



1859

unl

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No

Renovables

Carrera de Ingeniería en Mecánica Automotriz

Definición de un ciclo de conducción representativo para taxis eléctricos en la ciudad de Loja

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecánica Automotriz.

Autor:

Pablo Rafael Jaramillo Merino

Director:

Ing. Jairo Castillo Calderón MSc.

Loja, Ecuador

2022

Certificación

Loja, 19 de septiembre de 2022

Ing. Jairo Castillo Calderón. MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Definición de un ciclo de conducción representativo para taxis eléctricos en la ciudad de Loja** de autoría del estudiante **Pablo Rafael Jaramillo Merino**, previa a la obtención del título de **Ingeniero en Mecánica Automotriz**. Una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Jairo Castillo Calderón. MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Pablo Rafael Jaramillo Merino**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de Identidad: 11055532152

Fecha: 21/11/ 2022

Correo electrónico: pablo.r.jaramillo@unl.edu.ec

Teléfono: 0993271681

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Pablo Rafael Jaramillo Merino**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Definición de un ciclo de conducción representativo para taxis eléctricos en la ciudad de Loja**; autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintiún días del mes de noviembre del dos mil veintidós.

Firma:

Autor: Pablo Rafael Jaramillo Merino

Cédula: 1105532152

Dirección: Operadores Loja

Correo electrónico: pablo.r.jaramillo@unl.edu.ec

Teléfono: 072649062 / 593993271681

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Jairo Castillo Calderón. MSc

Dedicatoria

Este Trabajo de Titulación, lo dedico a mis padres y mis abuelos maternos y paternos que desde el cielo me están observando y cuidando, aunque soñaba que me vieran profesional en vida, sé que desde el más allá lo están haciendo.

Así mismo a todos amigos, conocidos y personas apegadas, que me apoyaron y aconsejaron para crecer cada día como persona de bien.

Pablo Rafael

Agradecimiento

A mis padres por brindarme el apoyo incondicional necesario para llegar a estas instancias de mi vida, siempre guiándome por un camino de responsabilidad y de respeto, de la mano de Dios con su amor y cariño.

A mis docentes que durante mi periodo de estudiante me forjaron como profesional y persona.

A mi director del Trabajo de Titulación, Ing. Jairo Castillo Calderón MSc., por su apoyo en este trabajo, quien, con sus conocimientos, su experiencia, consejos y motivación ha logrado que mi persona pueda terminar este informe final de investigación.

Pablo Rafael

Índice de Contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenidos	vii
Índice de Tablas.....	ix
Índice de Figuras:.....	x
Índice de Anexos:.....	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1 Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	5
4.1 Vehículos Eléctricos (EV).....	5
4.2 Batería	9
4.3 Estaciones de Carga.....	12
4.4 Ciclo de Conducción (CD)	15
4.5. Dinámica Inmersa en el Estudio.....	22
5. Marco Metodológico	25
5.1. Flujograma de Metodología	25
5.2. Objeto de Estudio	25
5.3. Lugar del Estudio	27
5.4. Equipos y Herramientas	27

5.5. Estimación del Perfil de Pendiente.....	33
5.6. Creación del CD Representativo por Carreras	36
6. Resultados	39
6.1. Obtención de Velocidad y de Variables Relacionadas con el Posicionamiento del Vehículo en Tiempo Real.....	39
6.2. Perfil de Altitud y Pendiente	43
6.3. Consumo Energético en Rueda	45
6.4. Definición del TDC por Carreras	46
6.5. Energía y Rendimiento de Batería	51
7. Discusión	53
8. Conclusiones	54
9. Recomendaciones	55
10. Bibliografía	56
11. Anexos	61

Índice de Tablas:

Tabla 1. Características de los diferentes tipos de batería.....	11
Tabla 2. Características de los tipos de carga para vehículos eléctricos.	13
Tabla 3. Nomenclatura de los grupos de ciclos de conducción.	16
Tabla 4. Flujograma de realización de tesis	25
Tabla 5. Características ofertadas por la comercializadora de los vehículos Kia Soul EV.....	26
Tabla 6. Flujograma de adquisición de datos.....	28
Tabla 7. Variables necesarias para el estudio.....	31
Tabla 8. Resumen de parámetros establecidos en el proceso de obtención del ciclo de conducción.....	32
Tabla 9. Recorrido del día 3.....	39
Tabla 10. Consumos de resistencia para el día 3.	45
Tabla 11. Ponderación de consumos energéticos por parámetros característicos para las carreras del EV.....	46
Tabla 12. Parámetros resumen del ciclo de conducción representativo.....	48
Tabla 13. Valores de energía del ciclo de conducción representativo.	51
Tabla 14. Especificaciones generales del equipo a utilizar.....	62

Índice de Figuras:

Figura 1. <i>Primer prototipo de vehículo eléctrico.</i>	5
Figura 2. <i>Antecesor de los actuales vehículos eléctricos.</i>	6
Figura 3. <i>Vehículo utilitario comercializado en 1902.</i>	6
Figura 4. <i>Esquema de propulsión de vehículo.</i>	7
Figura 5. <i>Ilustración despiece del diseño principal común para las tres opciones de motores eléctricos</i>	8
Figura 6. <i>Batería del Kia Soul eléctrico.</i>	9
Figura 7. <i>Conector eléctrico Tipo 1 SAE J1772.</i>	14
Figura 8. <i>Enchufe de cargador IEC 62196-2.</i>	14
Figura 9. <i>Conector CHAdeMO.</i>	15
Figura 10. <i>Conector Combo CSS.</i>	15
Figura 11. <i>Ciclo de conducción NEDC.</i>	18
Figura 12. <i>Ciclo para la economía del combustible, EPA.</i>	18
Figura 13. <i>Ciclo de conducción FTP75.</i>	19
Figura 14. <i>Clasificación de los ciclos de conducción.</i>	20
Figura 15. <i>Factores que influyen en el rendimiento energético de los EV.</i>	21
Figura 17. <i>Conexión del equipo.</i>	29
Figura 19. <i>Obtención del área frontal del KIA Sould Ev.</i>	30
Figura 20. <i>Ventana de editor en Matlab.</i>	37
Figura 21. <i>Velocidad con respecto al tiempo.</i>	39
Figura 22. <i>Velocidad promedio en los 24 días de monitoreo.</i>	40
Figura 23. <i>Aceleración medida.</i>	41
Figura 24. <i>Recorrido del día 3.</i>	41
Figura 25. <i>Histograma carreras por intervalo de horas.</i>	42
Figura 26. <i>Perfil de altitud del recorrido del día 3.</i>	43
Figura 27. <i>Pendiente expresada en porcentaje.</i>	44

Figura 28. <i>Conversión de coordenadas a pendiente</i>	44
Figura 29. <i>Energía positiva en rueda</i>	45
Figura 30. <i>Velocidad lineal del ciclo de conducción representativo</i>	47
Figura 31. <i>Aceleración medida del ciclo de conducción representativo</i>	48
Figura 32. <i>Altitud de ciclo de conducción representativo</i>	49
Figura 33. <i>Mapa satelital de la carrera típica</i>	49
Figura 34. <i>Pendiente expresada en porcentaje</i>	50
Figura 35. <i>Energía en rueda del ciclo de conducción representativo</i>	50
Figura 36. <i>Rendimiento promedio de batería</i>	51
Figura 37. <i>Equipo de diagnóstico OBD Link MX+</i>	63
Figura 38. <i>Aplicación OBDLink</i>	64
Figura 39. <i>Formato de carreras diarias</i>	66
Figura 40. <i>Taxi de estudio</i>	70
Figura 41. <i>Ejemplo de base de datos realizada</i>	71

Índice de Anexos:

Anexo 1. Variables Calculadas para Tabla 1	61
Anexo 2. Especificaciones del Data Logger	62
Anexo 3. Equipo de Monitoreo OBD Link MX+.....	63
Anexo 4. Características de la Aplicación OBDLink	64
Anexo 5. Obtención del Radio Estático	65
Anexo 6. Formato de Registro de Carreras.....	66
Anexo 7. Código Matlab para Separación de Datos por Carrera.....	67
Anexo 8. Fotografía de Objeto de Estudio	70
Anexo 9. Captura de Base de Datos	71
Anexo 10. Certificado de Traducción de Resumen	72

1. Título

Definición de un Ciclo de Conducción Representativo para Taxis Eléctricos en la Ciudad de Loja

2. Resumen

El presente estudio tiene como finalidad la creación del Ciclo Típico de Conducción (TDC) de un taxi eléctrico mientras circula con pasajeros en la zona urbana de Loja, Ecuador. Para ello se realizó el registro de datos en tiempo real, en un periodo de 24 días al vehículo en su recorrido libre. Entre los parámetros registrados constan la velocidad lineal, altitud, posición del vehículo, corriente y voltaje de batería. Como parte de la metodología se utilizó el Reglamento UE 646 para efectuar el suavizado del perfil de pendiente. Sumado a esto, se requirió de datos ambientales y de variables proporcionadas por el fabricante del vehículo, junto con parámetros obtenidos a través del cálculo, con el fin de llegar a obtener la fuerza en rueda necesaria para que la unidad se mueva.

Luego, mediante programación en Matlab Simulink se obtuvo el consumo de energía por cada fuerza, con el fin de utilizar la metodología de Mínimas Diferencias Ponderadas de los Parámetros Característicos (MWD-CP) para la obtención del TDC.

El taxi efectuó 660 carreras en total y los resultados indican que la carrera 5 del día 11 representa el TDC, la cual tiene una duración de 9 minutos con 8 segundos, una velocidad máxima de 45 km/h, una velocidad promedio de 22.32 km/h, una distancia recorrida de 3.4 km y consumo energético en rueda de 0.58 kWh. Además, el rendimiento energético promedio medido de batería fue de 8.44 km/kWh.

El presente ciclo de conducción es de suma importancia para toda la ciudadanía local, ya que servirá para estudios posteriores relacionados, evaluación del impacto en el tráfico, autonomía, estado de carga, entre otras.

Palabras claves: Taxis eléctricos, Ciclo Típico de Conducción, Mínimas Diferencias Ponderadas, rendimiento energético.

2.1 Abstract

This study aims to create the Typical Driving Cycle (TDC) of an electric cab while circulating with passengers in Loja, Ecuador. To accomplish this purpose, real-time data was recorded over a 24-day period to the vehicle in free travel. Among the parameters recorded were linear speed, altitude, vehicle position, current and battery voltage. As part of the methodology, EU Regulation 646 was used to perform the smoothing of the slope profile. To determine the wheel force needed to move the unit, additional environmental data and variables provided by the vehicle manufacturer were required, as well as parameters obtained through calculation. Consequently, by programming in Matlab Simulink, the energy consumption per force was obtained, in order to use the methodology of Minimum Weighted Differences of Characteristic Parameters (MWD-CP) to obtain the TDC.

The cab performed 660 rides in total and the results indicate that the fifth ride performed on day eleventh, represents the TDC, which has a duration of 9 minutes and 8 seconds, a maximum speed of 45 km/h, an average speed of 22.32 km/h, a distance traveled of 3.4 km and wheel energy consumption of 0.58 kWh. Furthermore, the average battery energy efficiency was 8.44 km/kWh.

For all local citizens, this driving cycle is of paramount importance, since it will serve as the basis for future research, evaluation of the impact on traffic, autonomy, and state of charge, among other factors.

Keywords: Electric taxis, Typical Driving Cycle, Minimum Weighted Differences, energy efficiency.

3. Introducción

El ciclo de conducción es una herramienta disponible en el sector automotriz, la cual sirve para determinar ciertos parámetros importantes del vehículo como el rendimiento energético, consumo de energía o combustible, autonomía y parámetros de conducción propias de cada vehículo. Mencionados parámetros son importantes para el conocimiento de los clientes que pretenden adquirir un vehículo y para determinar la eficiencia y viabilidad de la máquina automotora.

Para que un ciclo de conducción de cierto vehículo en específico pueda llevarse a cabo, se puede empezar desde la selección de la ruta, tomando en cuenta, el tráfico, el clima, pendiente de la calzada, la velocidad y el tiempo de prueba. Estos nombrados son los más importantes.

Cuando la selección de la ruta se la realiza mediante la vía que por lo general circula el vehículo de estudio en su labor diaria, es necesario la monitorización del mismo para poder corroborar la constancia de la circulación y los sectores en donde la ruta posee pendiente para posteriormente estimar el perfil de altura.

Analizando todos los datos adquiridos se puede realizar los diferentes cálculos dinámicos de todas las variables relacionadas con el consumo energético y la estimación de altura para así poder crear un ciclo de conducción representativo.

