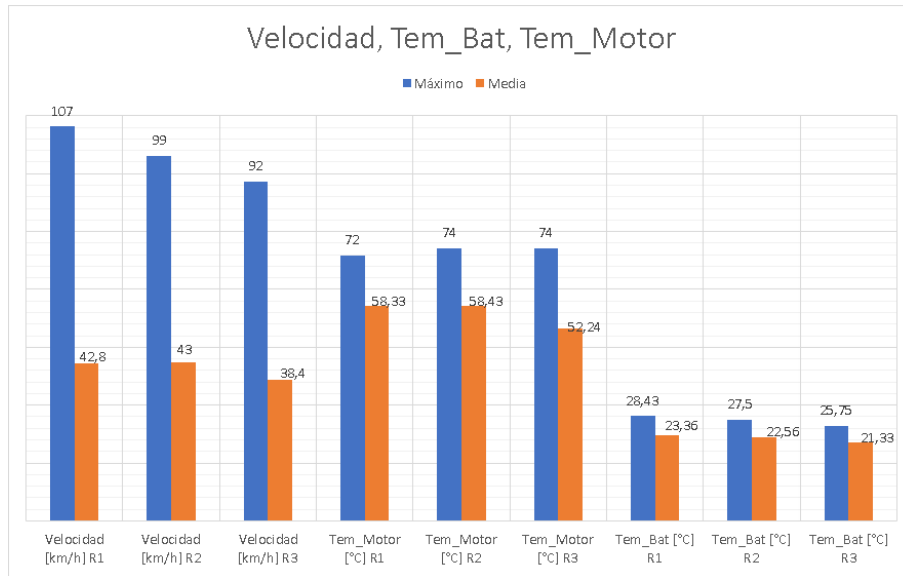


Figura 5.11: Distribución de temperatura por velocidad en ambiente 2

es menor en comparación con los otros recorridos en el ambiente 2.

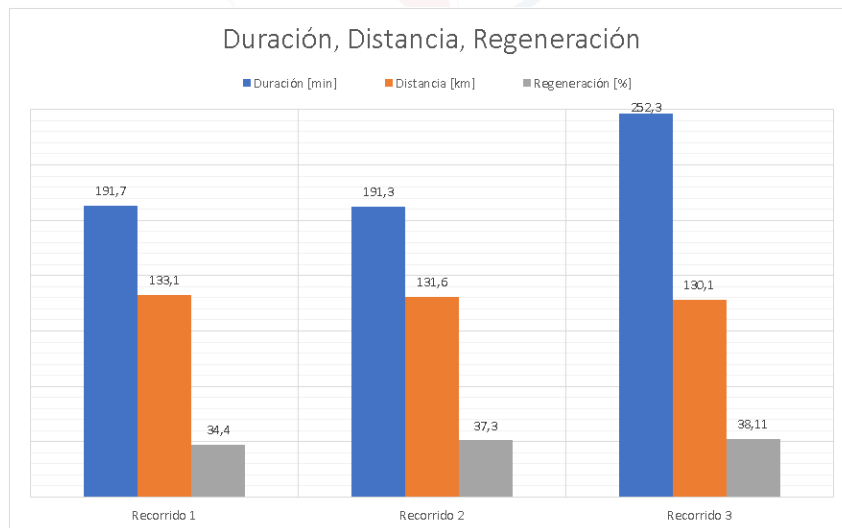


Figura 5.12: Distribución de distancia, tiempo y regeneración en ambiente 2

En la Figura 5.13, se presenta la distribución energética de los recorridos en el ambiente 2, se puede verificar que el recorrido 3 tiene menor consumo, también se confirma que el recorrido 2 tiene un mayor consumo, esto debido a que tiene una mayor velocidad media y un mayor porcentaje de aceleración, al interpretar las Figuras presentadas para el ambiente 2, se puede verificar que al utilizar en menor proporción el acelerador, lo cual disminuye la velocidad, y

mantener una velocidad constante en el recorrido, se tiene un menor consumo de energía. Al incrementar el número de personas a bordo, se estima el consumo por persona a bordo, que aproximadamente es de 1,1 kWh a lo largo del recorrido, para este ambiente.

Como estudio futuro, se podría estimar, si la conducción agresiva o el número de personas a bordo, influye en mayor proporción al consumo de energía durante el recorrido. Para ello es necesario ir incrementando el número de personas a bordo con conducción ordinaria y repetir el experimento con conducción agresiva únicamente con el conductor.

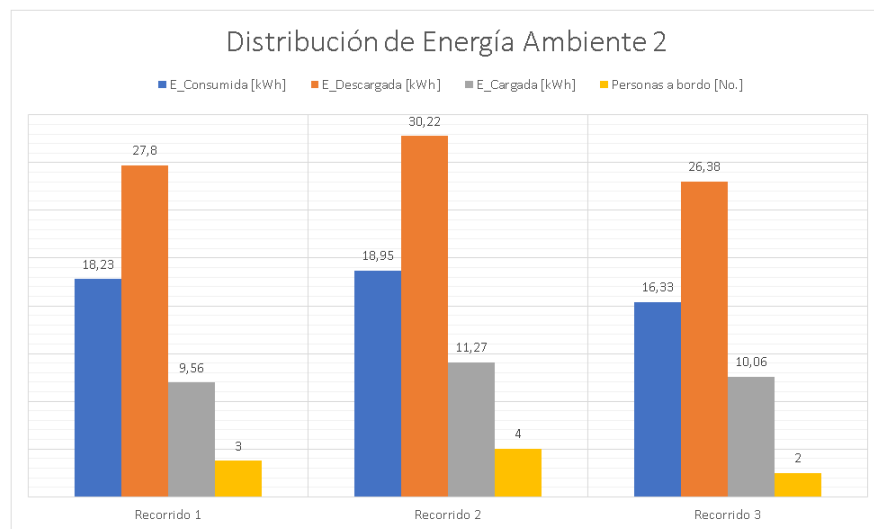


Figura 5.13: Consumo de energía en ambiente 2

En las siguientes Figuras se presenta el comportamiento de la velocidad y la variación del estado de carga en relación con la altura. para el ambiente 2.

En la Figura 5.14, se observa como la velocidad para el recorrido de la mañana el 35 % está por debajo de 35 km/h, el 43,9 % entre (35 y 55) km/h y el 21,1 % mayores a 55 km/h,, para el caso del recorrido del medio día el 38,5 % está por debajo de 35 km/h, el 36,2 % entre (35 y 55) km/h, y el 25,3 % mayores a 55 km/h, para el caso del recorrido de la noche el 49,7 % está por debajo de 35 km/h, el 39,2 % entre (35 y 55) km/h, el 11,1 % mayores a 55 km/h, con estos resultados se comprueba que efectivamente los datos pertenecen a un ambiente mixto, debido a que los datos se encuentran distribuidos casi en la misma proporción, en el caso del recorrido de la noche se tiene un mayor porcentaje para velocidades menores a 35 km/h, esto debido a que el recorrido estuvo sin movilidad aproximadamente por una hora.

En la Figura 5.15, se puede observar la relación que existe entre el estado de carga y la elevación, se verifica que cuando existe una pendiente positiva (descarga), el estado de carga disminuye en mayor proporción que cuando se tiene una pendiente negativa (regeneración).

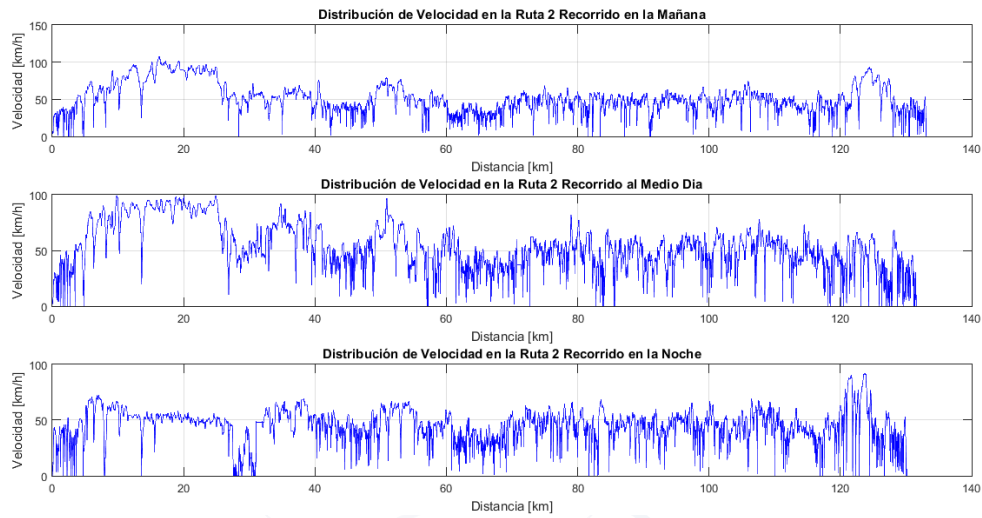


Figura 5.14: Comportamiento de la velocidad en el ambiente 2: Combinado

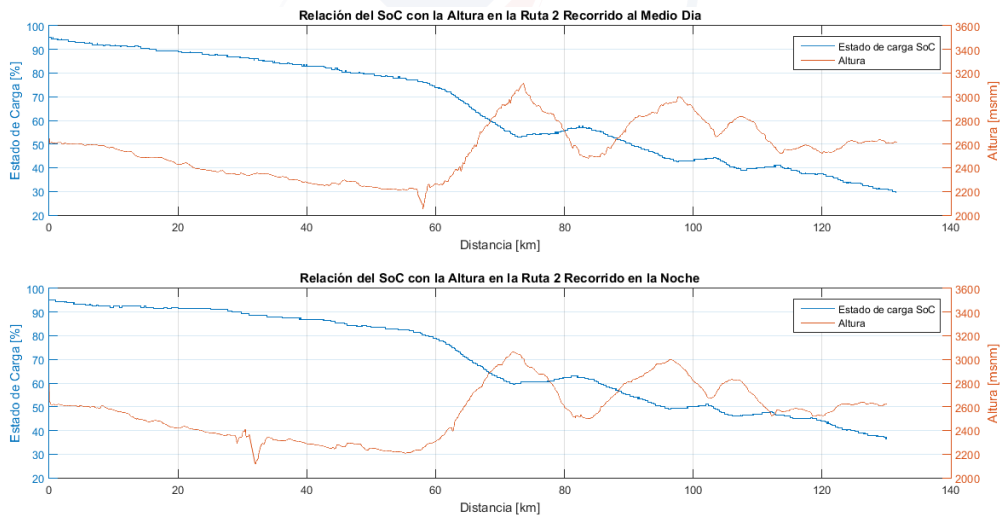


Figura 5.15: Relación estado de carga - elevación

5.5.3. Ambiente 3: Alta Velocidad

En el ambiente 3, la distribución de la elevación está dada entre (2571 y 4163) msnm, con una media de 3239 msnm, la altura promedio para los 3 recorridos es de 1585 metros. Al ser un recorrido con una gran variación en la elevación, la desviación estándar incrementa. En la Figura 5.16, se puede observar los resultados estadísticos del ambiente 3, es evidente ver que se encuentra en un ambiente donde existen pendientes con mayor elevación, en comparación con los ambientes anteriores.