4. Capítulo 1. Marco Teórico

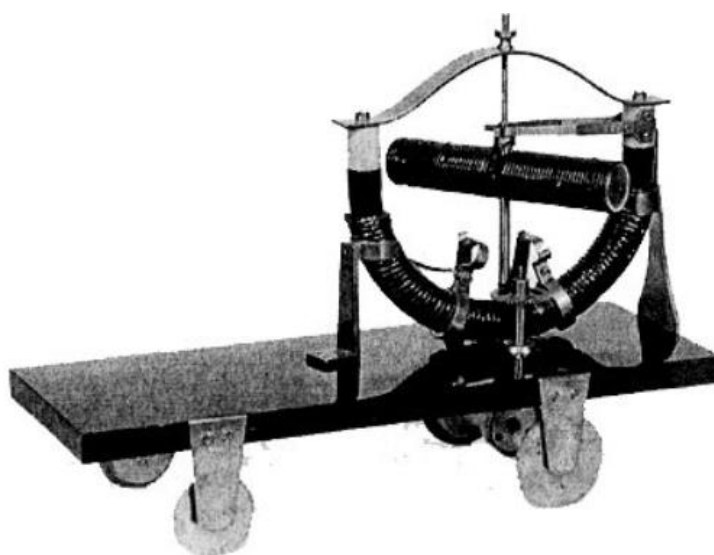
4.1 . Vehículos Eléctricos (EV)

Historia de los EV

El primer antecedente de vehículo eléctrico aparece en la primera mitad del siglo XIX, mucho antes que los vehículos con motores de gasolina y diésel. Posiblemente el primer prototipo de vehículo haya sido diseñado y fabricado por el húngaro Ányos Jedlik en 1828 mostrado en la Figura 1 (Martín Moreno, 2016). “Era un modelo de pequeño tamaño movido por un motor eléctrico inventado por él mismo” (Wakefield, 1994).

Figura 1.

Primer prototipo de vehículo eléctrico.



Nota. Adaptado de “Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual Y Retos Futuros” (p. 2), por (Martín Moreno, 2016), European Scientific Journal.

En 1834, un herrero de Vermont llamado Thomas Davenport inventó el primer vehículo eléctrico movido por una batería. Fabricó un pequeño tren movido por una batería, con una vía circular haciendo referencia a un ferrocarril el cual hacía de conductor de la electricidad. Davenport también inventó el primer motor eléctrico de corriente continua.

El escocés Robert Anderson entre 1832 y 1839 fabricó el primer vehículo movido por electricidad, utilizado como fuente de energía una batería no recargable.

El holandés Sibrandus Stratingh y su ayudante Cristofer Becker en 1835 desarrollaron un vehículo accionado por baterías no recargables, como muestra la Figura 2, que es el antecesor de los actuales vehículos eléctricos, el cual posee una estructura rústica siendo un prototipo y acondicionado a la tecnología de la época.

Figura 2.

Antecesor de los actuales vehículos eléctricos.



Nota. Adaptado de “Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual Y Retos Futuros” (p. 2), por (Martín Moreno, 2016), European Scientific Journal.

En 1898 se fabricaron y comercializaron los primeros modelos de vehículos eléctricos que circularon por las calles de Londres y Nueva York. Los propulsores de los vehículos eran motores de corriente continua, conectados a baterías mediante cables en serie y en paralelo en varias configuraciones, controlando así la el par y velocidad.

En la primera década del siglo XX se fabricaron y comercializaron varios modelos de vehículos eléctricos (Figura 3), que prácticamente eran carrozas donde los motores eléctricos y las baterías sustituyeron a los caballos. La autonomía era de entre 20 y 30 km, la velocidad de 25 km/h, y el precio de 2000 a 3000 USD (Wakefield, 1994).

Figura 3.

Vehículo utilitario comercializado en 1902.



Nota. Adaptado de “Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual Y Retos Futuros” (p. 4), por (Martín Moreno, 2016), European Scientific Journal.

En las ciudades las distancias eran pequeñas, y no era necesario de mayor autonomía. No obstante, su precio era inaccesible, y solo estaban al alcance de personas con elevados recursos económicos (Martín Moreno, 2016).

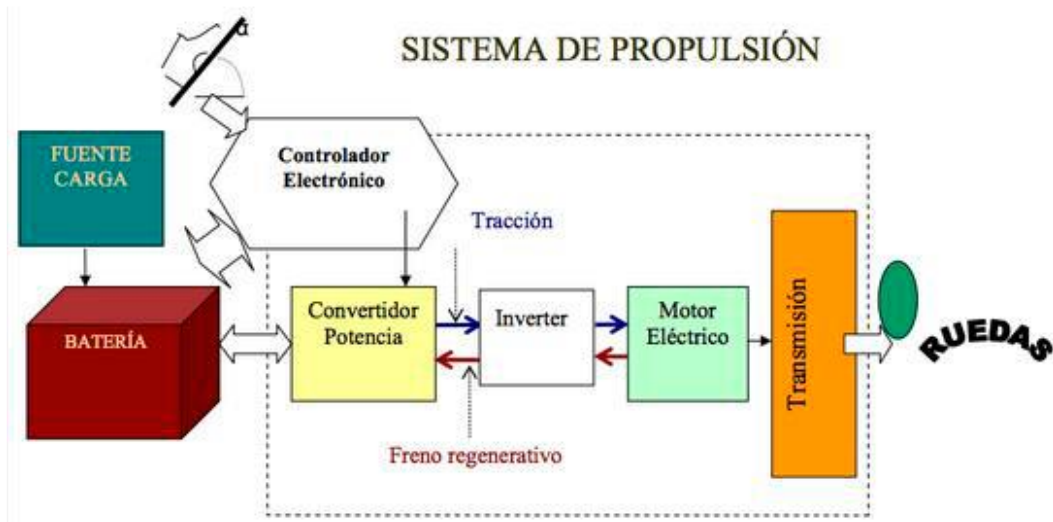
Definición de los EV

Es un vehículo ajeno a la combustión interna el cual es propulsado por uno o más motores eléctricos. La tracción puede ser brindada por ruedas o hélices impulsadas por motores rotativos, o en ciertos no rotativos, como los motores lineales o los motores inerciales (Observatorio Tecnológico de la Energía, 2012).

En la Figura 4, se muestra el esquema de propulsión de un vehículo eléctrico general, iniciando desde la batería, hasta el movimiento de las ruedas.

Figura 4.

Esquema de propulsión de vehículo.



Nota. Adaptado de "PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE VEHICULOS ELECTRICOS" (p. 14), por (Melissa García, 2015), Universidad Tecnológica de Pereira.

Componentes Principales de un EV.

Cargador AC/DC. Permite obtener electricidad alterna desde la electrolinera o desde la red, la cual es convertida en electricidad directa para cargar la batería principal.

Conversor DC/DC. Permite convertir alta tensión en baja tensión para alimentar baterías auxiliares.

Inversor/Controlador. Permite convertir la alta tensión de corriente continua en corriente alterna para suministrarle al motor de accionamiento y convierte la corriente alterna en corriente continua para cargar la batería de alto voltaje.

Bloque de conexiones de alto voltaje. Entrega electricidad necesaria desde la batería de alto voltaje al inversor, al LDC (cargador de batería auxiliar), al compresor del aire acondicionado y al calefactor auxiliar eléctrico.

LDC. Encargado de convertir la tensión de la batería de alto voltaje a bajo voltaje de 12V, de este modo carga la sub batería de 12V y suministra electricidad al vehículo.

Engranaje reductor. Suministra la fuerza de rotación y tracción del motor a las ruedas a la velocidad y el par determinados en diferentes condiciones de manejo

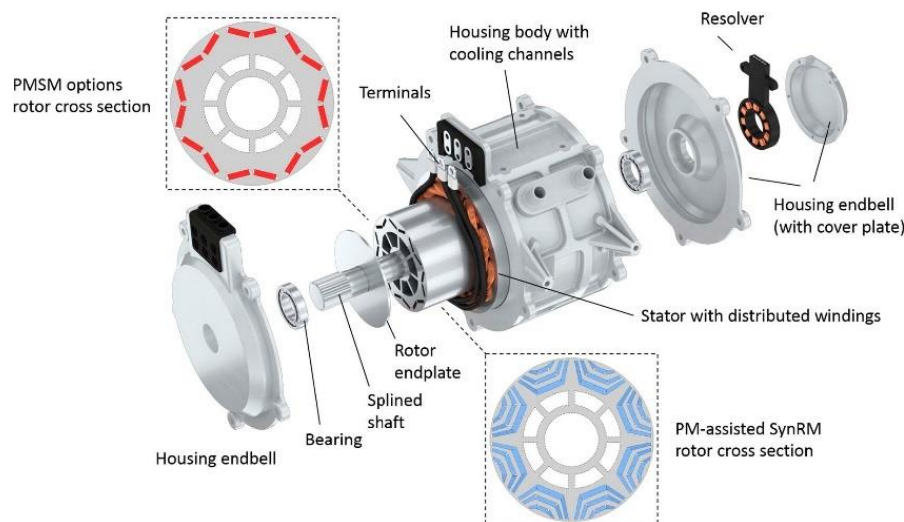
Batería de alto voltaje. En este vehículo se utiliza una batería compuesta por polímero de iones de litio que es el encargado de almacenar y suministra la electricidad necesaria para la operación del vehículo eléctrico.

Cargador a bordo OBC. Es un dispositivo externo de velocidad lenta para cargar la batería de alto voltaje (Peralta Feijoo, 2018).

Motor eléctrico. Un motor eléctrico es una máquina rotativa que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, a través de diferentes interacciones electromagnéticas. En la Figura 5, se muestra en ejemplo de motor eléctrico.

Figura 5.

Ilustración despiece del diseño principal común para las tres opciones de motores eléctricos



Nota. Adaptado de “Life cycle assessment of permanent magnet electric traction motors” (p. 5), 2019, por (Nordelöf et al., 2019), Elsevier

El principio fundamental de conversión de la energía fue demostrado por el científico británico Michael Faraday en 1821 la cual pasa de energía eléctrica en energía mecánica por medios electromagnéticos. De acuerdo con el principio de Faraday, sobre un conductor con

corriente aparece una fuerza mecánica cuando se encuentra en presencia de un campo magnético externo (Melissa García, 2015).

El primer motor eléctrico usando los electroimanes fue construido por Ányos Jedlik en 1828 Hungría, que desarrolló más adelante un motor de gran alcance para propulsar un vehículo.

4.2 . Batería

Una batería está estructurada generalmente por dos o más celdas eléctricas. Las celdas convierten la energía química en energía eléctrica, están formadas por electrodos positivos y negativos unidos por un electrolito. Por lo general son de estructura distribuida para reducir el peso en un punto y optimización de espacio, esto es mostrado en el la Figura 6, en donde se puede apreciar la batería en la parte inferior del vehículo por debajo de los asientos.

Figura 6.

Batería del Kia Soul eléctrico.



Nota. Adaptado de “Kia Soul eléctrico”, 2021, por (Motor Pasión, 2016).

Lo que genera la electricidad de corriente continua es la reacción química entre los electrodos y el electrolito. En el caso de las baterías recargables o secundarias, la reacción química puede invertirse, invirtiendo la corriente y la batería vuelve a estar cargada (Larminie & Lowry, 2012).

Parámetros que Definen a una Batería

Para el estudio de la Batería se utilizan ciertos parámetros técnicos descritos a continuación:

Tensiones de Celda. Todas las celdas eléctricas tienen tensiones nominales que dan la tensión aproximada cuando todas las celdas están suministrando energía eléctrica. Las baterías de tracción de los vehículos eléctricos suelen especificarse como de 6V o 12 V, y estas unidades se conectan a su vez en serie para producir la tensión requerida. Esta tensión cambiará en la práctica ya que cuando se emite una corriente, la tensión cae y cuando se carga la batería, la tensión aumenta (Larminie & Lowry, 2012).

Estado de Carga % (State Of Charge (SOC)). Las iniciales SOC, es la expresión que indica el estado de carga de la batería de manera porcentual. El estado de carga cuando la batería tiene almacenada la máxima energía posible es el 100% (Jaume Martínez, 2017, p. 9).

Profundidad de descarga % (Depth Of Discharge (DOD)). Es la relación entre la capacidad en amperios-hora (Ah) entregada por una batería y la capacidad nominal de la misma durante su descarga. Este parámetro es alternativo al estado de carga (SOC) de una batería. Cuando el SOC disminuye, el DOD aumenta (Jaume Martínez, 2017, p. 9).

El Estado de Salud (SOH). Es una medida de la salud de la batería que indica el tiempo restante antes de que el paquete de baterías necesite ser reemplazado o necesite mantenimiento (Patil et al., 2015).