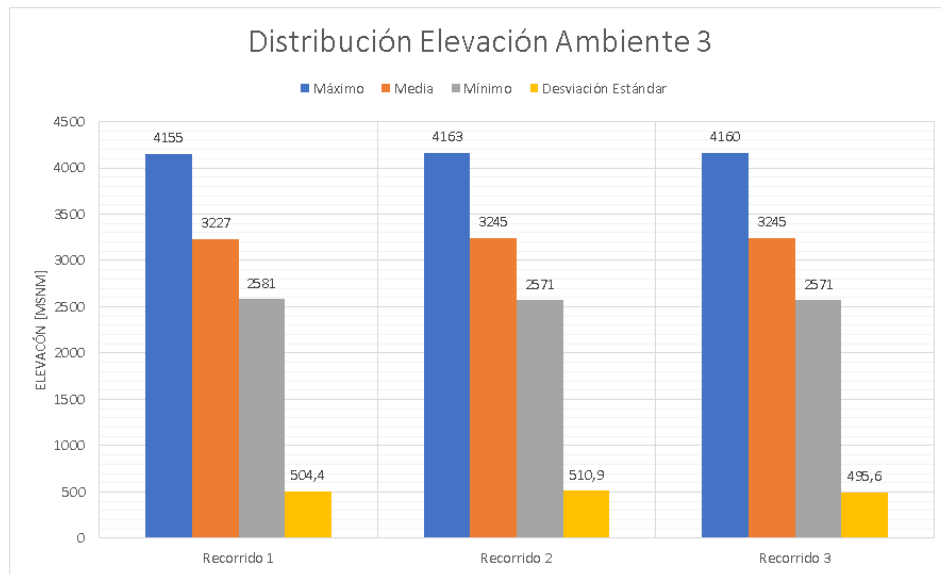


Figura 5.16: Distribución de la elevación ambiente 3

En la Figura 5.17, se puede observar que el porcentaje de inactividad es menor en comparación con los ambientes vistos anteriormente, lo que verifica que efectivamente se trata de un ambiente de alta velocidad, el porcentaje de inactividad se da debido a que antes de entrar a la vía de alta velocidad, se tiene que cruzar por un ambiente urbano, además se puede observar que el recorrido 3 mantiene un porcentaje de velocidad constante mayor y menor porcentaje de aceleración, lo que indica que tiene un modo de conducción económico, y por lo tanto un ahorro de energía, sin embargo se tiene que considerar la distancia y el número de personas a bordo.

En la Figura 5.18, se presenta la variación de las temperaturas y la velocidad, el recorrido 3 a pesar de tener una velocidad media menor, es en donde la temperatura del banco de baterías y del motor es mayor, esto se da por tener mayor distancia y existe más número de pasajeros a bordo, lo que quiere decir que se tiene un mayor esfuerzo, tanto del motor, como del suministro de energía de las baterías. En el caso del recorrido 2 se tiene una mayor velocidad máxima, dado que se hacían pruebas de aceleración y se reconocía la autonomía del VE para ese ambiente.

En la Figura 5.19, se puede observar que la distancia y duración del recorrido 3 es mayor, debido a que se iba incrementando la distancia del recorrido conforme se tenían datos de los recorridos anteriores, para este ambiente el primer recorrido realizado es el de menor distancia, al comparar los recorridos 1 y 3, se puede observar que el recorrido 3 recorre 1,9 km más, empleando 30,9 minutos más. Lo que confirma que el recorrido 3 tiene un mayor porcentaje de velocidad constante con menor velocidad media, haciendo que la duración del recorrido sea mayor.

En la Figura 5.20, se presenta la distribución energética de los recorridos en el ambiente

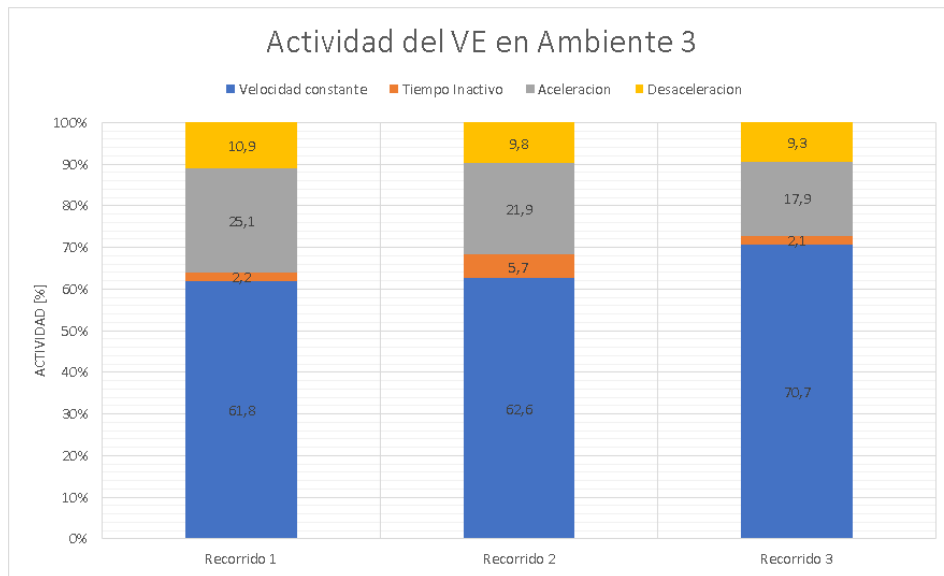


Figura 5.17: Distribución de actividad ambiente 3

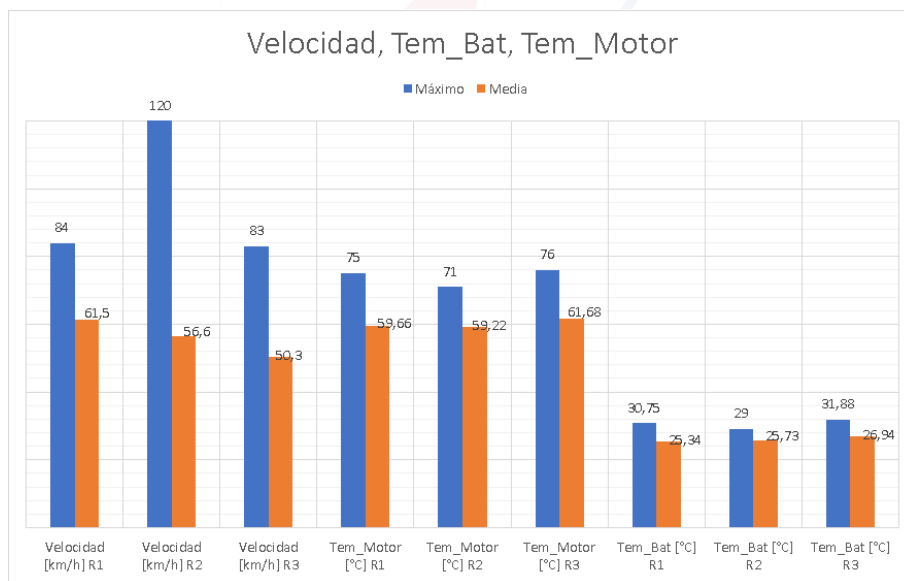


Figura 5.18: Distribución de temperatura por velocidad en ambiente 3

3, se puede verificar que el recorrido 2 tiene menor consumo, debido a que recorre menos distancia, sin embargo, los recorridos 1 y 3 recorren aproximadamente la misma distancia con una diferencia de 1,9 km, antes de considerar que recorrido consume menos energía, al igual que en los ambientes anteriores se consideran los siguientes factores: el número de personas a bordo, distancia, duración, velocidad media, velocidad constante, aceleración y la desaceleración

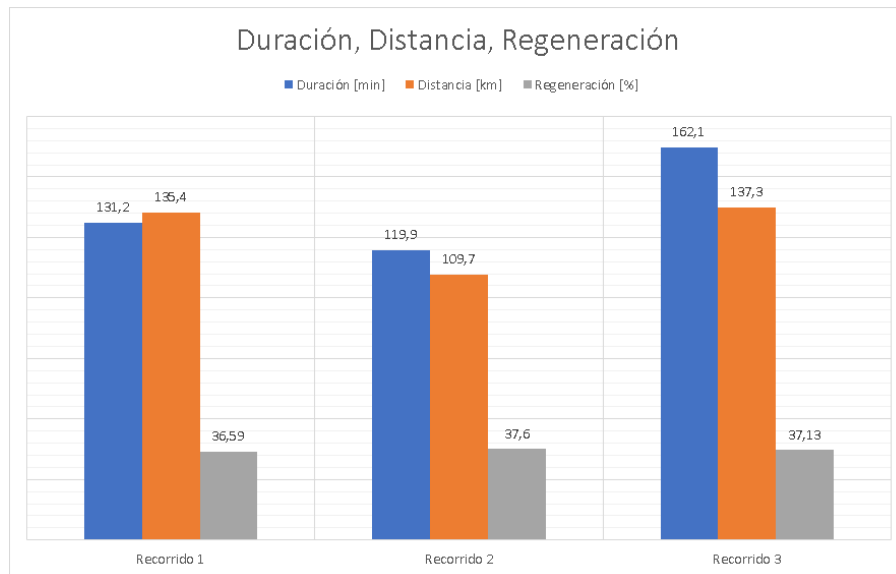


Figura 5.19: Distribución de distancia, tiempo y regeneración en ambiente 3

durante el recorrido. Se puede observar que aun a pesar de tener un modo de conducción económico, el consumo es mayor para el caso del recorrido 3, debido a que se tiene una mayor distancia y existe más número de personas a bordo. Al estimar el consumo de energía por persona a bordo, al igual que en el ambiente 2, es de 1,1 kWh.

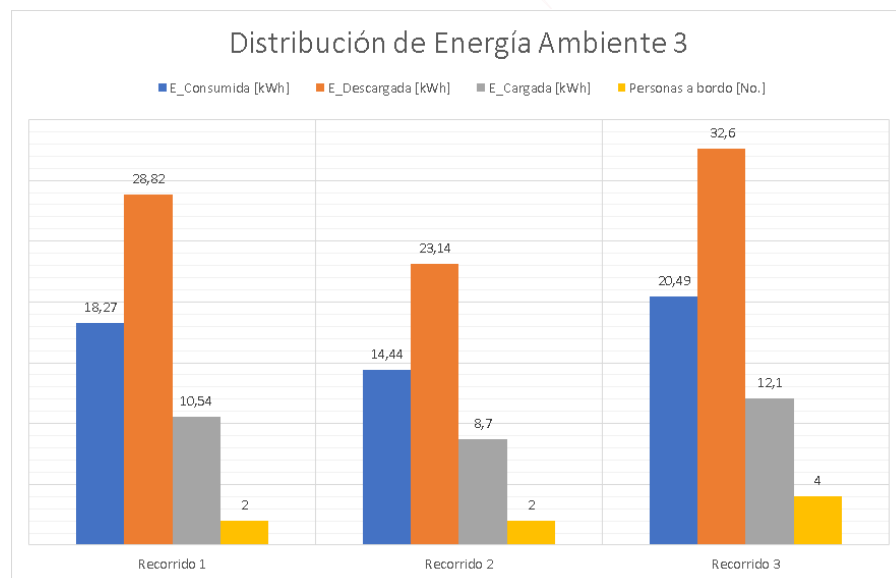


Figura 5.20: Consumo de energía en ambiente 3

En las siguientes Figuras se presenta el comportamiento de la velocidad y la variación del

estado de carga en relación con la altura para el ambiente 3.

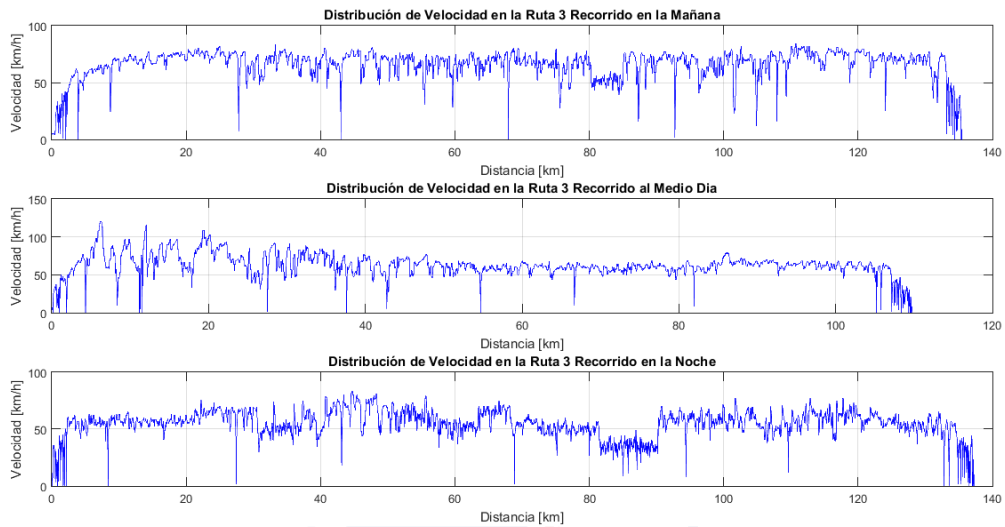


Figura 5.21: Comportamiento de la velocidad en el ambiente 3: Alta Velocidad

En la Figura 5.21, se observa como la velocidad para el recorrido de la mañana el 11,8 % está por debajo de 35 km/h, el 13,1 % entre (35 y 55) km/h y el 75,1 % mayores a 55 km/h,, para el caso del recorrido del medio día el 18,2 % está por debajo de 35 km/h, el 15,3 % entre (35 y 55) km/h, y el 66,5 % mayores a 55 km/h, para el caso del recorrido de la noche el 16,2 % está por debajo de 35 km/h, el 37,6 % entre (35 y 55) km/h, el 46,2 % mayores a 55 km/h, con estos resultados se comprueba que efectivamente los datos pertenecen a un ambiente de alta velocidad debido a que los datos se concentran sobre los 55 km/h.

En la Figura 5.22, se puede observar de mejor manera en el caso del ambiente 3 que cuando se tiene una pendiente positiva, el estado de carga disminuye considerablemente, a diferencia de cuando se tiene una pendiente negativa, el estado de carga incrementa en menor proporción que cuando se está descargando, esto debido a que el conductor se encuentra desacelerando (pisa el freno), con lo cual se tiene una regeneración de la energía. En el recorrido 3 se llegó a descargar hasta el 15,5 % del total de la batería.

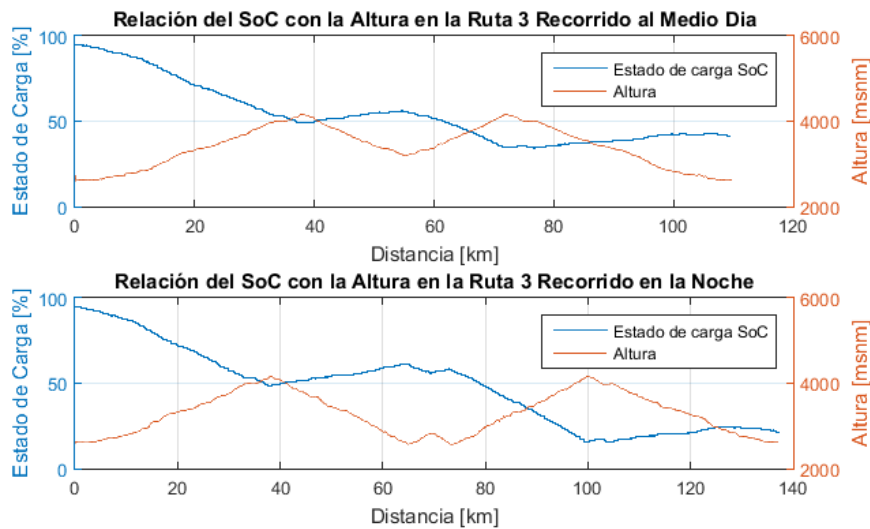


Figura 5.22: Relación estado de carga - elevación

5.6. Comparación de Ambientes

En esta sección, se presentan todos los recorridos, para comparar el rendimiento energético en los 3 ambientes. En la Figura 5.23, se puede observar en el eje vertical izquierdo el porcentaje de la actividad realizada en cada recorrido (desaceleración, aceleración, tiempo inactivo, velocidad constante) y en el eje vertical derecho las demás variables, en el eje horizontal se presentan los recorridos realizados, el primer número indica el ambiente, y el segundo el número de recorrido, por ejemplo, en el caso “1_2”, representa el ambiente 1, recorrido 2, si está acompañada de una D, es de descarga y una R de regeneración.

En el ambiente 1, existe mayor porcentaje de inactividad, pero menor porcentaje de velocidad constante y aceleración, debido a la congestión vehicular, la duración del recorrido, la distancia y velocidad media, son menores.

En el ambiente 2, es en donde existe mayor porcentaje de velocidad constante, el tiempo de inactividad es menor al del ambiente 1, pero mayor al del ambiente 3, al tratarse de un ambiente combinado en donde el tipo de carretera varía, tomando más tiempo en realizar el recorrido.

En el ambiente 3, es donde se produce la mayor cantidad de aceleración y desaceleración, con mayor velocidad media, y con una distancia mayor a la de los otros ambientes. Se da una mayor desaceleración, debido a que el ambiente cuenta con pendientes pronunciadas.

En la Figura 5.24, se presenta el comparativo de la distribución de energía, para esto se tiene que considerar el número de personas a bordo (4, 5, 2, 3, 4, 2, 2, 2, 4) distribuidas respectivamente en el eje horizontal. En el eje vertical izquierdo se presenta el uso de la energía en (kWh), y en el eje vertical derecho el porcentaje de regeneración para cada recorrido.

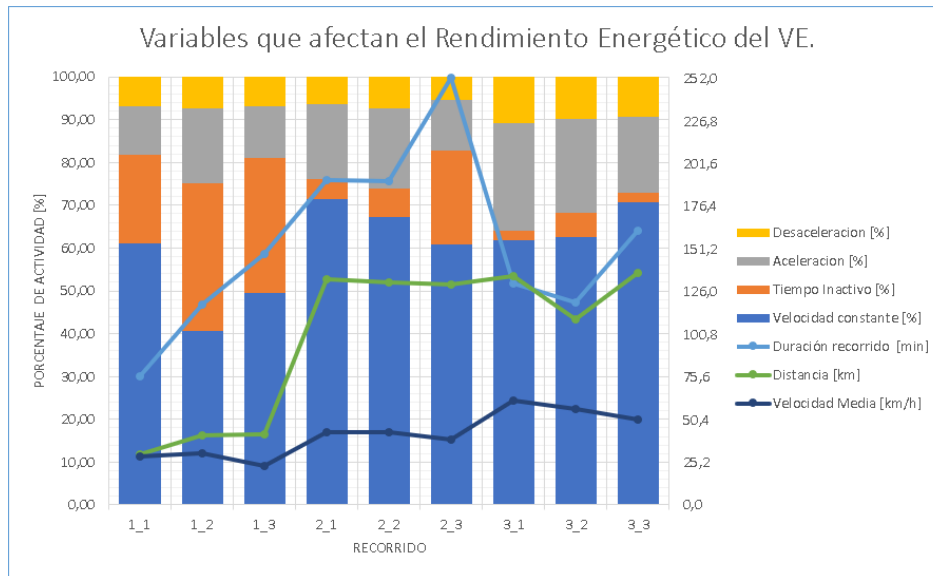


Figura 5.23: Variables que afectan el rendimiento energético del VE.

Se puede observar, que el número de personas a bordo afecta el consumo de energía, con los datos obtenidos para cada recorrido se estima que, por cada persona a bordo, aproximadamente se necesitará 1,22 kWh, en el análisis por ambientes se estimó 1,1 kWh para los ambientes 2 y 3, existe un incremento de 0,12 kwh al incluir el ambiente 1, debido a la agresividad del recorrido 2, sin embargo, sin importar la distancia, duración del recorrido, velocidad media y orografía, siempre se tiene una regeneración sobre el 33% en todos los ambientes.

Además, se presenta el consumo estimado de energía cada 100 km para cada ambiente, en promedio para el ambiente 1, es de 13,8 kWh, con una velocidad media de 27,4 km/h, para el ambiente 2, es de 14,25 kWh, con una velocidad media de 41,4 km/h, y para el ambiente 3, es de 15,8 kWh, con una velocidad media de 56,1 km/h. El recorrido 2 en el ambiente 1, presenta un consumo energético de 21,5 kWh/100km a una velocidad media de 30,3 km/h, con 5 personas a bordo, lo cual afecta considerablemente el consumo de energía promedio en el ambiente 1, a 16 kWh. Considerando los resultados por ambientes, se dijo que para el recorrido 2 del ambiente 1, se da un mayor consumo de energía debido al modo de conducción agresivo con que se realiza este recorrido.

El consumo energético promedio real cada 100 km para el ambiente 2 es de 14,5 kWh/100km, mientras que para el ambiente 3 es de 18,5 kWh/100km. En general el consumo promedio estimado es de 14,7 kWh/100km, mientras que el real es de 16,39 kWh/100km.

Ahora se presentan los resultados, en base a la velocidad que se usa en cada recorrido.

En la Figura 5.25, se presenta la distribución del tiempo de conducción por velocidad, se

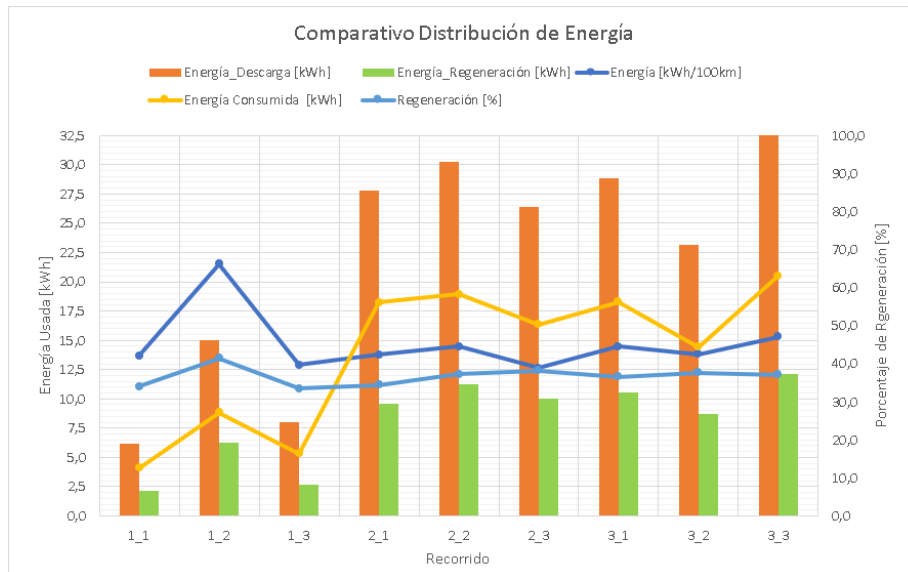


Figura 5.24: Comparativo del consumo de energía.

puede observar; para el ambiente 1, la mayor duración del recorrido se da a una velocidad entre los (20 y 30) km/h con duración total 47,8 minutos en todos los recorridos, para el ambiente 2 entre (40 y 50) km/h con duración total de 130,5 minutos, y para el ambiente 3 entre (60 y 70) km/h con duración total de 113,8 minutos, sin considerar el tiempo inactivo ($v = 0$). El tiempo total de duración para el ambiente 1 es de 343,14 minutos, para el ambiente 2 de 635,24 minutos y para el ambiente 3 de 413,16 minutos. En total en todo el estudio 23,193 horas.