Capacidad de una Batería. Este parámetro es fundamental en el estudio de los vehículos eléctricos. La capacidad eléctrica se mide en Amperio-hora, o en otras palabras amperio que fluye durante una hora. La capacidad de una batería puede ser, por ejemplo, de 10Amphours. Por lo general, mientras que una batería puede ser capaz de proporcionar 1Amp durante 10 horas, si se extraen 10 amperios de ella, durará menos de una hora, esto es muy importante de tener en cuenta. La capacidad de las grandes baterías utilizadas en los vehículos eléctricos (baterías de tracción) suele acoplarse para una descarga de 5 horas (Larminie & Lowry, 2012, p. 25). La capacidad de la batería se calcula integrando la corriente de descarga en el tiempo, como muestra la Ec. 1 (Patil et al., 2015):

$$Cap = \int_{t_1}^{t_2} I dt \quad (\text{Ec. 1})$$

Capacidad Nominal. Es la capacidad que puede entregar una batería desde plena carga hasta alcanzar una tensión en descarga determinada.

Capacidad Real. Capacidad que puede ofrecer una batería desde un estado de plena carga y en condiciones de funcionamiento distintas a las establecidas para definir la capacidad nominal.

Capacidad Retenida. Capacidad conservada por la batería después de un periodo de reposo o inactividad.

Sobrecarga. Proceso que tiene lugar cuando se continúa cargando una batería, después de que se pierda la eficiencia de reacciones electroquímicas al cargar.

Densidad de Energía. Energía que puede almacenar una batería por unidad de volumen (Wh/l).

Densidad de Potencia. Potencia que puede entregar una batería por unidad de volumen (W/l).

Energía Específica. Energía que puede almacenar una batería por unidad de peso (Wh/kg).

Potencia Específica. Potencia que puede entregar una batería por unidad de peso (W/kg).

Vida Útil. Tiempo que la batería puede mantener sus prestaciones por encima de unos límites mínimos predeterminados. Llamado también como el número de recargas de una batería, para recobrar su capacidad completa después de su uso.

Tipos de Batería

El mercado mundial de las baterías secundarias representa unos 24 mil millones de dólares cada año, siendo la tecnología Plomo-ácido la más utilizada (F. García & Gardi, 2015). En la Tabla 1 se muestra las características de los diferentes tipos de batería.

Tabla 1.

Características de los diferentes tipos de batería.

Tipo de batería	Densidad de energía (Wh/kg)	Ciclos de vida	Rango de temperatura(°C)
Plomo acido	41	500	-30 a 50
NiMH	95	800	-40 a 50
NiCad	39	800	-40 a 50
Ion-litio	128	1000	-40 a 60
Litio fosfato de hierro	130	2000	-40 a 60
Ultra condensadores	5	500000	-40 a 85
Gasolina	12700	1	

Nota. Adaptado de “*Diagnóstico Electrónico del Sistema de Propulsión, Regeneración, Carga y Descarga del Vehículo Eléctrico para Determinar su Autonomía*” (p. 30), por (Chamorro & Guerrero, 2020), Universidad de las Fuerzas Armadas.

A continuación, se procederá a dar una explicación de los tipos de baterías las cuales son las más comunes en la utilización de los EV.

Plomo-ácido. Se utilizan para vehículos convencionales, ya que es ideal para alimentar al motor de arranque de los motores de combustión interna (MCI), la principal característica que las diferencia es el corto periodo que tarda en descargarse (Chamorro & Guerrero, 2020).

Níquel-hidruros Metálicos. La tecnología de Níquel-hidruros metálicos (NiMH) es una evolución del Níquel-Cadmio en la que el material electrónico negativo es una aleación de metales y tierras raras que sustituyen al Cadmio (Chamorro & Guerrero, 2020).

Litio-ión. Las baterías de Litio-ión están conformadas por grupos de pilas que utilizan compuestos de intercalación de Litio (Li+) como materiales que en el ciclo de la batería pasan de ser positivos a negativos y viceversa (F. García & Gardi, 2015).

Litio-hierro-ferroso. La densidad de la batería LiFePO₄, tiene alta densidad de energía y la capacidad para cargarse tarda 20 minutos para alcanzar el 80% de su capacidad y 40 minutos para estar completamente cargada (Chamorro & Guerrero, 2020).

4.3 . Estaciones de Carga

Una estación de carga o electrolinería funciona de manera similar a como las gasolineras con la diferencia que es una dispensa energía para recargar las baterías de los autos eléctricos. Las estaciones de carga son una solución al déficit de autonomía que poseen algunos de los vehículos eléctricos, aunque esto se muestra como una buena solución, el número de estaciones de carga y su ubicación no permiten que sea bien optimizada su utilización (Pan et al., 2020).

Sistema de Carga de Vehículos Eléctricos

En la actualidad se consideran cinco tipos de recarga según su velocidad, es decir, cuánto tiempo lleva recargar las baterías, lo cual depende de la potencia disponible, del tipo de batería, y de las características propias de la red de energía eléctrica (BASTIDAS AUQUILLA, 2019).

A continuación, en la Tabla 2 se muestra los tipos de carga de vehículos eléctricos y sus características:

Tabla 2.

Características de los tipos de carga para vehículos eléctricos.

Tipo de carga	Características básicas	Corriente	Voltaje	Tiempo de carga
Súper lenta	Cuando la intensidad de corriente se limita a 10 A o menos. No dispone de una base de recarga con protección e instalación adecuada. Recarga completa de baterías de 22 a 24 kWh.	AC	110 V	10 - 12 horas
Lenta	Se la conoce como recarga normal o convencional. Se realiza a 16 A. Demanda una potencia de carga de 3,6 kW. Recarga completa de baterías de 22 a 24 kWh.	AC	220 V	6 - 8 horas
Semi-rápida	Se realiza a una potencia de carga de 22 kW	AC	220 V	1 - 1,25 horas
Rápida	Demanda una potencia de carga de 44 a 50 kW. Recarga completa de baterías de 22 a 24 kWh.	AC	400 V	20 - 30 minutos
Ultra rápida	Aún se considera experimental. Demanda una potencia de carga elevada. Recarga completa de baterías de 22 a 24 kWh.	DC	400 V	5 - 10 minutos

Nota. Adaptado de “ESTUDIO DE ESTRATEGIAS PARA LA INSERCIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS TIPO TAXI EN LA CIUDAD DE QUITO” (p. 20), por (BASTIDAS AUQUILLA, 2019), Universidad Politécnica Nacional.

Puertos de Carga de Vehículos Eléctricos

Para los usuarios y los fabricantes no existe un estándar obligatorio para el conector de carga de los vehículos eléctricos que hay que utilizar. A continuación, se mostrará algunos puertos de carga existentes en la actualidad:

Conector Tipo 1 (SAE J1772). El Conector eléctrico Tipo 1 SAE J1772 (Figura 7) es uno de los conectores más utilizados a nivel mundial. El SAE J1772 fue diseñado y realizado en Estados Unidos EUA por la SAE (Society of Automotive Engineers) y fabricado por Yazaki (LuGEnErGy, 2021). La máxima intensidad a la que puede operar es de 32 A en baja tensión monofásica, lo que permite una potencia máxima de recarga de 7,4 kW.

Figura 7.

Conector eléctrico Tipo 1 SAE J1772.



Nota. Adaptado de “Conector SAE J1772 Tipo 1 para Coche Eléctrico” , por (LuGEnergyGy, 2021).

Conector Tipo 2 (IEC 62196-2). Este conector es actualmente el conector homologado como standard europeo, mostrado en la Figura 8. El conector Tipo 2 permite cargas monofásicas desde los 16 A hasta cargas trifásicas 400V y 63 A, lo que significa poder trabajar con recargas de corriente alterna en potencias desde 3,7 kW hasta 44 kW.

Figura 8.

Enchufe de cargador IEC 62196-2.



Nota. Adaptado de “Enchufe Tipo 2 32A EV” , por (AliExpress, n.d.).

Conector CHAdeMO. Conector que fue diseñado por una agrupación de empresas japonesas (TEPCO “Tokyo Electric Power Company”, Mitsubishi, Nissan, Toyota y Subaru) (Figura 9). Se trata de un conector para realizar recargas rápidas en corriente continua, capaz de soportar hasta 50 kW de potencia y una corriente continua de 125 A. Los modelos que montan este conector son el Mitsubishi iMiev, Mitsubishi Outlander, Peugeot iON, Citroën C-Zero, **KIA SOUL EV**, Nissan Leaf y Nissan ENV200, (Wallbox, 2015).

Figura 9.

Conector CHAdeMO.



Nota. Adaptado de “Estación de carga rápida para vehículos eléctricos” , por(AliExpress, n.d.).

Conector Combo CSS (IEC-62196-3). Se trata de un conector combinado que está compuesto por un conector de corriente continua con dos contactos y un conector de corriente alterna Tipo 2, como se muestra en la Figura 10. El conector Combo CSS permite cargar el vehículo en modos 2, 3 y 4 a través de una sola toma.

Figura 10.

Conector Combo CSS.



Nota. Adaptado de “La carga rápida y el conector CCS- Combo 2” , por (myRecarga, n.d.).

La potencia máxima a la que puede trabajar en corriente alterna es de 44 kW (63A en trifásica 400V) y de hasta 100 kW en corriente continua, aunque actualmente sólo se realizan cargas en corriente continua de 50 kW.

4.4 . Ciclo de Conducción (CD)

Definición de Ciclo de Conducción

Según (Wang et al., 2008):

Un ciclo de conducción es una serie temporal de velocidades de vehículos desarrollada para representar patrones típicos de conducción. Se utilizan de forma

intensiva en la estimación de las emisiones de los vehículos, el cálculo del consumo de energía y la evaluación del impacto del tráfico (pp, 1-2).

Un ciclo de conducción o ciclo de manejo es un perfil de velocidades trazado en un plano velocidad–tiempo, la cual representa una forma constante de conducir en las calles o autopistas, tomando en cuenta las características del tráfico, de las carreteras, la tecnología del vehículo, características geográficas (altitud, una de las más importantes) climáticas, y tomando en cuenta las características del conductor (González Oropeza, 2005, p. 2).

CD a Nivel Mundial

El libro “*A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions*” referencia 256 ciclos de conducción (Barlow et al., 2009, p. 6) los cuales se han agrupado según el propósito o el programa de medición para el que fueron desarrollados, la nomenclatura de algunos grupos se da en la Tabla 3.

Tabla 3.

Nomenclatura de los grupos de ciclos de conducción.

Nomenclatura	Descripción
EU legislative cycles	Ciclos de prueba europeos utilizados para fines de homologación de tipo automóviles, vehículos pesados y autobuses.
US cycles	Una variedad de ciclos de prueba de EE. UU., Incluidos sus ciclos de aprobación de tipo: automóviles, vehículos pesados y autobuses.
Japanese legislative cycles	Ciclos de ensayo utilizados con fines de homologación de tipo automóviles en Japón.
Legislative motorcycle cycles	Ciclos de ensayo de homologación de tipo mundial armonizados para motocicletas.
Warren Spring Laboratory (WSL) cycles	Ciclos de prueba de automóviles desarrollados por TRL en las rutas de Stevenage y Hitchin, utilizados por el antiguo Laboratorio Warren Spring para pruebas en carretera.
TRAMAQ UG214	Ciclos de prueba desarrollados dentro del programa DfT TRAMAQ, proyecto UG214 - automóviles, furgonetas, vehículos pesados y autobuses
Millbrook	Ciclos de prueba desarrollados por Millbrook Proving Ground - vehículos pesados y autobuses.
OSCAR	Ciclos de prueba desarrollados en el marco del quinto proyecto marco europeo: OSCAR – vehículos.
ARTEMIS driving cycles	Ciclos de prueba desarrollados en el marco del quinto proyecto marco europeo: ARTEMIS - vehículos.
EMPA driving cycles	Ciclos de prueba suizos desarrollados por EMPA para la UBA
Handbook driving cycles	El manual alemán / austriaco / suizo (DACH) de factores de emisión. Ciclos de conducción suizos extraídos en este resumen.