En la Figura 5.26, se presenta la distribución de la distancia de conducción por velocidad, se puede observar; para el ambiente 1, la mayor distancia recorrida se da a una velocidad entre los (30 y 40) km/h con una distancia total de 27,6 km en todos los recorridos, para el ambiente 2 entre (40 y 50) km/h con 99,4 km recorridos, y para el ambiente 3 entre (60 y 70) km/h con 126 km recorridos. La distancia total recorrida para el ambiente 1 es de 112,86 km, para el ambiente 2 de 394,78 km y para el ambiente 3 de 382,43 km. En total en todo el estudio 890,1 km.

En la Figura 5.27, se presenta el consumo de energía por velocidad, se puede observar; para el ambiente 1, el mayor consumo se da a una velocidad entre los (30 y 40) km/h con un total de 4 kWh consumidos en todos los recorridos, para el ambiente 2 entre (40 y 50) km/h con un total de 12,7 kWh consumidos, y para el ambiente 3 entre (60 y 70) km/h con un total de 14,9 kWh consumidos. El consumo total para el ambiente 1 es de 18,2 kWh, para el ambiente 2 de 53,51 kWh y para el ambiente 3 de 53,21 kWh. En total en todo el estudio 124,92 kWh.

En la Figura 5.28, se presenta el consumo de energía por elevación, se puede observar; para el ambiente 1, el mayor consumo se da a una elevación entre los (2458 y 2613) msnm con un

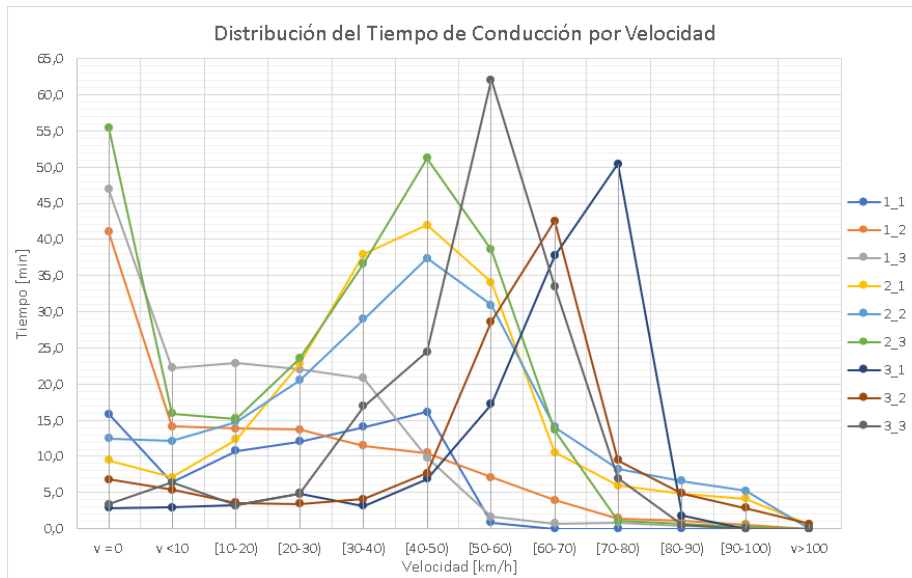


Figura 5.25: Distribución del tiempo de conducción por velocidad.

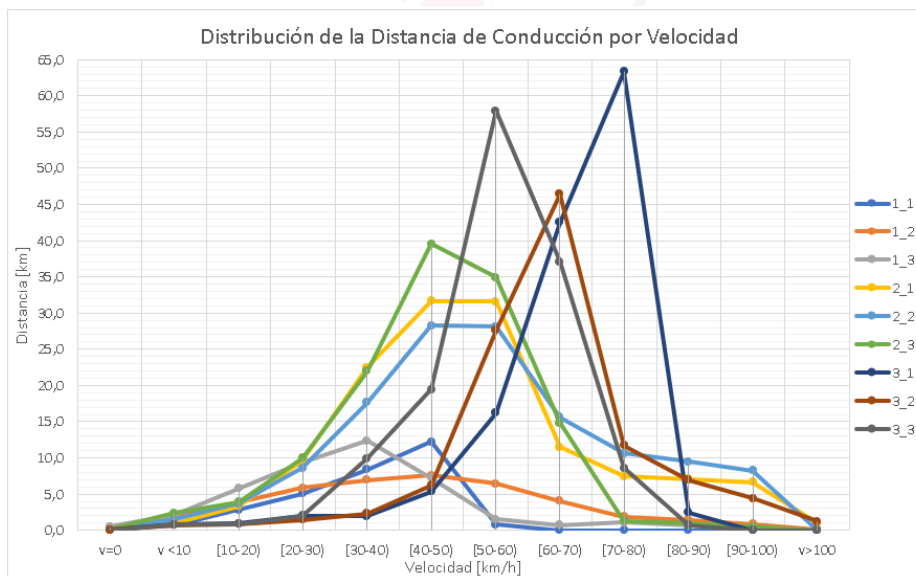


Figura 5.26: Distribución de la distancia de conducción por velocidad.

total de 15,3 kWh consumidos en todos los recorridos, para el ambiente 2 entre (2458 y 2613) msnm con un total de 4,7 kWh consumidos, y para el ambiente 3 el mayor consumo se da para una elevación superior a los 3853 msnm con un total de 9,8 kWh consumidos.

En la Figura 5.29, se presenta el rendimiento energético durante la conducción por corriente, se puede observar:

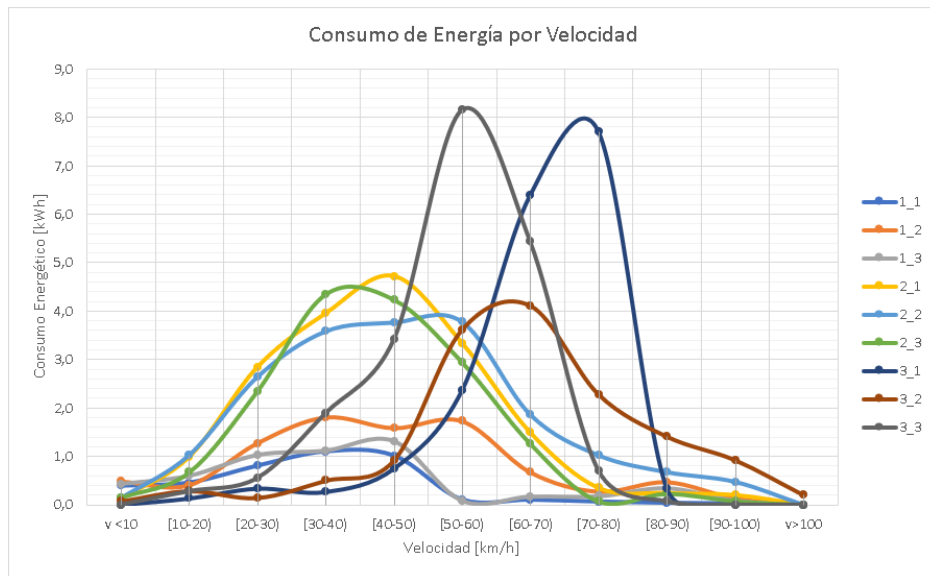


Figura 5.27: Consumo de energía por velocidad.

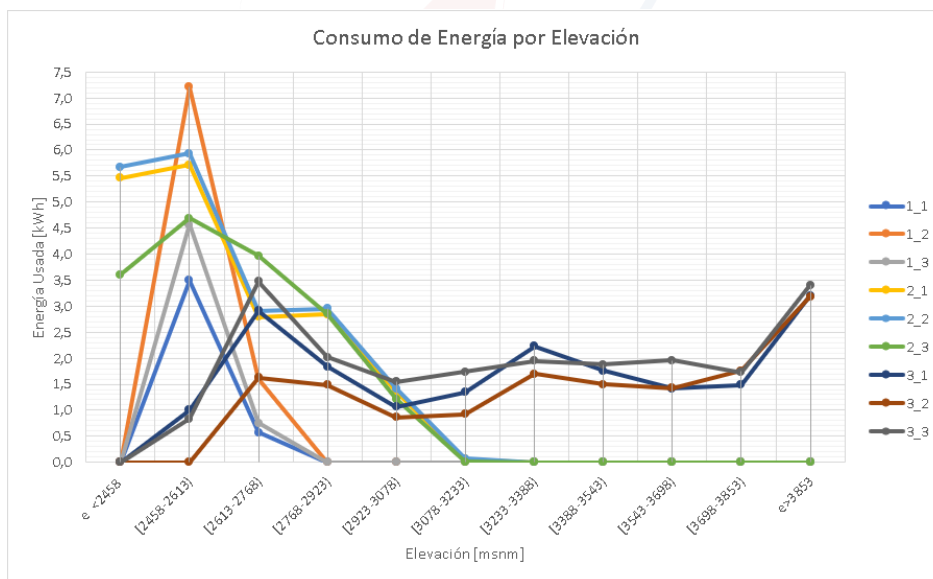


Figura 5.28: Consumo de energía por elevación.

En el caso de descarga del ambiente 1: la mayor energía usada se da a una corriente menor a 20 A, con un consumo total 8,03 kWh en todos los recorridos, para el ambiente 2: a una corriente entre (40 y 60) A, con un consumo total 23,47 kWh en todos los recorridos, y para el ambiente 3: a una corriente entre (80 y 100) A, con un consumo total 17,79 kWh en todos los recorridos.

En el caso de regeneración del ambiente 1: la mayor energía recuperada se da a una corriente menor a 20 A, con una recarga total 4,71 kWh en todos los recorridos, para el ambiente 2: a una corriente entre (20 y 40) A, con una recarga total 9,83 kWh en todos los recorridos, y para el ambiente 3: a una corriente entre (20 y 40) A, con una recarga total 19,18 kWh en todos los recorridos.

Además, se puede verificar, que el uso de corriente permite determinar el modo de conducción de cada recorrido, debido a que al momento de realizar la aceleración, demanda un mayor uso de la corriente, de este modo los recorridos “1_2” y “3_2” se representan como conducción agresiva, los recorridos “1_3”, “2_2”, “2_3” y “3_1” como conducción ordinaria, y “1_1”, “2_1” y “3_3” como conducción económica. Esto se deduce al sincronizar la variable del porcentaje que pisa el acelerador con la corriente que demanda.

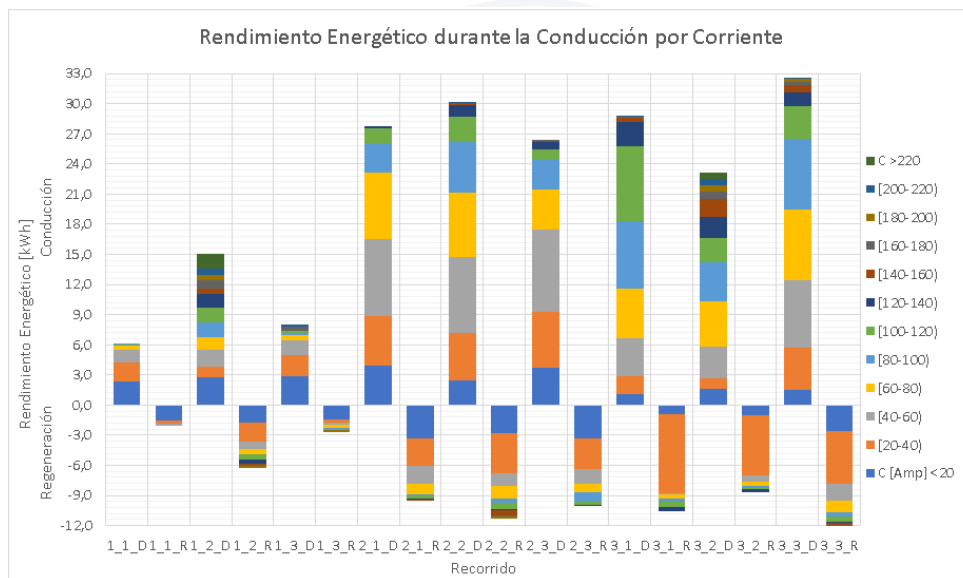


Figura 5.29: Rendimiento energético durante la conducción por corriente.

Adicionalmente, se analiza el rendimiento energético por aceleración, lo cual verifica lo mencionado en el análisis de la Figura 5.29, esto se observa en la Figura 5.30. El proceso de regeneración, se da en los tres modos de conducción mencionados anteriormente, aproximadamente en igual porcentaje, sin embargo, en el modo agresivo, se da en mayor porcentaje.

Ahora se analiza la eficiencia energética entre el banco de baterías y el motor. En la Figura 5.31, se presenta la distribución de energía, se puede observar la energía a la salida del banco de baterías, la energía mecánica a la salida del motor, las pérdidas de conversión que se presentan entre la batería y el motor, en el proceso de descarga. Del mismo modo en el proceso de regeneración, la energía que ingresa al motor, la energía que ingresa al banco de baterías y las pérdidas entre el motor y la batería, como se presentó en la Figura 4.8. Al comparar las pérdidas

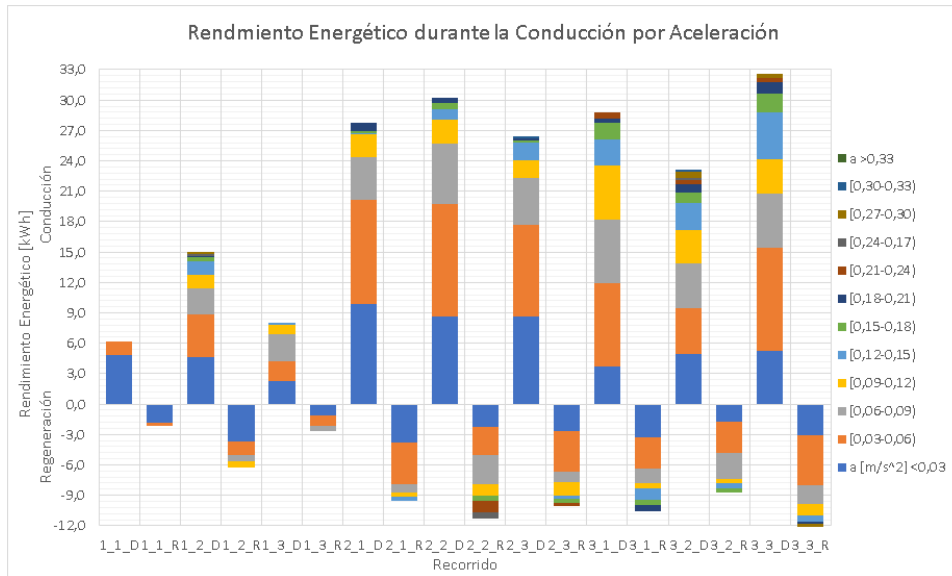


Figura 5.30: Rendimiento energético durante la conducción por aceleración.

entre el proceso de descarga y regeneración en el ambiente 1, existe 18,4% más pérdidas en el proceso de descarga, al igual que en el ambiente 2, con 1,46%, a diferencia del ambiente 3, que existe 12,63% más pérdidas en el proceso de regeneración, en el ambiente 2 es en donde más pérdidas se presentan, seguido del ambiente 3. En promedio las pérdidas entre la batería y el motor, en el proceso de descarga es de 9,5% y en regeneración es de 19%.

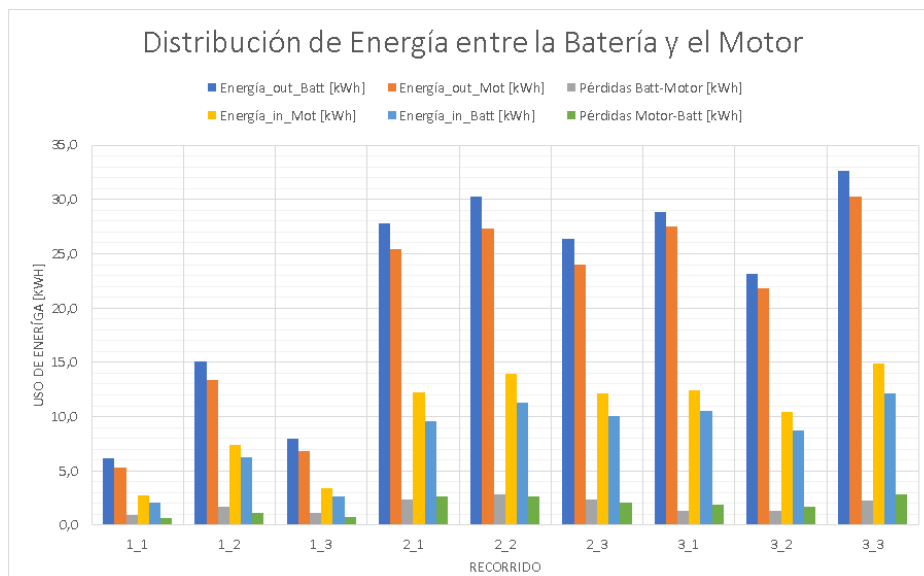


Figura 5.31: Distribución de energía entre la batería y el motor.

En la Figura 5.32, se presenta la eficiencia energética entre la batería y el motor para el proceso de descarga, la eficiencia entre el motor y la batería en el proceso de regeneración, de acuerdo a la ecuación (4.6), y el rendimiento energético o regeneración de acuerdo a la ecuación (4.5).

La eficiencia promedio entre la batería y el motor en el proceso de descarga para el ambiente 1, es de 86,7 %, para el ambiente 2 de 91 %, y para el ambiente 3 de 94,2 %.

La eficiencia promedio entre el motor y la batería en el proceso de regeneración para el ambiente 1, es de 79,4 %, para el ambiente 2 de 80,7 %, y para el ambiente 3 de 83,1 %. El rendimiento energético o regeneración promedio para el ambiente 1, es de 36,3 %, para el ambiente 2 de 36,6 %, y para el ambiente 3 de 37,1 %.

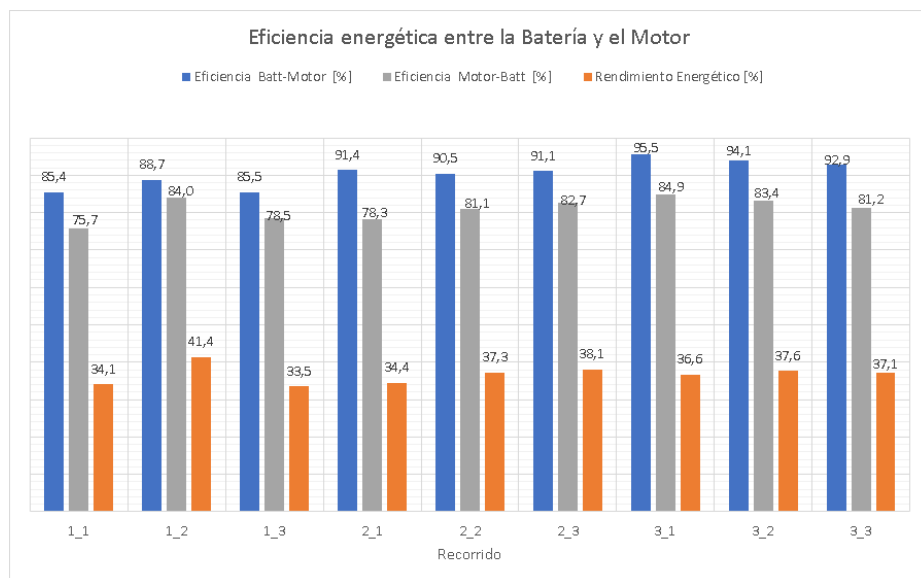


Figura 5.32: Eficiencia energética entre la batería y el motor.

En la Figura 5.33, se puede observar la distribución del consumo de energía por km recorrido, se consideran los recorridos de los ambientes con mayor consumo de energía. En el caso del ambiente 1, el consumo es mayor en comparación con el ambiente 2 en los primeros 40 km, debido a que, en la misma distancia recorrida, la velocidad a la que transita es superior a la del ambiente 2, además de que tiene 5 personas a bordo, a diferencia del ambiente 2 que tiene 4.

Para finalizar la comparación de ambientes, En la Figura 5.34, se presenta el consumo promedio de energía por velocidad. Es claramente visible verificar el ambiente en donde se realiza el recorrido, a partir de la velocidad en donde se consume en mayor proporción la energía. Para el ambiente 1, el mayor consumo se da a velocidades entre de (30 y 40) km/h, para el ambiente 2, entre (40 y 50) km/h, y para el ambiente 3, entre (60 y 70) km/h.

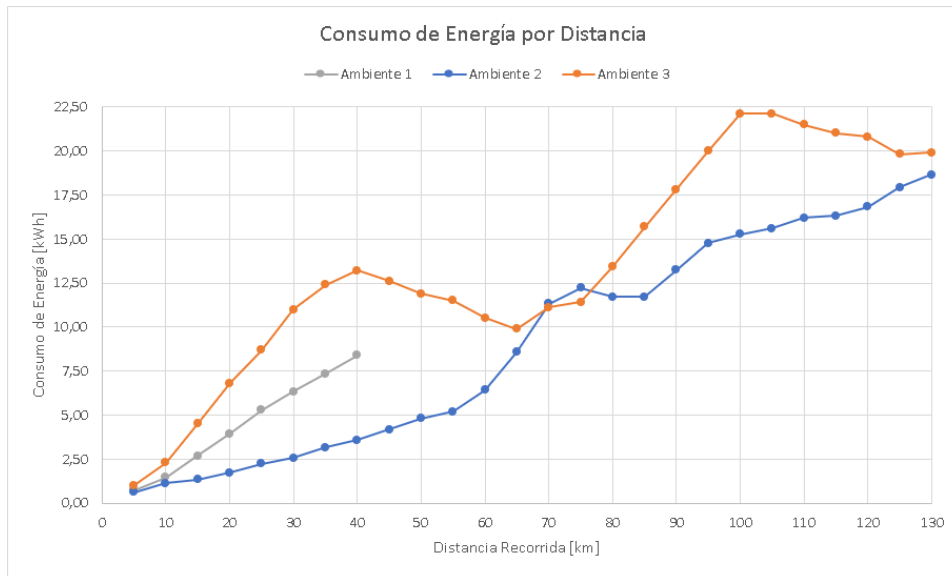


Figura 5.33: Consumo de energía por km recorrido.

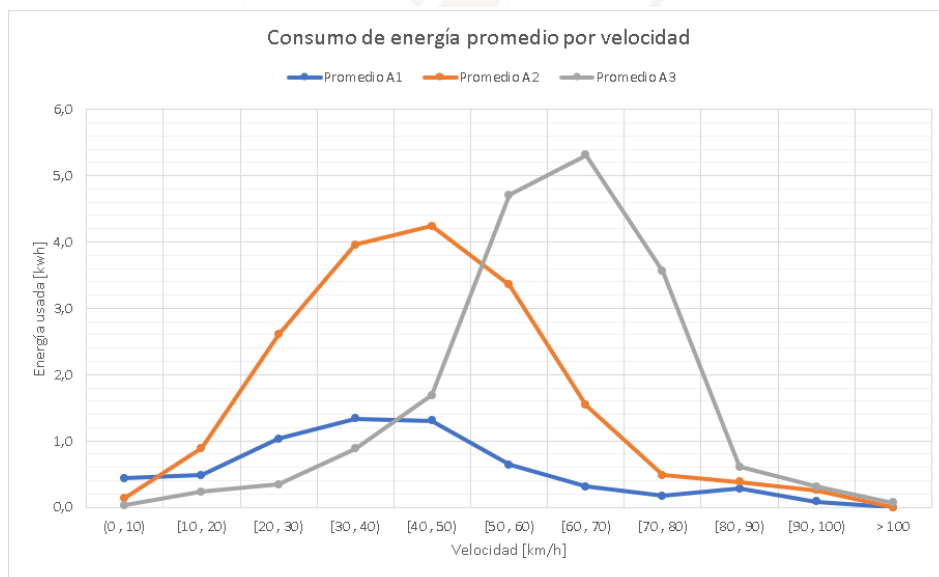


Figura 5.34: Consumo promedio de energía por velocidad.