MODEM-IM driving cycles	Ciclos de prueba cortos desarrollados para fines de inspección y mantenimiento dentro del proyecto JCS
INRETS driving cycles	Ciclos de prueba desarrollados por INRETS a partir de datos registrados en Lyon, Francia
INRETS short cycles (cold start)	Versiones cortas de los ciclos de conducción INRETS
MODEM driving cycles	Ciclo de conducción realista desarrollado dentro del proyecto MODEM, basado en datos de 60 coches en uso normal en 6 ciudades del Reino Unido, Francia y Alemania.
ARTEMIS WP3141	Ciclos de prueba adicionales para automóviles derivados del proyecto ARTEMIS, basados en datos recopilados en Nápoles.
Modem-HyZem for passenger cars	Ciclos de prueba desarrollados para evaluar vehículos híbridos.
Driving cycles for passenger cars with a professional use	Ciclos de prueba desarrollados por INRETS a partir de datos recopilados de automóviles utilizados con fines comerciales.
Driving cycles for light vans (1,3 to 1,7 tonnes)	Ciclos de prueba desarrollados por INRETS para furgonetas pequeñas
Driving cycles for 2.5 tonne vans	Ciclos de prueba desarrollados por INRETS para furgonetas medianas
Driving cycles for 3.5 tonne vans	Ciclos de prueba desarrollados por INRETS para furgonetas grandes
MTC cycles	Ciclos de prueba desarrollados por MTC para automóviles
TUG cycles	Ciclo de prueba desarrollado por TUG, Graz, para evaluar los efectos del gradiente
TRRL cycles	Ciclos de prueba estilizados desarrollados por TRRL, basados en datos registrados.
TRL M25	Ciclo de pruebas de coches de alta velocidad desarrollado por TRL, basado en datos recogidos en la autopista M25.
BP bus cycle	Ciclo de prueba de bus desarrollado por BP
TNO bus	Ciclo de prueba de autobús desarrollado por TNO, Países Bajos
FHB motorcycle cycles	Ciclos de prueba de motocicletas desarrollados por la Universidad de ciencias aplicadas de Biel, Suiza

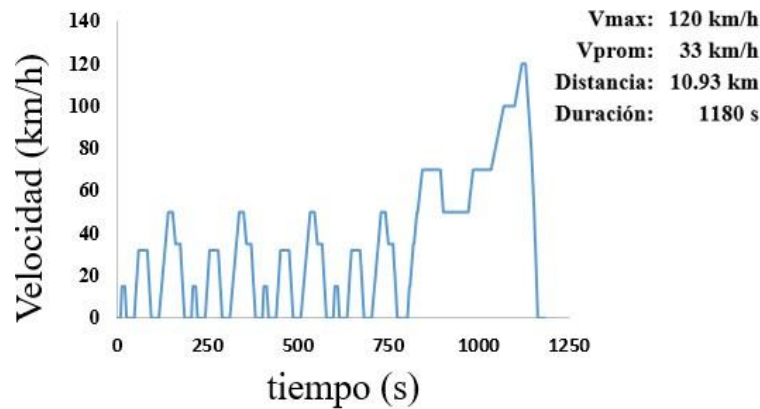
Nota. Adaptado de “*A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions*” (p. 6), por (Barlow et al., 2009), TRL Limited.

A continuación, se presenta algunos de los ciclos de Conducción más comunes e importantes a nivel mundial:

NEDC. “Nuevo Ciclo de Conducción Europeo”, el cual consiste en 4 ciclos de manejo urbano denominados ECE-15 y un ciclo extra urbano denominado EUDC, desarrollado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). En la Figura 11, se muestra el comportamiento del NEDC junto con sus características.

Figura 11.

Ciclo de conducción NEDC.

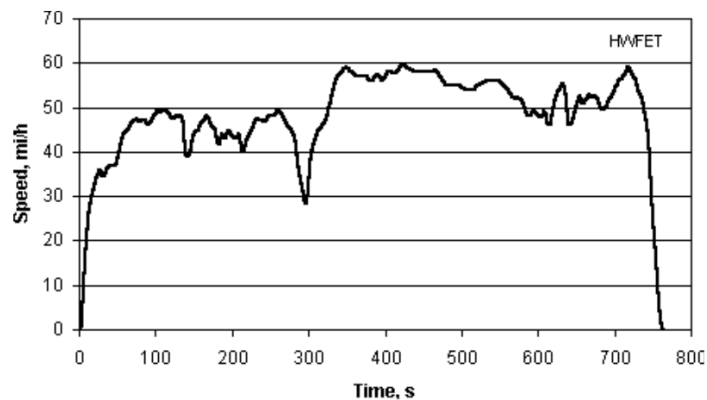


Nota. Adaptado de “Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP 75 Y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis” (p. 2), por (Guitiérrez & Valarezo, 2018).

HWFET. “High Way Fuel Economy Test”, es un programa para dinamómetro de chasis desarrollado por la EPA (Environmental Protection Agency, 1998) para determinar el consumo de combustible de vehículos ligeros, con una duración de 765s, una distancia total recorrida de 16.45 km y velocidad promedio de 77.7 km/h (González Oropeza, 2005). La representación de este ciclo de conducción es mostrada en la Figura 12.

Figura 12.

Ciclo para la economía del combustible, EPA.

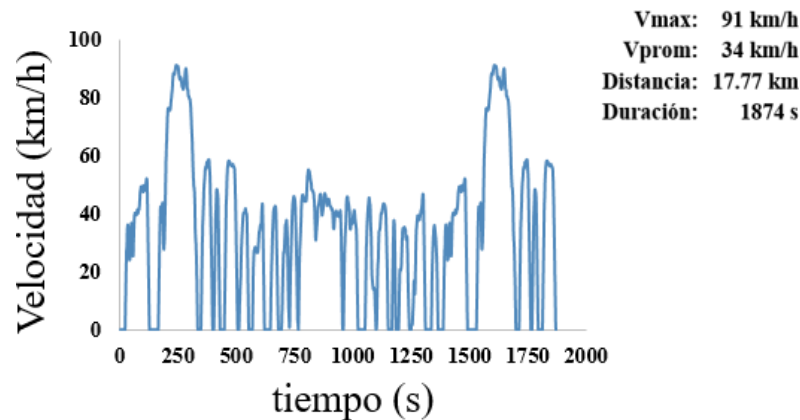


Nota. Adaptado de “Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte” (p. 7), por (González Oropeza, 2005), Scielo.org.

FTP75. Es el procedimiento de prueba federal utilizado para medir el consumo dentro de la ciudad desarrollado por la EPA. En la Figura 13 se observa la representación del FTP75 y sus características.

Figura 13.

Ciclo de conducción FTP75.



Nota. Adaptado de “Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP 75 Y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis” (p. 2), por (Guitiérrez & Valarezo, 2018).

Consideraciones para el Desarrollo de CD

En la representación de la dinámica del manejo, la distancia recorrida (m) la velocidad lineal (km/h), aceleración lineal (m/s^2), son algunas variables que se consideran para la obtención de un ciclo de conducción (Restrepo V et al., 2007).

Para la recolección de datos experimentales se utilizan técnicas como: la persecución de vehículo y la Técnica On-Board.

Técnica On-Board. Técnica que, a través de condiciones reales de manejo, junto con el uso de la instrumentación adecuada, se obtienen datos reales de conducción con respecto al tiempo, velocidad, distancia, entre otros. Para la aplicación eficaz de esta técnica se requiere el uso de más de un conductor para poder visualizar de mejor manera el comportamiento de conducción dentro de una determinada ruta.

Técnica de Persecución. Consiste en el uso de un vehículo persecutor y un vehículo perseguido en la cual el “persecutor” sigue al “perseguido” dentro de una ruta determinada, en donde se trata de emular la forma de conducción del vehículo “perseguido” constituyendo así una mejor representación de manejo. Se emplean varios conductores en el manejo además del empleo de instrumentación de adquisición de datos para el tráfico en rutas, así mismo para almacenar la velocidad del vehículo segundo a segundo (Pérez & Quito, 2018).

Métodos de Construcción de CD

Método estocástico. En la construcción del ciclo de conducción estocástico implican dividir los datos de los vehículos de conducción recogidos en chips de almacenamiento (u otro), y hacer coincidir repetitivamente la distribución de frecuencia de velocidad-aceleración de los

ciclos de manejo a la base de datos (Ashtari et al., 2014). Un ejemplo es el ciclo de conducción LA92 con método Lin-Niemeier con misma metodología estocástica. Esta base de datos para un tipo de vehículos en particular se recopiló en Los Ángeles entre abril y mayo de 1992 utilizando la Técnica de persecución.

Método Heurístico. Se basan en la estrategia de agrupar primero y determinar rutas después, constanding de dos fases, que son la zonificación y determinación de rutas (GUADARRAMA ZAMORA, 1995).

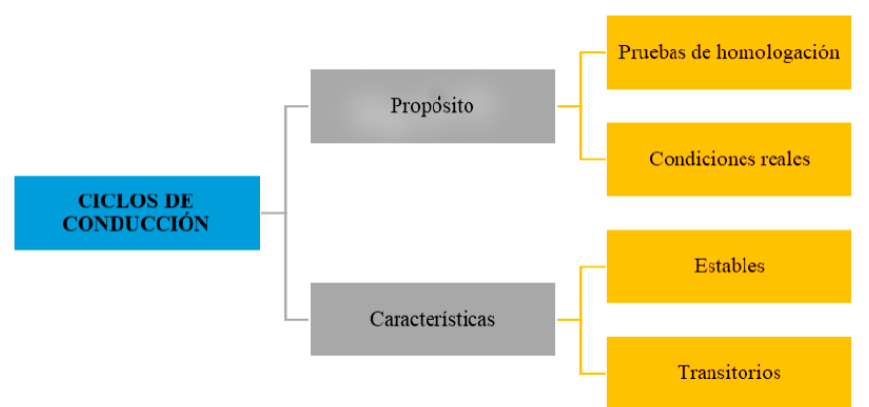
La zonificación consiste en partir la región en zonas (rutas), cada una asignada a un vehículo, determinando la forma y la orientación de las zonas, de tal manera que sea minimizado el recorrido en la región total de los vehículos. Para la zonificación se toman en cuenta la rapidez del vehículo y la lejanía de la fuente o fin de ruta, por medio del uso de contornos de recorrido. La determinación de rutas consiste en conocer el orden de recorrido de los puntos dentro de cada zona, minimizando el recorrido local de la región.

Clasificación de los CD

“Los CD se los puede clasificar en ciclos de conducción de acuerdo a su propósito y característica” según (JIMÉNEZ NEIRA, 2019), y estos a su vez se subdividen en ciclos de conducción de pruebas de homologación, de condiciones reales, estables y transitorios como se muestra a continuación en la Figura 14.

Figura 14.

Clasificación de los ciclos de conducción.



Nota. Adaptado de “ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE CICLOS DE CONDUCCIÓN REPRESENTATIVOS EN BUCARAMANGA, SANTANDER” (p. 26), por (JIMÉNEZ NEIRA, 2019), UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA.

De acuerdo con su propósito se pueden agrupar en:

Los ciclos legislativos (Pruebas de homologación). Son de carácter gubernamental, sometiendo a pruebas en laboratorios en donde controlan las emisiones de contaminantes que provienen de los motores de combustión interna.

Los ciclos no legislativos (Condiciones reales). Se las realiza bajo condiciones reales de operación, y se aplica para el análisis del consumo de combustible y las emisiones contaminantes del motor.

Por otra parte, de acuerdo con las características del perfil de velocidad en función del tiempo, se tienen:

Modales (Estables). Son aquellos con periodos de tiempo prolongados en donde la velocidad es constante. Este tipo de ciclos tienen la característica de tener secuencias poligonales, es decir geometrías planas compuestas de segmentos rectos consecutivos.

Transitorios. Son aquellos que muestran perfiles más complejos en donde la velocidad puede variar cada segundo

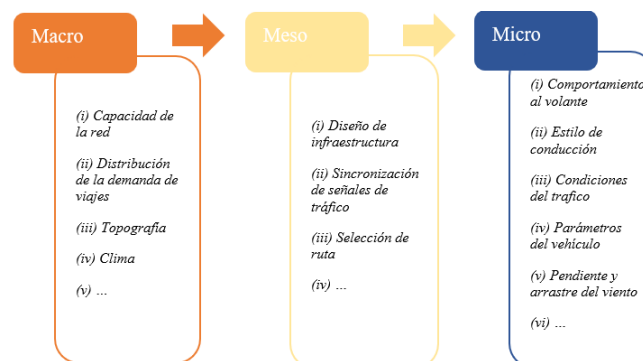
Factores que Intervienen en el Rendimiento Energético de EV

La autonomía de un vehículo de un determinado lugar es uno de los principales factores que condicionan el transporte, ya que la ofrecida por los fabricantes no es la misma, dependiendo de factores que influyen en el rendimiento energético (Merchán, 2018).

Según (Hu et al., 2017) en un estudio de autonomía real de Beijing califica a los factores en orden macro, meso y micro, empezando desde parámetros como la capacidad de la red local hasta la pendiente y arrastre del viento como se observa en la Figura 15.

Figura 15.

Factores que influyen en el rendimiento energético de los EV.



Nota. Adaptado de “Differences in Energy Consumption in Electric Vehicles: An Exploratory Real-World Study in Beijing” (p. 3), por (Hu et al., 2017), Journal of Advanced Transportation.

4.5. Dinámica Inmersa en el Estudio

La dinámica del vehículo es un factor importante en la creación del ciclo de conducción, especialmente a lo que tienen que ver con el cálculo de la fuerza en rueda para poder realizar el movimiento (Dávalos Figueroa, 2017).

La Ec.2 presenta las fuerzas que interviene en el movimiento y son:

$$F_x = F_d + R_x + R_g + R_i \quad (\text{Ec. 2})$$

En donde:

F_x = Fuerza en rueda [N]

F_d = Resistencia de arrastre [N]

R_x = Resistencia a la rodadura [N]

R_g = Resistencia a la pendiente [N]

R_i = Resistencia a la inercia [N]

La Ec. 3 presenta la resistencia de arrastre y se describe como:

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot A_f \cdot \varphi \cdot C_d \cdot (v)^2 \quad (\text{Ec. 3})$$

En donde:

F_d = Resistencia de arrastre [N]

A_f = Área frontal [m^2]

φ = Densidad del aire [kg/m^3]

C_d = Coeficiente aerodinámico [-]

(v) = Velocidad [m/s]

La Ec. 4 se la relaciona con la resistencia a la rodadura y es:

$$R_x = M \cdot g \cdot f_r \cdot \cos(\theta_n) \quad (\text{Ec. 4})$$

En donde:

R_x = Resistencia de arrastre [N]

M = Masa [kg]

g = Gravedad [m/s^2]

f_r = Coeficiente de resistencia a la rodadura [-]

θ_n = Pendiente [$^\circ$]

La Ec. 5 presenta la resistencia a la pendiente y se define como:

$$R_g = M \cdot g \cdot \text{sen}(\theta_n) \quad (\text{Ec. 5})$$

En donde:

$$R_x = \text{Resistencia de arrastre} \quad [\text{N}]$$

$$M = \text{Masa} \quad [\text{kg}]$$

$$f_r = \text{Coeficiente de resistencia a la rodadura} \quad [-]$$

$$\theta_n = \text{Pendiente} \quad [^\circ]$$

La Ec. 6 se la relaciona con la resistencia a la inercia y se presenta como:

$$R_i = M \cdot a \quad (\text{Ec. 6})$$

En donde:

$$R_i = \text{Resistencia a la inercia} \quad [\text{N}]$$

$$M = \text{Masa} \quad [\text{kg}]$$

$$a = \text{Aceleración} \quad [\text{m/s}^2]$$

Par, Potencia y Energía en Rueda

Para obtener las ecuaciones de la energía que intervienen en la rueda son:

La Ec. 7 corresponde al par y se define como:

$$\tau = F_x \cdot r_d \quad (\text{Ec. 7})$$

En donde:

$$\tau = \text{Torque} \quad [\text{N} \cdot \text{m}]$$

$$F_x = \text{Fuerza en rueda} \quad [\text{N}]$$

$$r_d = \text{Radio dinámico} \quad [\text{m}]$$

La Ec. 8 se relaciona con la potencia y se describe como:

$$P = F_x \cdot v \quad (\text{Ec. 8})$$

En donde:

$$P = \text{Potencia} \quad [\text{N} \cdot \text{m/s}]$$

F_x = Fuerza en rueda [N]

v = Velocidad [m/s]

La Ec. 9 permite definir la energía y se describe como:

$$P = \frac{E}{t}, \text{ con lo que } E = P * t$$

$$E = P * \Delta t \quad (\text{Ec. 9})$$

$$\Delta t = t_1 - t_2 \approx 1 \text{ seg.}$$

En donde:

E= Energía [E]

P= Potencia [kWs]

Δt = Diferencial de tiempo [s]

La Ec.10 de la energía expresada en kWh es:

$$E = \frac{P}{3600000} [kWh] \quad (\text{Ec. 10})$$

En el cálculo total de la energía estarán inmersos valores positivos y negativos, pero al final se notarán solo valores positivos de R_g^+ , F_x^+ , T^+ , P^+ y por ende energía positiva en rueda (E^+). Puesto que la energía positiva representa un valor real de lo que se utiliza para el desplazamiento del vehículo a través del movimiento en rueda. (Fernández et al., 2016).

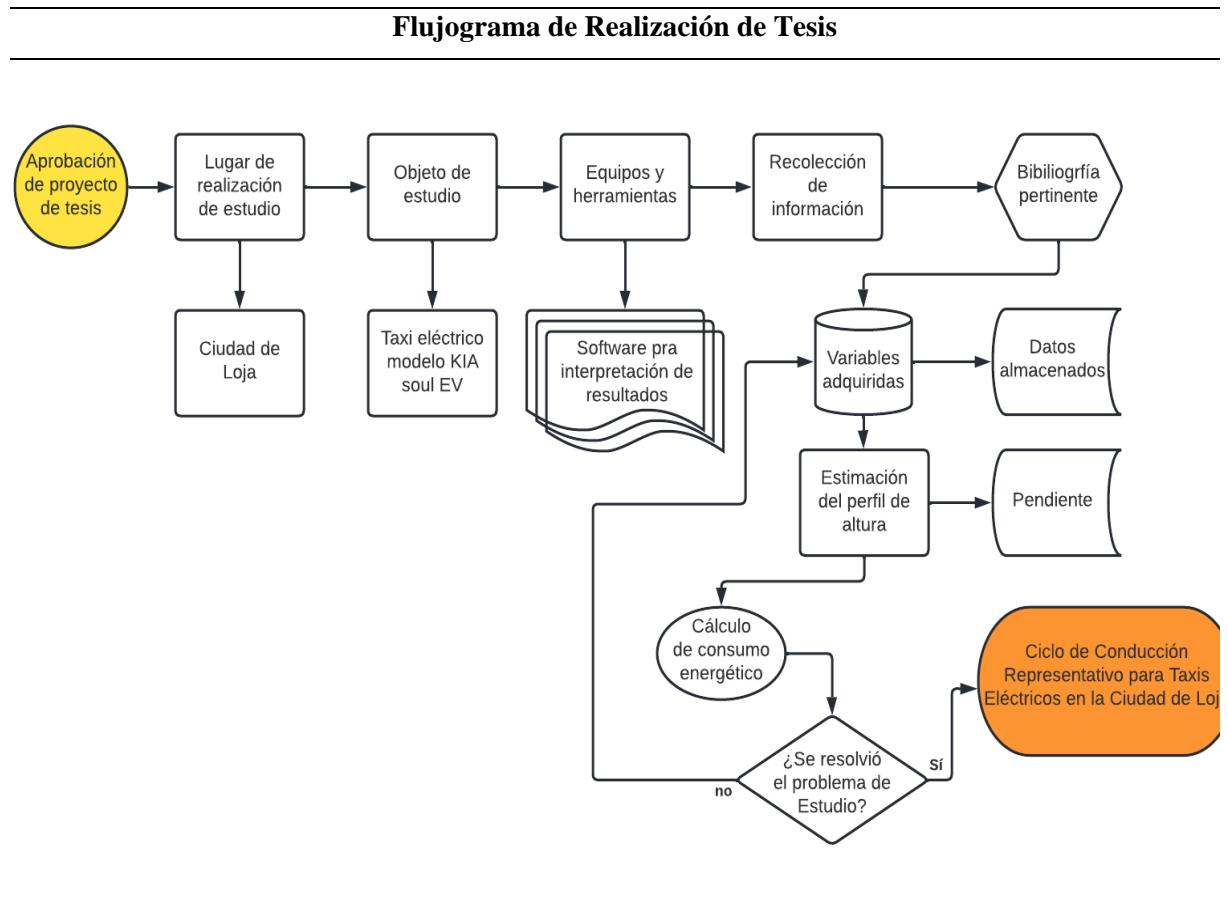
5. Capítulo 2. Marco Metodológico

5.1. Flujograma de Metodología

En la Tabla 4 se muestra el proceso general para la realización del presente proyecto de tesis, el cual inicia una vez aprobado el anteproyecto y culmina con la obtención del CD representativo para EV.

Tabla 4.

Flujograma de realización de tesis



Nota. Flujograma creado en <https://www.lucidchart.com/pages/es>.

5.2. Objeto de Estudio

Vehículo Eléctrico de la compañía de taxi “ELECTRI LOJA ECOLOSUR S.A.”, modelo KIA Sould EV 2016, el cual es mostrado en la Figura 16, fue empleado en el presente trabajo así mismo sus características se muestran en la Tabla 5.

Figura 16.

Taxi Eléctrico modelo KIA Sould EV.



Nota. Adaptado de *TAXIS ELÉCTRICOS EN LA CIUDAD DE LOJA "ACIERTOS Y DESAFÍOS"*, (Jaramillo, 2019).

Tabla 5.

Características ofertadas por la comercializadora de los vehículos Kia Soul EV.

Característica	KIA modelo SOUL EV
Autonomía	212 km
Consumo/100 Km	12.7 kWh
Consumo/Km	0.127 kWh
Voltaje de batería	360 V
Potencia máx.	81.4 kW
Energía de batería	27 kWh
Capacidad de batería	75 Ah
Perdida de carga	10%
Consumo en conducción	11.43 kWh
Energía neta necesaria	22.86 kWh
Energía bruta necesaria	24.063 kWh
Refrigeración de Batería	Por aire
Celdas	192
Módulos	8
Ventana del SOC (%)	5~95
Garantía	200 000 km

Maletero	281 litros
Capacidad de pasajeros	5
Largo	4 180 mm
Ancho	1 800 mm
Alto	1 600 mm
Aceleración de 0 a 100 Km/h	11.2 s
Velocidad máxima	145 km/h
Precio (Exonerado de impuestos)	USD \$ 34,000
Financiamiento CFN	70%
Plazo de Financiamiento	5 años
Cuota Mensual	USD \$525

Nota. Kilometro: km; kilovatio hora: kWh; kilovatio kW; milímetro: mm; segundo: s; dólares: \$. Algunos datos son calculados y pueden ser verificados en el Anexo 1.

5.3. Lugar del Estudio

El presente trabajo se lo realizó en la ciudad de Loja con beneficio para toda la comunidad lojana, especialmente a los propietarios de los taxis eléctricos.

La ciudad de Loja posee una altitud promedio de 2100 msnm, se ubica en un área de clima templado andino, con temperaturas que fluctúan entre los 16 y 21°C (UTPL, n.d.).

Los límites territoriales son: al Norte con la provincia del Azuay, al Sur y Este con la provincia de Zamora Chinchipe y al Oeste con la provincia de El Oro y la República del Perú.

5.4. Equipos y Herramientas

- Equipo de monitoreo OBDLINK® MX + (Anexo 2, Anexo 3).
- Aplicación OBDlink (Anexo 4)
- Hoja de recepción de carreras (Anexo 6).
- Lenguaje de programación desarrollado en Labview.
- Software apropiado para la interpretación de resultados (Matlab 2020, Excel, etc.)

Para cerciorarse de las características del equipo de monitoreo de señales y GPS revisar el Anexo 2, Anexo 3 y el Anexo 4.

Monitoreo de Variables de Interés del EV en Tiempo Real

El proceso de recolección de información, se lo efectuó a través del equipo de diagnóstico OBDLINK® MX +, el cuál posee características como:

- El adaptador Bluetooth OBD-II.
- Aplicaciones gratuitas de iOS, Android y Windows incluidas
- Modo de bajo consumo de la tecnología BatterySaver™
- Registro de información a través de la aplicación propia del equipo OBDLink del mismo fabricante
- GPS incluido

Además, se utilizó la aplicación OBDLink, con el fin de obtener datos GPS de una tasa de actualización (1Hz) con ello se conocerá la posición en tiempo real del vehículo para calcular la pendiente en conducción, el cual es un parámetro importante junto con la base de datos para la realización del ciclo de conducción.

Establecimiento de Base de Datos de las Variables Adquiridas

En la creación de la base de datos, el equipo de diagnóstico posee una memoria micro-USB extraíble, que después de un día de monitoreo logra obtener la información del OBD II y datos del GPS a través del archivo creado por la aplicación OBDLink. Posterior al monitoreo se realiza un tratamiento de datos en Excel, para cada uno de los días de muestreo, concerniente a los 24 días.

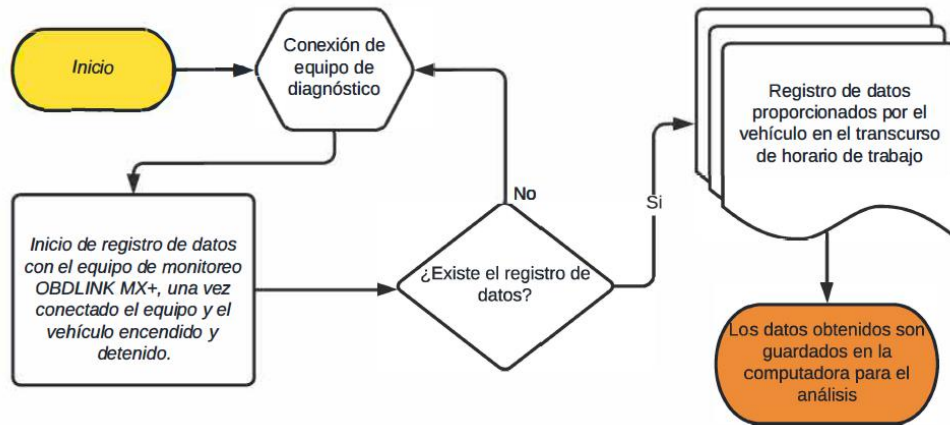
Proceso de Registro de Información

En la Tabla 6 se muestra el proceso de la adquisición de los datos una vez conectado el datalogger al puerto OBD II. Una vez concluido el proceso de registro de información culminada la jornada laboral se procede a pasar los datos a la computadora personal para su análisis y revisión.