5.7. Comparación Especificaciones Técnicas vs Conducción en Ambiente Real

Estado de carga

Tomando en consideración la ventana de Estado de Carga presentado en la sección 4,6,3 Figura 4.9. En la Figura 5.35, se puede ver que para el caso del ambiente 3 en el recorrido 3 es donde se llegó a un SoC del 15,5% en el cual se dio el mayor consumo. Se observa que la ventana se encuentra entre el (15 y 90)%, lo que se recomienda para cuidar la vida útil del banco de baterías.

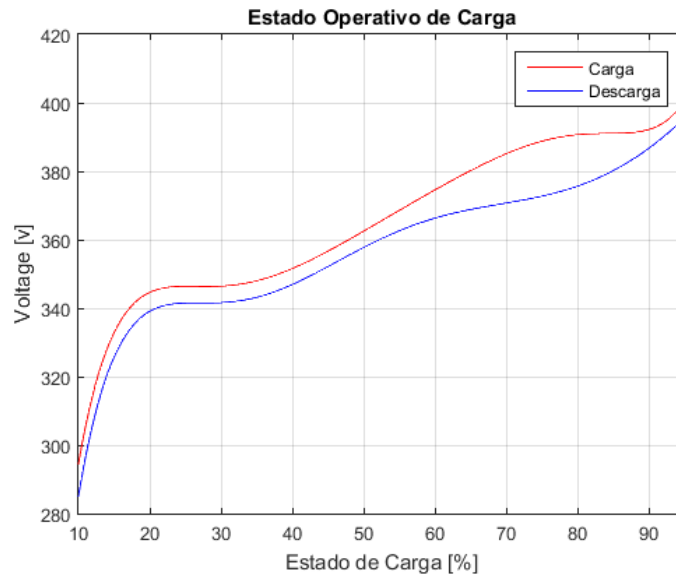


Figura 5.35: Estado operativo de carga - vs - voltaje.

Un aspecto importante a tomar en consideración, es la autonomía presentada en las especificaciones técnicas del VE, en la Figura 5.36, se presenta la comparación entre la autonomía que especifica el fabricante y la analizada en este estudio, los resultados presentados, son específicamente válidos para la ciudad de Cuenca en los recorridos considerados.

Se puede observar como en los 3 ambientes los resultados estimados son superiores a los especificados por el fabricante, a diferencia de los resultados reales, que para los ambientes 1 y 2 son menores, esto debido a los factores, como la velocidad, aceleración, número de personas a bordo, elevación, y modo de conducción con los que se realice el estudio. Para la estimación del consumo y la autonomía, se calcula la cantidad de energía utilizada cada 10 km, se promedia este valor en cada recorrido, y se multiplica por 10, para conocer el consumo cada 100 km.

También se considera el tiempo que le toma al vehículo en acelerar para alcanzar cierta velocidad, como se puede observar en la Figura 5.37, el tiempo requerido está por debajo del especificado por el fabricante. Que para alcanzar una velocidad de 96,56 km/h equivalente a 60mph, es de 11,2 s. Además, se presenta la potencia DC requerida para alcanzar las velocidades especificadas.

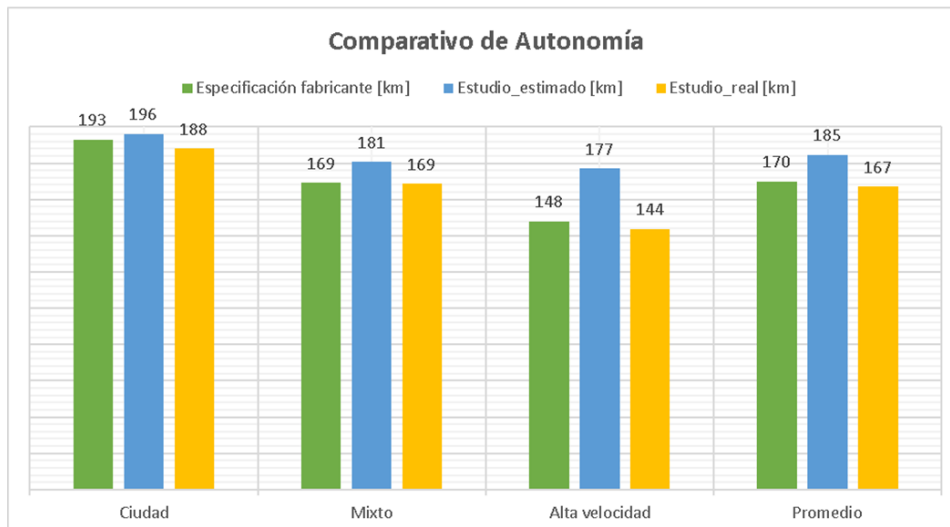


Figura 5.36: Comparación de autonomía.

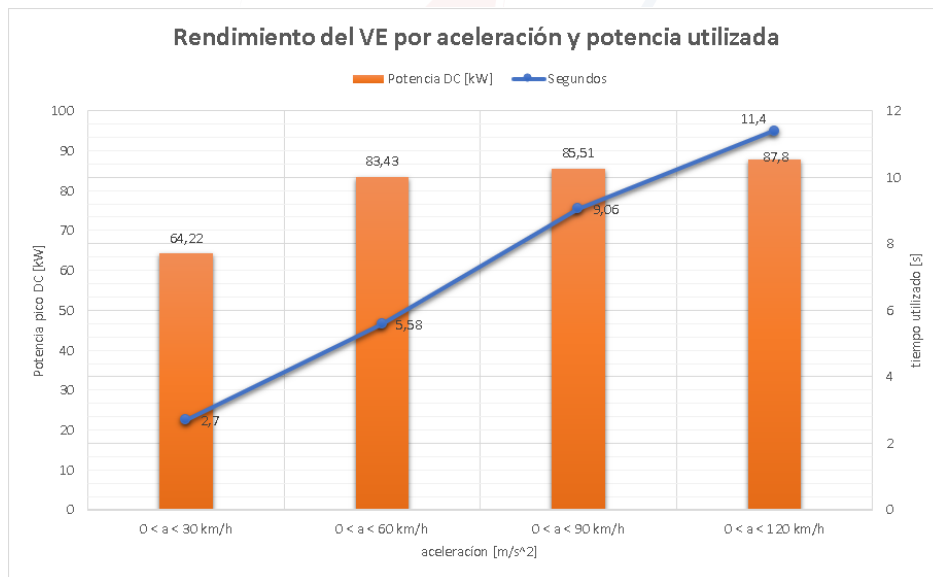


Figura 5.37: Rendimiento del VE. por aceleración y potencia DC utilizada.

5.8. Conclusiones

El análisis de la matriz de correlación para seleccionar las variables de interés para el estudio, es de vital importancia, ya que ayuda a identificar las variables que se relacionan con el consumo de energía, y poder descartar las variables que se pueden registrar, pero no aportan información



para el estudio.

Al detallar los resultados luego del análisis por ambientes, se puede evidenciar claramente el tipo de ambiente en el que se está desarrollando el estudio, dado la elevación y el porcentaje de inactividad durante el recorrido.

Es evidente ver como incrementa las temperaturas tanto del banco de baterías como del motor, al incrementar la velocidad del VE, en el recorrido, además esto se ve claramente en el ambiente 3, en donde se necesita mayor esfuerzo para subir una elevación promedio de 3239 msnm.

Los comportamientos de velocidad presentados de igual manera ayudan a verificar, el tipo de ambiente en el cual se desarrolla el recorrido, en el caso del ambiente 1, es evidente ver como este se afectado por la congestión vehicular.

En la comparación de ambientes, se verifico que el consumo de energía se ve afectado por la distancia, duración, orografía, aceleración y desaceleración, velocidad, número de personas a bordo, que se llevan a cabo durante el recorrido.

Es importante mencionar que aun a pesar de que la energía se ve afectada por los factores mencionados anteriormente, durante todos los recorridos en todos los ambientes, la regeneración de la energía supera el 33 % del total de la energía descargada, el mismo que es un indicador del rendimiento energético del VE en el recorrido.

Se puede evidenciar, como el rendimiento energético entre el banco de baterías y el motor eléctrico, supera el 85 %, superando por mucho a los vehículos de combustión interna.

Adicionalmente es evidente ver, como el consumo de energía, está distribuida por la velocidad a la que se realice el recorrido, lo cual también es un identificador, para conocer el ambiente en donde se desarrolla el recorrido.



Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones



En este capítulo se describe las conclusiones que se obtuvieron al realizar el estudio del rendimiento energético de un VE en la ciudad de Cuenca, de acuerdo a los objetivos presentados en el Capítulo 1. Así mismo se dará algunas recomendaciones y sugerencias de trabajos futuros de acuerdo al desarrollo de ésta investigación.

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



6.1. Conclusiones

Al inicio de este proyecto, se estudió los conceptos y temas relacionados con el área referente a ésta investigación. A continuación, se presentan las conclusiones en cada etapa del proyecto.

De acuerdo a los objetivos planteados en el capítulo 1 que consiste en determinar las variables eléctricas con el fin de estimar el consumo energético, primero se recopiló información de trabajos relacionados, para analizar las variables que afectan el rendimiento energético del VE. Estos trabajos demostraron, que tanto las variables eléctricas como las mecánicas, juegan un papel importante al momento de estimar el consumo energético. Además de servir de base para tener conocimientos sólidos sobre los posibles problemas y consideraciones que se deberían tomar en cuenta para realizar el estudio.

A partir del análisis de los trabajos presentados en el capítulo 3, se recopila información del vehículo de prueba y se plantea una metodología para la recopilación de datos, haciendo uso del Bus CAN del VE, mediante la conexión del puerto OBD2 y el escáner ELM327, que se comunica con la aplicación Torque pro, instalada en un smartphone, que almacena los archivos de cada recorrido. La configuración de los dispositivos y los códigos PID, para registrar las variables se detallan en el apéndice A.

Una vez configurado los dispositivos, las mediciones realizadas previamente y el análisis de la matriz de correlación, ayudan a determinar de manera más precisa las variables relacionadas con el consumo energético durante los recorridos, lo cual permite estimar el rendimiento o eficiencia energética, para compararla con las especificaciones que da el fabricante.

Los resultados presentados, muestran claramente como sin necesidad de verificar en donde se realice el recorrido, se puede identificar el ambiente en el que se lo realiza a partir de la elevación, tiempo de inactividad, y consumo de energía que se tiene en el recorrido.

Se verifica que el consumo de energía se ve afectado por la distancia, duración, orografía, aceleración y desaceleración, velocidad y número de personas a bordo, que se llevan a cabo durante el recorrido. Aun a pesar de que la energía está afectada por estos factores, durante todos los recorridos en todos los ambientes, la regeneración de la energía supera el 33% del total de la energía descargada, el mismo que es un indicador del rendimiento energético del VE en el recorrido. Además, se puede evidenciar, como el rendimiento energético entre el banco de baterías y el motor eléctrico, supera el 85%, superando por mucho a los vehículos de combustión interna.

En los resultados obtenidos del consumo de energía por velocidad en la Figura 5.27, de acuerdo al modo de conducción económico, se tiene una mayor eficiencia al conducir en el ambiente 1, a velocidades entre (30 y 40) km/h, para el ambiente 2, a velocidades entre (40 y 50) km/h, y para el ambiente 3, a velocidades entre (60 y 70) km/h. Esto permite obtener un ahorro en el consumo de energía, y por ende optimizar la eficiencia energética en el sector



transporte.