Tabla 6.

Flujograma de adquisición de datos.

Adquisición de Datos



Nota. Flujograma creado en <https://www.lucidchart.com/pages/es>.

Conexión de equipo de diagnóstico y monitoreo. El equipo de diagnóstico y monitoreo OBDLINK MX+ se lo conecta en el puerto OBD II localizado en la parte inferior izquierda del vehículo eléctrico KIA Soul EV para el inicio del registro de la información, como muestra la Figura 18.

Figura 17.

Conexión del equipo.



Nota. Fotografía tomada en el puerto DLC del taxi eléctrico.

Inicio de registro de datos. El promedio en horas de trabajo del taxista es de 11.984 horas, aproximadamente 12 horas. La jornada laboral empieza a las 3:00 am, periodo de tiempo en el cual el equipo de diagnóstico muestrea datos cada segundo de la información proporcionada por la ECU del vehículo.

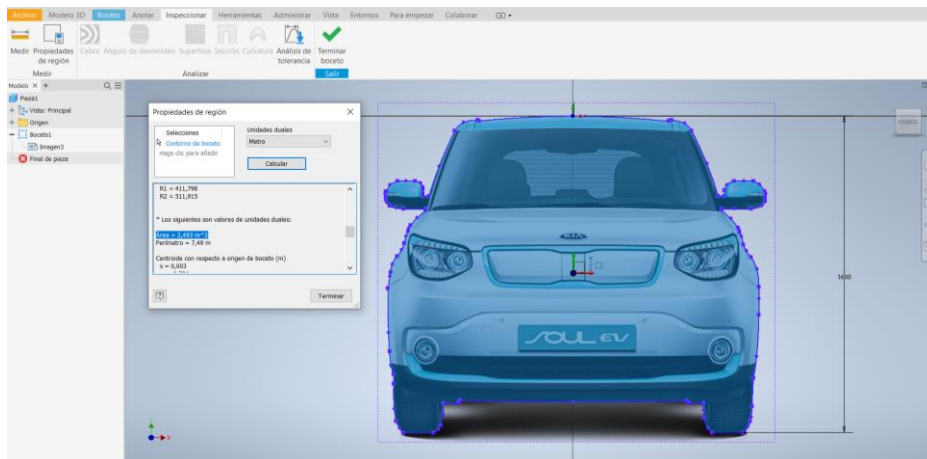
Además, los datos de longitud, latitud y altura son proporcionadas por la aplicación OBDLink el cual inicia su registro de manera manual en un instante antes de partir el vehículo, es decir en velocidad 0.

Variables Adicionales Necesarias para el Estudio

Área frontal. El área frontal del vehículo se lo puede determinar a través del programa Inventor, en el cual se escala la imagen a la altura del vehículo y se procede a limitar la superficie de la misma. La altura es un dato dado por el fabricante. Una vez delimitada la superficie se da click en el boceto del diseño y se elige la opción “Propiedades de Región”, como muestra la Figura 19, y con ello se determina el área frontal de $A_f = 2.3 \text{ m}^2$.

Figura 19.

Obtención del área frontal del KIA Soul Ev.



Nota. Unidad m^2 .

Radio de Rodadura Dinámico. Para determinar el Par (τ) es necesario conocer el radio de rodadura dinámico o radio efectivo (rd). Se empieza calculando el radio de rodadura estático con la ayuda de la designación del neumático dada por el fabricante (Anexo 5), (*Kia_SOUL_EV.Pdf*, n.d.).

Neumático: 205/60 R16

La Ec. 11 del radio estático es (Di Rado et al., 2013):

$$r_{est} = 0.5 * \left[\left(A_r \cdot 2 \cdot R_{h/a} \% \right) + \left(25.4 \frac{mm}{n} \cdot D_{rin} \text{in} \right) \right] = 326.2 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 11})$$

En donde:

r_{est} = Radio estático [mm]

A_r = Ancho de rueda [mm]

$R_{h/a}$ = Relación alto/ancho [%]

D_{rin} = Diámetro de rin [in]

Una vez conocido el radio de rodadura estático se procede a calcular el radio dinámico, el cual es un valor que se encuentra entre el 96 y 98 por ciento del radio estático (Di Rado et al., 2013). El valor de r_{est} es 326.2mm por lo que el valor de r_d viene dado por la Ec.12:

$$r_d = r_{est} * 0.97 = \mathbf{316.414 \text{ mm}} \quad (\text{Ec. 12})$$

Coefficiente de Resistencia Aerodinámico (cd). Es la resistencia que se opone al flujo del aire en los vehículos (Fraija, 2006). Para el presente estudio el C_d del vehículo KIA Sould EV es de $C_d = \mathbf{0.33}$ dato proporcionado por la ficha técnica (Noya, 2018).

Coefficiente de Resistencia a la Rodadura. El f_r es un factor adimensional que relaciona en su valor los efectos de de las propiedades físicas del neumático y el suelo. Un estudio realizado por (Vélez & Vera, 2016) determina que el f_r para el KIA solud EV es de un promedio de $f_r = \mathbf{0.017}$, ya que este valor varía dependiendo del tipo de suelo.

Peso Bruto Vehicular. Este valor es la suma del peso del vehículo y la carga máxima de personas y equipaje, incluido el conductor. El vehículo Kia Sould EV tiene una capacidad en vacío de 1492 kg y una capacidad para 5 personas, lo cual es indicado por el fabricante (KIA Motors, 2017), además se conoce que la masa promedio de las personas es 70 Kg (NTE INEN 1323, 2009), y con ello se conoce la masa bruta vehicular es de 1842 kg.

Densidad del aire. Se puede calcular en función de la presión atmosférica, constante universal de los gases ideales y la temperatura (Vélez & Vera, 2016). En la ciudad de Loja la densidad del aire es de 0.88 kg/m^3 o se la puede calcular a través de la Ec.13:

$$\varphi = \frac{p}{R*T} \quad (\text{Ec. 13})$$

En donde:

φ = Densidad del aire	[kg/m ³]
p = Presión atmosférica	[kPa]
R = Constante universal de los gases ideales	[kPa * $\frac{m^3}{kg}$ * K]
T = Temperatura del aire	[K]

A continuación, en la Tabla 7 se muestra un resumen de las variables adicionales necesarias para el estudio:

Tabla 7.

Variables necesarias para el estudio.

Variable	Valor	Unidad
----------	-------	--------

Área frontal.	$A_f = 2.3$	m^2
Radio de rodadura dinámico	$r_d = 316.414$	mm
Coefficiente de Resistencia Aerodinámico	$C_d = 0.35$	-
Coefficiente de Resistencia a la Rodadura	$f_r = 0.017$	-
Peso Bruta Vehicular	$M = 1842$	kg
Densidad del aire	$\rho = 0.88$	kg/m^3
Gravedad	$g = 9.81$	m/s^2

Nota. Las variables mostradas son de suma importancia, ya que si no se especifica alguna no se podrá crear el ciclo de conducción.

Base de Datos de las Variables Adquiridas

En la Tabla 8 se observa todos los parámetros tomados en cuenta para el presente proyecto, los cuales sumados equivalen a 1 035 417 de datos de cada uno de los parámetros, es decir, que por cada parámetro mostrado existirán 1 035 417 datos, en los 24 días de monitoreo.

Tabla 8.

Resumen de parámetros establecidos en el proceso de obtención del ciclo de conducción.

Base de Datos						
Días	Número de datos	ODB Link MX+	Programación	Variables Indirectas	Registro manual	
1	27575	- Altitud	- Energía de batería	- Aceleración	- Horario de trabajo de taxi	
2	42189			- Distancia		
3	49775			- Energía de batería		- Altitud
4	35291			acumulada		corregida
5	51636					- Pendiente
6	36876					- Resistencia de
7	33726	- Latitud	- Energía positiva	- Resistencia de		
8	41911			de cada carrera	arrastre	
9	35958				- Resistencia a la	
10	30882	- Longitud	- Velocidad sensor	rodadura	- Registro de carreras	
11	49343			VSS		- Resistencia a la
12	51317					pendiente
13	51631					- Resistencia a la
14	52995					inercia
15	50116	- Tiempo	- Intensidad de		- Número de carreras	
16	46802			batería		- Fuerza en
17	41099					rueda
18	52135					- Torque
19	40949			- Potencia		
20	51419		- Voltaje de batería	- Energía		
21	32968					

22	38177				
23	49558				– Número de pasajeros para definir la masa
24	41069			– Rendimiento de batería	

Nota. El número de datos es el mismo que los segundos registrados ya que la frecuencia de almacenamiento del OBDLink MX+ es de 1 Hz.

5.5. Estimación del Perfil de Pendiente

En la estimación del perfil de altura, se la desarrolló en función de los datos adquiridos por el GPS de la aplicación OBDLink, en dichos datos constan altitud, latitud, pendiente, entre otros. Con ello se logró calcular lo referido al perfil de altura de la ruta más concurrida por el objeto de estudio.

Sin embargo, para conocer con exactitud los valores de pendiente reales, se utiliza una normativa europea “Reglamento UE 646 2016”, para la corrección de la altitud y por ende de pendiente, por el motivo de que el GPS registra la información en cada segundo y los datos entre el intervalo de un segundo no se muestran, sumado a sectores geográficos en donde el GPS no registra los valores con exactitud, es por ello de la utilización del reglamento.

Utilización del Reglamento UE 646 2016

Se aplicará el Reglamento UE 646 de 20 de abril de 2016 (S. García, 2016), para la corrección de altitud necesaria para los cálculos de consumo energético.

La corrección consta de varias fases las cuales son mostradas a continuación:

Primera corrección de altitud $h(t)$. Se realiza una comprobación de datos en los cuales no debe haber falta de los mismos en espacios de tiempo, sin embargo, si existe estos espacios se deberá interpolar y corregir a través de la siguiente condición:

$$|h_{GPS}(t) - h_{map}(t)| > 40 \text{ m} \quad (\text{Ec. 14})$$

Esta corrección de altitud se aplicará de forma que: $h(t) = h_{map}(t)$ siempre que se cumpla la condición, de no ser el caso $h(t) = h_{GPS}(t)$.

Donde:

$h(t)$ = altitud del vehículo tras el examen y la verificación fundamental de la calidad de los datos en el punto de un determinado intervalo de tiempo t. [msnm]

$h_{GPS}(t)$ = altitud registrada por GPS del equipo OBDLink Mx + el punto de datos t. [msnm]

$h_{map}(t)$ = altitud GPS Visualizer el punto de datos t. [msnm]

Segunda corrección de altitud $h_{corr}(t)$. Si la desviación de $h(t)$ es superior a 40 m se corregirá siempre y cuando se dé la siguiente condición:

$$|h(t) - h(t - 1)| > \left(\frac{v(t)}{3.6} * \sin 45^\circ \right) \quad (\text{Ec. 15})$$

Esta corrección de altitud se aplicará de forma que: $h_{corr}(t) = h_{corr}(t - 1)$, siempre que se cumpla la condición, de no ser el caso $h_{corr}(t) = h(t)$.