En los resultados presentados en la Figura 5.33, se tiene un consumo promedio de 1,68 kWh/10km, considerando una conducción agresiva y 4 personas a bordo, y en promedio 1,639 kWh/10km. Con estos resultados se obtiene una autonomía 167 km, resultados que son válidos para los ambientes en los que se desarrolla el estudio. Además, se estimó el consumo promedio por persona a bordo, que está alrededor de 1,22 kWh.

En relación con la Figura 2.6, al estimar los costos de energía cada 100 km, se tiene un ahorro del 55.25 %.

6.2. Recomendaciones

Antes de cargar los archivos que contienen los códigos PID en el smartphone, verificar que las fórmulas de las variables sean coherentes, para no registrar variables que no estén dentro del argot técnico, lo cual facilita en gran manera el análisis de los resultados.

Si se utiliza un smartphone para el registro de datos, antes de iniciar el registro, se debe de asegurar que este encendido la opción de ubicación del smartphone, ya que, si no lo está, no se tendrán registros del GPS, y posiblemente existan datos de ubicación nulos.

Con el avance del desarrollo de las aplicaciones móviles, es importante verificar si existe alguna que ayude a registrar los datos a una mayor frecuencia, lo que nos ayuda a tener menos errores al momento de calcular la energía que se consume a lo largo del recorrido.

Sería necesario conformar un grupo de trabajo para continuar con ésta investigación, ya que es necesario comprobar más dispositivos registradores de datos disponibles en el mercado, que ayuden a estimar con mayor precisión los datos. Además, se pueden seguir evaluando más recorridos, con diferentes velocidades, en diferentes horas del día, con repeticiones donde se vaya incrementando el número de personas a bordo, en las calles de mayor afluencia en la ciudad de Cuenca, para reconocer las vías de mayor preferencia por los usuarios, y de acuerdo al consumo energético en cada ruta, proponer la ubicación para la implementación de electro-líneas.

6.3. Trabajos Futuros

Como consecuencia de este proyecto de tesis se generan posibles trabajos en relación a la evaluación de vehículos eléctricos. A continuación, se indican algunos temas:

- Identificar las ubicaciones en donde se pueda instalar la infraestructura necesaria para la carga de VE, a partir del consumo energético en cada parroquia de la Ciudad de Cuenca.



- Comparar el rendimiento energético, de varios modelos de vehículos eléctricos en la Ciudad de Cuenca, para recomendar el de menor consumo.
- Realizar este estudio para vehículos que presenten tiempo de usos considerados ya que el presente estudio fue realizado con un vehículo, con 1800 km de recorrido.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

A large, faint, stylized logo consisting of a light blue circle with a red and blue abstract shape inside. The word "Anexos" is written in a bold, black serif font across the center of the logo.

Anexos

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

Apéndice A

Configuración de Dispositivos

A continuación, se detallan los pasos para la configuración de los PID en la aplicación Torque pro, la conexión del escáner LM237 con el puerto OBD2, el emparejamiento del escáner con el smartphone y el proceso para el registro de datos.

A.1. Pasos de Configuración

Obtención de códigos PID

Antes de realizar la configuración de los dispositivos, lo primero que se debe de realizar es descargarse los códigos PID¹, para el modelo del vehículo que se vaya a evaluar, en este caso al Kia Soul EV. Estos códigos son principalmente para usar con Torque Pro, que se ejecuta en teléfonos y tabletas Android. El método para ingresar los códigos PID al teléfono puede hacerse manualmente, o a través del complemento, HKMC-EV-Torque-Plugin.

Torque Pro

Torque es una aplicación para tabletas y teléfonos inteligentes Android que interactúa con dispositivos habilitados para OBD2 (a través de bluetooth o USB) y proporciona retroalimentación visual en forma de medidores y lecturas digitales de los diversos parámetros y valores proporcionados. Existen dos aplicaciones de Torque la gratuita y de pago, en este caso se usa la de pago porque permite hacer uso de todas sus herramientas, el costo de la aplicación es de \$4.07. Torque se usa normalmente con los autos ICE, pero al agregar nuevos parámetros se puede usar en el Soul EV. La ventaja es que es realmente flexible en gráficos y visualización de datos.

El BMS es el sistema de gestión de la batería. Cuando se hace una solicitud, este genera

¹<https://github.com/JejuSoul/OBD-PIDs-for-HKMC-EVs>



datos de la batería a la interfaz OBD2.

Una vez descargado el archivo, se descomprime y se verifica que en la carpeta extendedpids, estén los siguientes archivos que contienen:

- *Kia_Soul_EV_BMS_cell_data* : - Los 96 voltajes de la batería de alto voltaje.
- *Kia_Soul_EV_BMS_data.csv* : - Datos de la batería de alto voltaje.
- *Kia_Soul_EV_Extraauges.csv* : - Valores adicionales calculados a partir de los datos PID.
- *Kia_Soul_EV_LDC_data.csv* : - Datos del convertidor DC-DC de baja tensión.
- *Kia_Soul_EV_OBC2015_data.csv* : - Datos del cargador a bordo para MY2015 y automóviles anteriores.
- *Kia_Soul_EV_OBC2016_data.csv* : - Datos del Cargador a Bordo para vehículos MY2016 y posteriores.
- *Kia_Soul_EV_TPMS_data.csv* : - Datos de presión de los neumáticos.
- *Kia_Soul_EV_VIN_data.csv* : - Datos del número de identificación del vehículo.
- *Kia_Soul_EV_VMCU_data.csv* : - Datos del sistema de control del motor del vehículo.

Cabe destacar, que no todos los códigos están en funcionamiento, y es por eso que hay q realizar pruebas para conocer cuáles de todos los códigos funciona.

Torque en su versión de pago, proporciona un método para la carga masiva de múltiples PID en la memoria al leerlos desde un archivo, los archivos mencionados anteriormente en formato “.CSV”, deben de estar en la raíz de la aplicación Torque pro, para poder leerlos.

A continuacion se detalla el proceso para cargar los archivos en Torque pro:

- Hay que Instalar una aplicación para administración de archivos en el smartphone (normalmente se usa Astro File Manager o **Ghost Commander**).
- Abra el Administrador de archivos y navegue hasta la carpeta Inicio Torque. (comúnmente esto es “/mnt/sdcard/.torque” O “/.torque”).
- Copie los archivos descargados, mencionados anteriormente en formato “.CSV”, en la carpeta “extendedpids” (si no encuentra la carpeta, hay que crearla).
- Salga del administrador de archivos e inicie Torque pro.
- Vaya a “Configuración” y luego desplácese hacia abajo hasta “Administrar PIDs / Sensores adicionales”
- Presione el botón Menú en el dispositivo (se ve tres puntos en vertical) y luego presione “Agregar conjunto predefinido”
- Seleccione “ *Kia_Soul_EV_BMS_data*” para agregarlos como una lista PID predefinida.
- Regrese a la pantalla principal de Torque presionando el botón Atrás (flecha hacia atrás) varias veces.

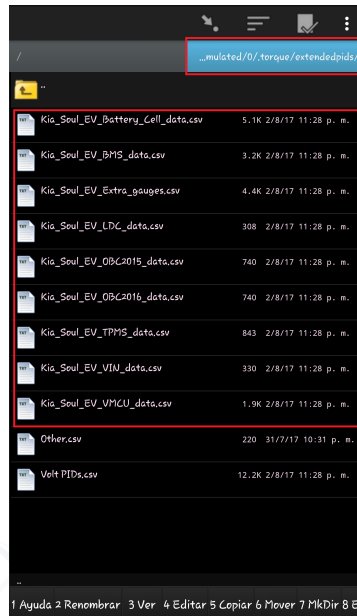


Figura A.1: Carpeta para copiar los archivos con los códigos PID

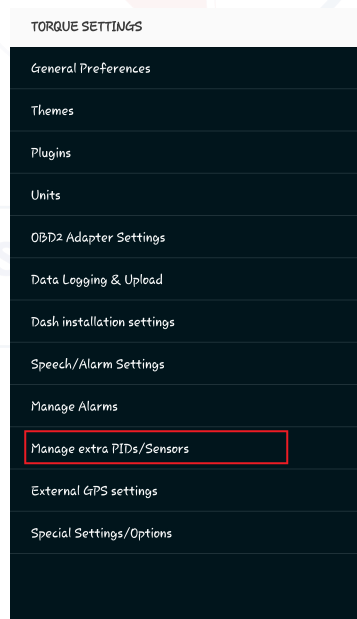


Figura A.2: Ventana para agregar los códigos PID en Torque pro

- Presione el botón “Información en tiempo real” en la pantalla principal para ir a la pantalla de indicadores.
- Mantenga presionada cualquier área de la pantalla para que aparezca una lista de opciones

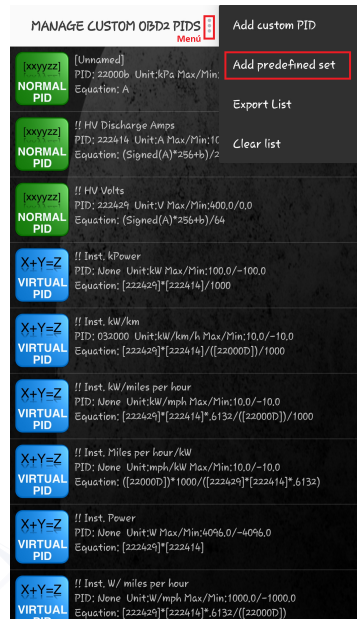


Figura A.3: Ventana para agregar conjunto de archivos en Torque pro

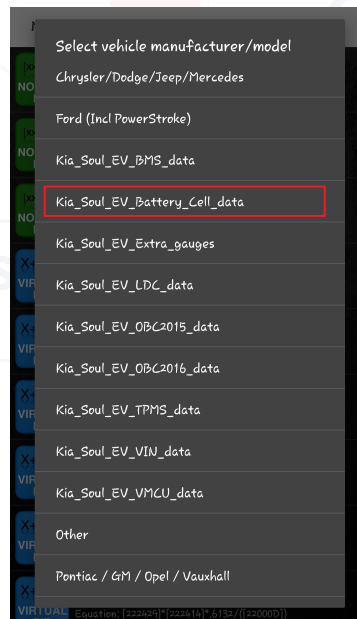


Figura A.4: Ventana para agregar archivo con códigos PID en Torque pro

para agregar / editar medidores existentes. Al agregar un medidor, los PID agregados manualmente se deben seleccionar como opciones.

Luego de configurar la aplicación Torque pro, lo que sigue es conectar el escáner LM327 en el

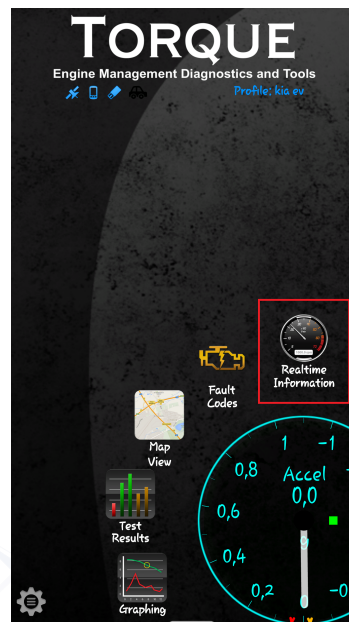


Figura A.5: Ventana para agregar indicadores en Torque pro



Figura A.6: Ventana para agregar indicadores en Torque pro

puerto OBD2 del VE.

- EL puerto OBD-II se encuentra a la izquierda del volante en la parte inferior². Está detrás de la escotilla donde se indica “FUUSE - OBD”.



Figura A.7: Ubicación puerto OBD2

- Luego de destapar el seguro, El escáner puede conectarse al puerto.

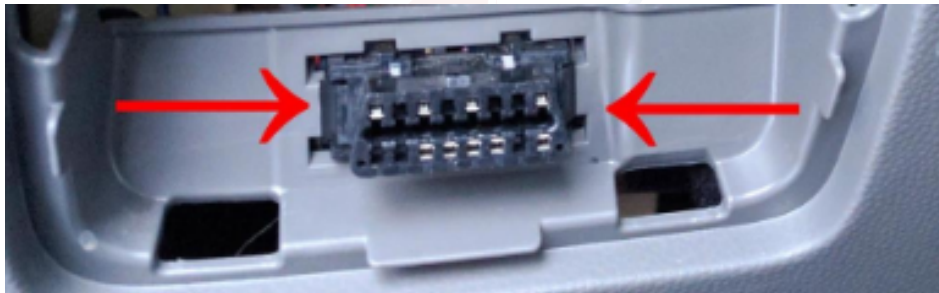


Figura A.8: Conexión escáner a puerto OBD2

- Luego de esto en el smartphone encienda la ubicación, y el Bluetooth para realizar el emparejamiento con el escáner, para esto pedirá una clave, que será “1234”.
- Una vez emparejado el escáner con el smartphone, inicie la aplicación Torque pro. Los indicadores que parpadean en la parte superior de la venta principal de la aplicación dejaran de parpadear, una vez que se haya realizado con éxito la conexión con el escáner.
- Para iniciar con el registro de los datos, presione el botón de información en tiempo real, elija la venta en donde configura su lista de indicadores, luego en la parte inferior izquierda, presione el botón de configuración, se desplegará un menú, y seleccione la opción iniciar registro.

²<https://aveq.ca/actualiteacutes/kia-soul-ev-comment-lire-les-differents-capteurs-via-obd-ii>

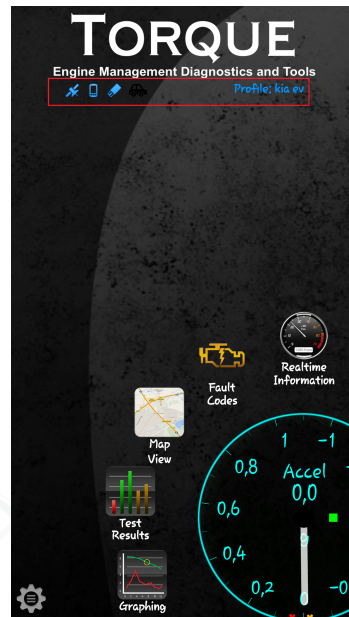


Figura A.9: Conexión exitosa entre el escáner y la aplicación Torque pro

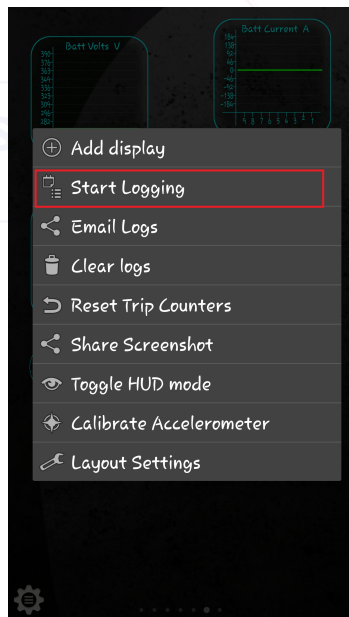


Figura A.10: Iniciar registro de datos en la aplicación Torque pro



Bibliografía

- [1] L. Guzzella, A. Sciarretta *y otros*, *Vehicle propulsion systems*. Springer, 2007, vol. 1.
- [2] E. Mehrdad, G. Yimin, y E. Ali, “Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles,” 2010.
- [3] J. Larminie y J. Lowry, *Electric vehicle technology explained*. John Wiley & Sons, 2012.
- [4] H. Laitinen *y otros*, “Improving electric vehicle energy efficiency with two-speed gearbox,” 2017.
- [5] The Innovative Vehicle Institute, “To choose a Plug-in Vehicle that meets your needs,” BRANCHEZ-VOUS, Tech. Rep. [En línea]. Disponible: http://branchezvous.org/wp-content/uploads/2018/01/Branchez-vous_2018_ANGLAIS_interactif_HR.pdf
- [6] F. Badin, F. Le Berr, H. Briki, J. Dabadie, M. Petit, S. Magand, y E. Condemine, “Evaluation of evs energy consumption influencing factors, driving conditions, auxiliaries use, driver’s aggressiveness,” in *Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), 2013 World*. IEEE, 2013, pp. 1–12.
- [7] J. Seiler. (2017) Exhaust emissions. [En línea]. Disponible: <https://www.vda.de/en/topics/environment-and-climate/exhaust-emissions/emissions-measurement.html>
- [8] Patrick Hummel, “Global Automobiles,” UBS, Tech. Rep. [En línea]. Disponible: http://www.advantagelithium.com/_resources/pdf/UBS-Article.pdf
- [9] Z. Liu, “Battery aging studies based on real-world driving,” Ph.D. dissertation, Clemson University, 2017.
- [10] X. Qi, G. Wu, K. Boriboonsomsin, y M. J. Barth, “Data-driven decomposition analysis and estimation of link-level electric vehicle energy consumption under real-world traffic conditions,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2017.
- [11] K. Hu, J. Wu, y T. Schwanen, “Differences in energy consumption in electric vehicles: An exploratory real-world study in beijing,” *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2017, 2017.



- [12] X. Yuan, C. Zhang, G. Hong, X. Huang, y L. Li, “Method for evaluating the real-world driving energy consumptions of electric vehicles,” *Energy*, vol. 141, pp. 1955–1968, 2017.
- [13] Kia Motors America, “Kia Emergency Response Guide Soul EV,” Kia Motors America, Tech. Rep. [En línea]. Disponible: https://www.nfpa.org/-/media/Files/Training/AFV/Emergency-Response-Guides/Kia/KIASoul_Emergency_Responder_Guide.ashx?la=en&hash=3771107CA4D6E8E9598ECA52BFE589F02AF14A2D
- [14] C.-M. Tseng, W. Zhou, M. Al Hashmi, C.-K. Chau, S. G. Song, y E. Wilhelm, “Data extraction from electric vehicles through obd and application of carbon footprint evaluation,” in *Proceedings of the Workshop on Electric Vehicle Systems, Data, and Applications*. ACM, 2016, p. 1.
- [15] David Delgado Noboa, “Balance Energético 2016,” Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, Tech. Rep. [En línea]. Disponible: https://issuu.com/sectoresestrategicos/docs/balance_energetico_2016
- [16] Santiago Flores Gómez, “Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental,” CONELEC, Tech. Rep. [En línea]. Disponible: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Vol4-Aspectos-de-sustentabilidad-y-sostenibilidad-social-y-ambiental.pdf>
- [17] Genaro Baldeón, “Sector Automotor en Cifras,” AEADE, Tech. Rep. [En línea]. Disponible: <http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2018/03/boletin%2017%20espanol%20resumido.pdf>
- [18] Martín Cordovez, “Red de movilidad sostenible y nuevas tecnologías para el transporte,” INER, Tech. Rep. [En línea]. Disponible: <http://www.iner.gob.ec/red-de-movilidad-sostenible-y-nuevas-tecnologias-para-el-transporte/>
- [19] J. J. C. Mediavilla, L. X. O. Hinojosa, J. A. T. Csanoba, y C. A. G. Calvache, “Análisis de incentivos y proyecciones del vehículo 100 % eléctrico en el ecuador,” *INNOVA Research Journal*, vol. 2, num. 4, pp. 112–124, 2017.
- [20] F. Izurieta, A. Corral, y V. Guayanlema, “Identificación de las necesidades de eficiencia energética en el transporte,” *INER, Quito*, 2013.
- [21] C. C. Chan, “The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 95, num. 4, pp. 704–718, 2007.
- [22] T. J. BARLOW, S. Latham, I. McCrae, y P. Boulter, “A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions,” *TRL Published Project Report*, 2009.
- [23] A. Hughes y W. Drury, *Electric motors and drives: fundamentals, types and applications*. Newnes, 2013.



- [24] M. T.-G. Chang, “Performance targets for electric vehicle batteries,” Ph.D. dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 2015.
- [25] K. Beiter, C. Rätz, y O. Garnatz, “Gesetzliche on-board-diagnose und odx,” *Diagnose in mechatronischen Fahrzeugsystemen III S*, vol. 44, 2012.
- [26] V. Kolarova, T. Kuhnimhof, y S. Trommer, “Assessment of real-world vehicle data from electric vehicles—potentials and challenges,” 2017.
- [27] C. De Cauwer, J. Van Mierlo, y T. Coosemans, “Energy consumption prediction for electric vehicles based on real-world data,” *Energies*, vol. 8, num. 8, pp. 8573–8593, 2015.
- [28] Juan Pablo Díaz S., “Eficiencia energética de Vehículos Eléctricos en Ecuador,” INER, Tech. Rep. [En línea]. Disponible: http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/SSV_VII_2016_PPT_Eficiencia-Energetica-de-Vehiculos-Elctricos-en-Ecuador.pdf
- [29] A. Haakana y G. HAGMAN, “Assessing range and performance of electric vehicles in nordic driving conditions,” 2013.
- [30] R. Smith, S. Shahidinejad, D. Blair, y E. Bibeau, “Characterization of urban commuter driving profiles to optimize battery size in light-duty plug-in electric vehicles,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 16, num. 3, pp. 218–224, 2011.
- [31] B. Allaoua, B. Draoui, D. Belatrache y otros, “Study of the energy performance of a pem fuel cell vehicle,” *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, vol. 7, num. 3, pp. 1395–1402, 2017.
- [32] IEA member countries, “Global EV Outlook 2017,” InternationalEnergy Agency, Tech. Rep. [En línea]. Disponible: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf>
- [33] G. M. Fetene, S. Kaplan, S. L. Mabit, A. F. Jensen, y C. G. Prato, “Harnessing big data for estimating the energy consumption and driving range of electric vehicles,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 54, pp. 1–11, 2017.
- [34] P. Lebeau, C. De Cauwer, J. Van Mierlo, C. Macharis, W. Verbeke, y T. Coosemans, “Conventional, hybrid, or electric vehicles: which technology for an urban distribution centre?” *The Scientific World Journal*, vol. 2015, 2015.
- [35] K. Boriboonsomsin, M. J. Barth, W. Zhu, y A. Vu, “Eco-routing navigation system based on multisource historical and real-time traffic information,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 13, num. 4, pp. 1694–1704, 2012.
- [36] M. D. Natale, “Understanding and using the controller area network,” *Handout of a lecture at UC Berkeley available at <http://inst.eecs.berkeley.edu/~ee249/fa08>*, 2008.



- [37] L.-B. Fredriksson, “Controller area networks and the protocol can for machine control systems,” *Mechatronics*, vol. 4, num. 2, pp. 159–172, 1994.
- [38] Elm Electronics, “ELM327 OBD to RSR232 Interpreter,” Elm Electronics, Tech. Rep. [En línea]. Disponible: <https://www.elmelectronics.com/wp-content/uploads/2016/07/ELM327DS.pdf>
- [39] J. Espinoza, L. Gonzalez, y R. Sempértégui, “Micro grid laboratory as a tool for research on non-conventional energy sources in ecuador,” pp. 1–7, 11 2017.
- [40] W. Mendenhall, R. J. Beaver, y B. M. Beaver, *A brief introduction to probability and statistics*. Cengage Learning Editores, 2002.
- [41] A. L. Webster, Y. M. García y otros, *Estadística aplicada a los negocios y la economía*, 2000.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867