Donde:

$h(t - 1)$ = altitud del vehículo tras el examen y la verificación fundamental de la calidad de los datos en el punto de datos t-1. [msnm]

$v(t)$ = velocidad del vehículo en el punto de datos t. [km/h]

$h_{corr}(t)$ = altitud instantánea corregida del vehículo en el punto de datos t. [msnm]

$h_{corr}(t - 1)$ = altitud instantánea corregida del vehículo en el punto de datos t-1. [msnm]

Tercera corrección de altitud interpolada $h_{int}(d)$. Se calculará a partir de datos con una resolución espacial constante de 1 m, empezando desde la primer medida al empezar un trayecto $d(0)$. Los puntos de datos discretos de 1 m se denominan puntos de ruta y se caracterizan por un valor de distancia específico d (como, por ejemplo, 0, 1, 2, 3 m ...) y su correspondiente altitud $h(d)$ (msnm). La altitud de cada punto de ruta discreto d se calculará interpolando la altitud instantánea $h_{corr}(t)$ como:

$$h_{int}(d) = h_{corr}(0) + \frac{h_{corr}(1) - h_{corr}(0)}{d_1 - d_0} * (d - d_0) \quad (\text{Ec.16})$$

Donde:

$h_{int}(d)$ = altitud interpolada en el punto de ruta discreto considerado d . [msnm]

$h_{corr}(0)$ = altitud corregida inmediatamente antes del respectivo punto de ruta d . [msnm]

$h_{corr}(1)$ = altitud corregida inmediatamente después del respectivo punto de ruta d . [msnm]

d = distancia acumulativa recorrida hasta el punto de ruta discreto considerado d .
[m]

d_0 = distancia acumulativa recorrida hasta la medición inmediatamente antes del respectivo punto de ruta d .
[m]

d_1 = distancia acumulativa recorrida hasta la medición inmediatamente después del respectivo punto de ruta d .
[m]

Primer suavizado de pendiente Roadgrade,1(d). Los datos de altitud obtenidos con respecto a cada punto de ruta discreto se suavizarán siguiendo un procedimiento de dos fases, d_a y d_e los cuales son los puntos de ruta primero y último, respectivamente. El suavizado de la pendiente en el punto de ruta discreto considerado desde la la primera ronda de corrección de altitud se la obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d + 200m) - h_{int}(d_a)}{(d + 200m)} \text{ para } d \leq 200m$$

$$road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d + 200m) - h_{int}(d - 200m)}{(d + 200m) - (d - 200m)} \text{ para } 200 m < d < (d_e - 200 m)$$

$$road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d_e) - h_{int}(d - 200m)}{(d_e) - (d - 200m)} \text{ para } d \geq (d_e - 200 m)$$

(Ec. 17)

Donde:

$road_{grade,1}(d)$ = pendiente de la carretera suavizada en el punto de ruta discreto considerado tras la primera ronda de suavizado.
[m/m]

d_a = punto de ruta de referencia a una distancia de 0 metros.
[m]

d_e = distancia acumulativa recorrida hasta el último punto de ruta discreto.
[m]

Cuarta corrección: Altitud interpolada suavizada $h_{int, sm, 1}(d)$. Este suavizado de altitud se lo realiza tomando en cuenta el primer suavizado de pendiente, mediante:

$$h_{int,sm,1}(d) = h_{int,sm,1}(d - 1 m) + road_{grade,1}(d), d = d_a + 1 \dots a \dots d_e$$

$$h_{int,sm,1}(d_a) = h_{int}(d_a) + road_{grade,1}(d_a)$$

(Ec. 18)

Donde:

$h_{int,sm,1}(d)$ = altitud interpolada suavizada, tras la primera ronda de suavizado en el punto de ruta discreto considerado d . [msnm]

Segunda ronda de suavizado de pendiente Roadgrade,2(d). Esto corresponde a la pendiente de la carretera suavizada en cualquier punto de ruta, la cual se la obtiene a través de:

$$road_{grade,2}(d) = \frac{h_{int,sm,1}(d + 200m) - h_{int,sm,1}(d_a)}{(d + 200m)} \text{ para } d \leq 200m$$
$$road_{grade,2}(d) = \frac{h_{int,sm,1}(d + 200m) - h_{int,sm,1}(d - 200m)}{(d + 200m) - (d - 200m)} \text{ para } 200 m < d < (d_e - 200 m)$$
$$road_{grade,2}(d) = \frac{h_{int,sm,1}(d_e) - h_{int,sm,1}(d - 200m)}{(d_e) - (d - 200m)} \text{ para } d \geq (d_e - 200 m)$$

(Ec. 19)

Donde:

$road_{grade,2}(d)$ = pendiente de la carretera suavizada en el punto de ruta discreto considerado tras la segunda ronda de suavizado. [m/m]

Después de aplicar las ecuaciones, se obtendrá la altitud final corregida, correspondiente a la cuarta corrección: altitud interpolada suavizada $h_{int, sm, 1}(d)$, y la pendiente EU 646, correspondiente a la segunda ronda de suavizado de pendiente $Roadgrade,2(d)$. Una figura de ejemplo de lo explicado se encuentra en el Anexo 9.

5.6. Creación del CD Representativo por Carreras

Obtención de los Datos por Carrera del Vehículo

En la jornada diaria de trabajo del taxi eléctrico, al conductor se le entregó una tabla con formato establecido para el registro de la duración de las carreras, el horario de las carreras, número de pasajeros por carrera y así mismo de elementos esenciales.

Estos datos se los relacionó de manera manual a los datos de la ECU que el OBD Link MX+ proporcionó.

Matlab para la Separación de Datos. Anteriormente se mencionó que el ciclo de conducción será en función de las carreras, y para lograr una correcta separación de los valores mencionados de la base de datos general se utiliza el programa Matlab R2020^a.

A continuación, en la Figura 20 se presenta un ejemplo de la ventana de comandos de Matlab en la que se aprecia el código de programación para la separación de los datos por carrera.

Se realiza el proceso para cada uno de los días, simplemente cambiando el número de datos que hay que leer en el comando “celda_fin”, mandando a correr y luego cambiando el valor de los datos del día siguiente hasta completar los 24 días.

Figura 20.

Ventana de editor en Matlab.

```

1 - clc; clear all
2 - celda_fin=27581;
3 - tiempo=xlsread("dias",1,'A3:A27578'); %Importo los datos de tiempo
4 - EFd=xlsread("dias",1,'B3:B27578'); %Importo los datos de tiempo
5 - ERx=xlsread("dias",1,'C3:C27578'); %Importo los datos de tiempo
6 - ERg=xlsread("dias",1,'D3:D27578'); %Importo los datos de tiempo
7 - ERi=xlsread("dias",1,'E3:E27578'); %Importo los datos de tiempo
8 - Carrera=xlsread("dias",1,'F3:F27578'); %Importo los datos de tiempo
9 - Ebat=xlsread("dias",1,'G3:G27578'); %Importo los datos de energía de batería
10 - Ebat_p=xlsread("dias",1,'H3:H27578'); %Importo los datos de energía de batería positiva
11 - Ebat_n=xlsread("dias",1,'I3:I27578'); %Importo los datos de energía de batería negativa
12
13
14 - car=(find(Carrera)); %Separo las posiciones donde los datos de Carrera donde vale 1
15 - tiempo1=tiempo(car); %Son los tiempos donde hubo carrera
16
17 - cont=0;
18 - Ncarreras=[]; %Número de carreras con los tiempos
19 - i=1;
20 - for k=i:length(car)-1
21 -     if (car(k+1,1)-car(k,1))==1
22 -         inicio=1+cont;
23 -         fin=k+1;
24 -     else
25 -

```

Nota. Captura de pantalla del código de programación necesario para la separación de los datos por carrera.

En la ventana de editor se creará el código de programación (Anexo 7) para la separación de valores, este código tendrá como fin encontrar los valores de energía de cada una de las fuerzas que intervienen en el movimiento de vehículo en los instantes que se encuentre en carrera, así mismo se conoce el número de carreras que se realizaron a diario.

Mínimas Diferencias Ponderadas (MWD-CP) como Método de Creación del Ciclo Típico de Conducción (TDC)

En la creación del ciclo de conducción constan el registro de datos diario, muestreo de ciclos de conducción por carrera y selección del ciclo representativo, mediante datos de GPS y en este caso sumado los datos del equipo de diagnóstico.

Para encontrar el TDC para vehículos eléctricos de todos los ciclos por carrera ya establecidos, tendremos que ponderar cada parámetro de energía para de esa manera identificar el valor de ponderación (PV) que influyen en el total de consumo energético.

El método se simplifica en la siguiente fórmula (Huertas et al., 2018):

$$C = Arg \left\{ \min_j (\sum \omega_i |P_{ij} - \bar{P}_i|) \right\} \quad (\text{Ec. 20})$$

P_{ij} es el valor del parámetro i obtenido para el ciclo j . Se calcula la media aritmética para cada parámetro en todos los ciclos de la muestra (\bar{P}_i). Luego se compara cada parámetro característico con respecto al valor promedio del mismo parámetro, para todos los ciclos muestreados ($|P_{ij} - \bar{P}_i|$), a continuación, se suman las diferencias obtenidas para cada parámetro.

Hay que tomar en cuenta que algunos parámetros son más relevantes que otros en la obtención del consumo de energía. Por lo tanto, la suma de las diferencias debe ponderarse de acuerdo con la relevancia de cada parámetro en la determinación del consumo energético.

Finalmente, al TDC se lo selecciona del ciclo C (Ec. 20) con el menor valor de suma de las diferencias ponderadas.

6. Resultados

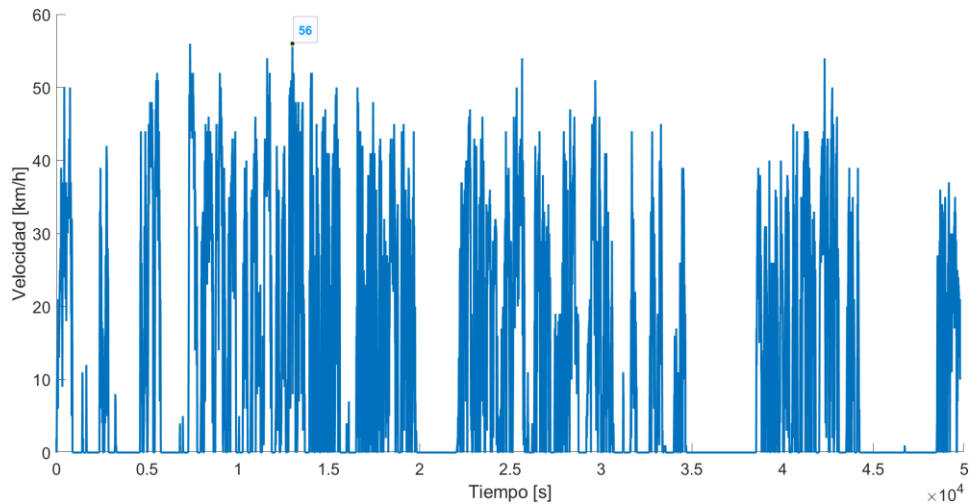
6.1. Obtención de Velocidad y de Variables Relacionadas con el Posicionamiento del Vehículo en Tiempo Real

Perfil de Velocidad Diario del EV

En la Figura 21, se muestra un ejemplo de la velocidad lineal del vehículo con respecto al tiempo del día 3, en la que se destaca una velocidad máxima de 56 km/h y una duración de jornada laboral del taxista de 13 horas, 49 minutos y 35 segundos. Además, parámetros importantes del ciclo del día 3 se muestran en la Tabla 9.

Figura 21.

Velocidad con respecto al tiempo.



Nota. Grafica realizada en Matlab 2020.

Tabla 9.

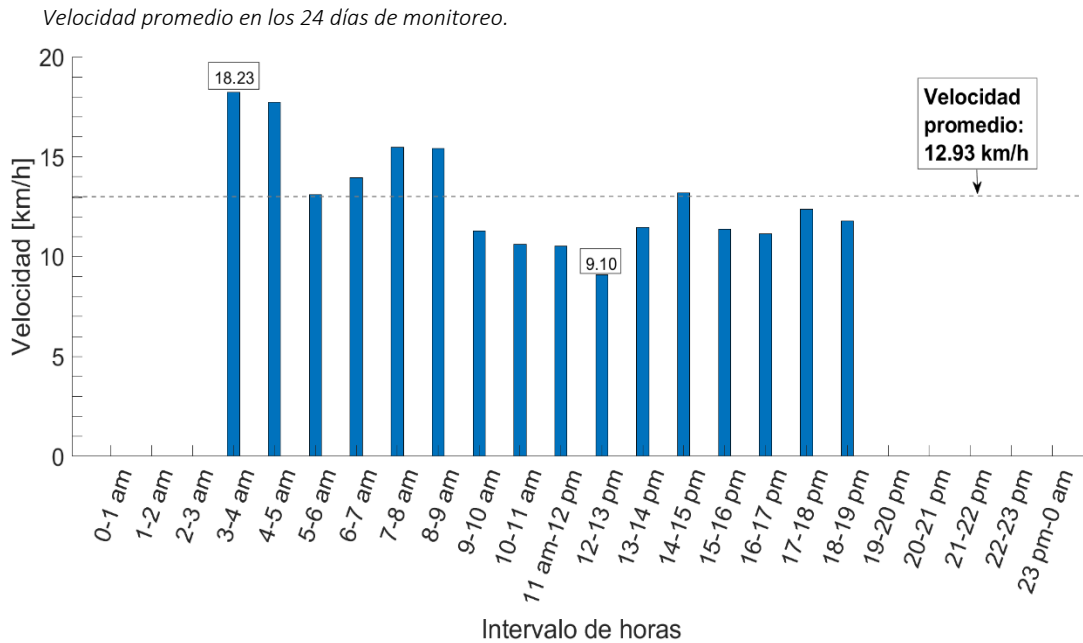
Recorrido del día 3.

Datos del Ciclo y Vehículo		
Duración de ciclo	49775	[s]
Distancia recorrida	164.8686	[km]
Velocidad promedio	11.92395934	[km/h]
Velocidad máxima	56	[km/h]
Detenido	51.93	[%]
Velocidad constante	14.44	[%]
Aceleración	18.20	[%]
Desaceleración	15.44	[%]

A continuación, en la Figura 22, se muestra la velocidad promedio de los 24 días de monitoreo por intervalo de horas en las que el conductor cumplió su jornada laboral que inicia desde las 3:00 am a 19:00 pm.

Así mismo, se puede apreciar una velocidad máxima de 18.23 km/h en el intervalo de 3:00 a 4:00 am, una velocidad mínima de 9.10 km/h en el intervalo de 12:00 a 13:00 pm, y una velocidad promedio de 12,93 km/h.

Figura 22.



Nota. Gráfica en la que se muestra la velocidad promedio junto con la velocidad máxima y mínima registrada en el periodo de monitoreo.

En lo que respecta al valor de la velocidad máxima, se encuentra elevado por motivo de que existe reducido tráfico vehicular en dicho intervalo de hora, por lo que la velocidad del vehículo es más constante.

Y en lo que respecta al valor de la velocidad mínima, es reducido porque se encuentra en un intervalo de hora con la presencia de tráfico elevado sumado a esto factores de consumo de alimentos/descanso.

Aceleración del EV

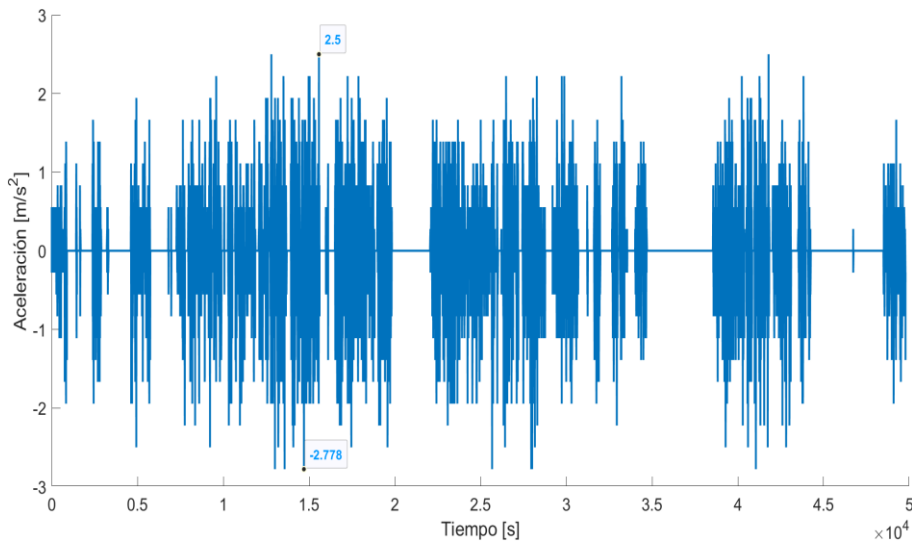
En la Figura 23 se aprecia el comportamiento gráfico de la aceleración medida del día 3, la cual se la obtuvo derivando a la velocidad respecto al tiempo:

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (\text{Ec. 21})$$

Una vez obtenido los datos de la operación, se registró en el día 11 una aceleración positiva máxima de 2.5 m/s^2 y una desaceleración máxima de -2.78 m/s^2 , datos normales para vehículos eléctricos, debido a que sueltan toda su potencia desde cero revoluciones lo que dota de una aceleración superior a los vehículo con MCI (Híbridos y Eléctricos, 2017).

Figura 23.

Aceleración medida.



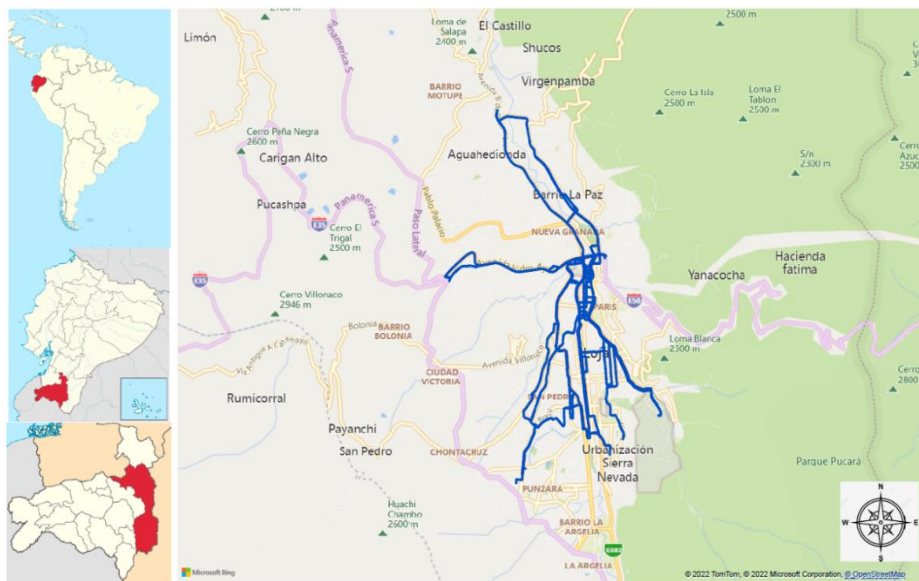
Nota. Gráfica de aceleración necesaria para verificar si los datos obtenidos de velocidad poseen coherencia.

Variables Geográficas del EV

En la Figura 24 se aprecia el recorrido del taxi eléctrico en el día 3, realizado en la ciudad de Loja, en la que destaca un recorrido de 164.86 km. La distancia promedio de recorrido de los 24 días de monitoreo es de 152.99 km, valor que se encuentra alejado de los 212 km de autonomía que ofrece el fabricante, sin embargo, hay que toma en cuenta que el conductor no trabajaba hasta descargar por completo la batería y también cabe recalcar que existían días en donde no completaba su jornada laboral. Por todo esto el valor de recorrido promedio es alejado de la que denota el fabricante.

Figura 24.

Recorrido del día 3.



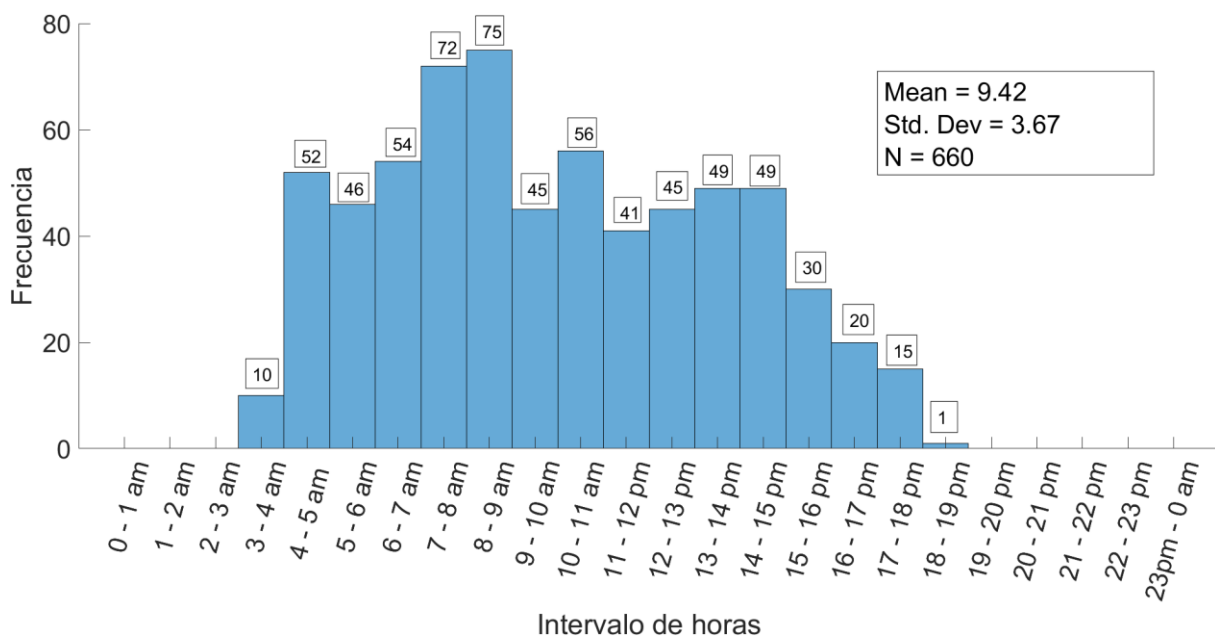
Nota. Mapa satelital del recorrido del día 3, tomado como ejemplo.

Se conoció que durante los 24 días de registraron 660 carreras como se muestra en el histograma de la Figura 25, siendo el intervalo de 8:00 a 9:00 am en el que se realizaron el mayor número de las mencionadas carreras, las cuales son 75, y de 18:00 a 19:00 pm el intervalo en el que se realizaron el menor número de ellas, siendo apenas 1 sola carrera.

Estos valores se dan por motivo de la parada principal del taxi eléctrico en el terminal terrestre, ya que el taxista obtiene más carreras al recoger pasajeros directo desde los buses interprovinciales, y por el fin de jornada de trabajo, ya que en solo un día trabajo en el intervalo de 18:00 a 19:00 pm.

Figura 25.

Histograma carreras por intervalo de horas.



Nota. Un dato importante es que el 75 % de las carreras se realizan en el horario de madrugada/mañana.

A las 9 horas con 25 minutos se producen el 50% de las carreras de todos los 24 días. El taxista tiene la jornada laboral promedio de 12 horas al día.

A demás, se conoce que el taxi eléctrico estuvo 303 565 segundos en carrera o con pasajeros lo que equivale a 84 horas, 19 minutos y 25 segundos, siendo el 29.26% del tiempo total de monitoreo en los 24 días. Lo que representa un tercio de la jornada laboral, siendo el tiempo restante tiempo de búsqueda o espera de pasajeros, tiempo de desayuno, almuerzo y asuntos personales diarios del conductor.

6.2. Perfil de Altitud y Pendiente

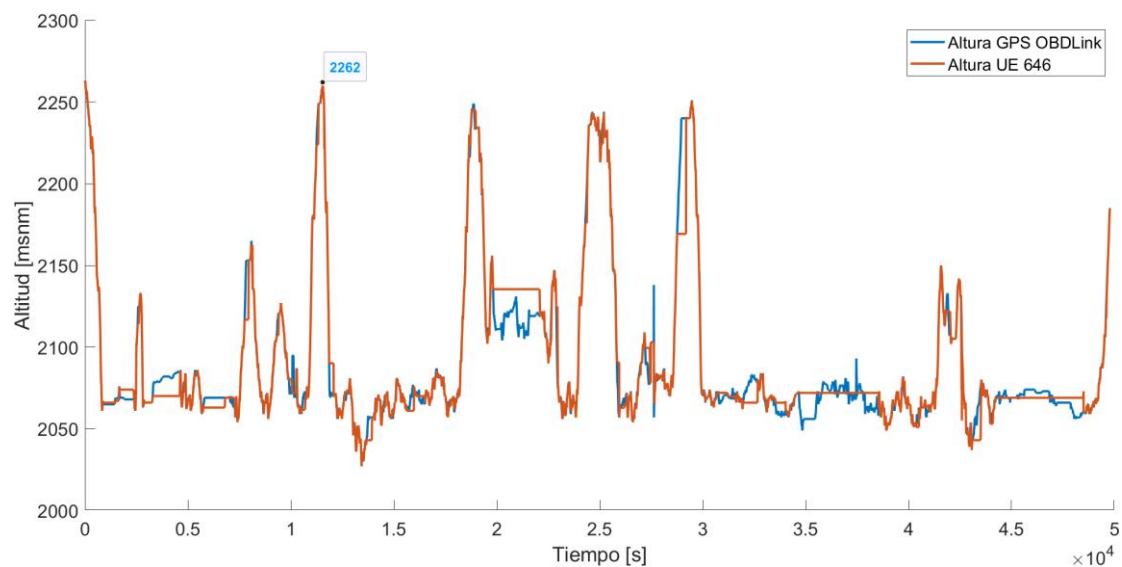
En la Figura 26 se muestra una comparativa de la altitud registrada tanto con el equipo OBDLink MX+ y la altitud corregida UE 646. Esta última presenta un mayor suavizado para todos los días, por lo que fue seleccionada para los cálculos posteriores, como ejemplo se utiliza los datos del día 3.

Se destaca una altura máxima de 2262 msnm registrada en el sector del Barrio UNE etapa 1 en la esquina de las calles Juan Cueva Serrano y Rosa Amalia Valdivieso, cerca de la Agencia Nacional de Tránsito.

El punto que corresponde a la altura máxima registrada se ubica en: latitud - 4.02324101887643 y longitud -79.2184813320636.

Figura 26.

Perfil de altitud del recorrido del día 3.



Nota. Comparación entre la altitud del GPS y la suavizada con el reglamento.

La pendiente es un factor importante para la obtención de la resistencia a la rodadura, como la resistencia a la pendiente y por ende interviene en el resultado de la fuerza en rueda, torque, potencia y energía en rueda.

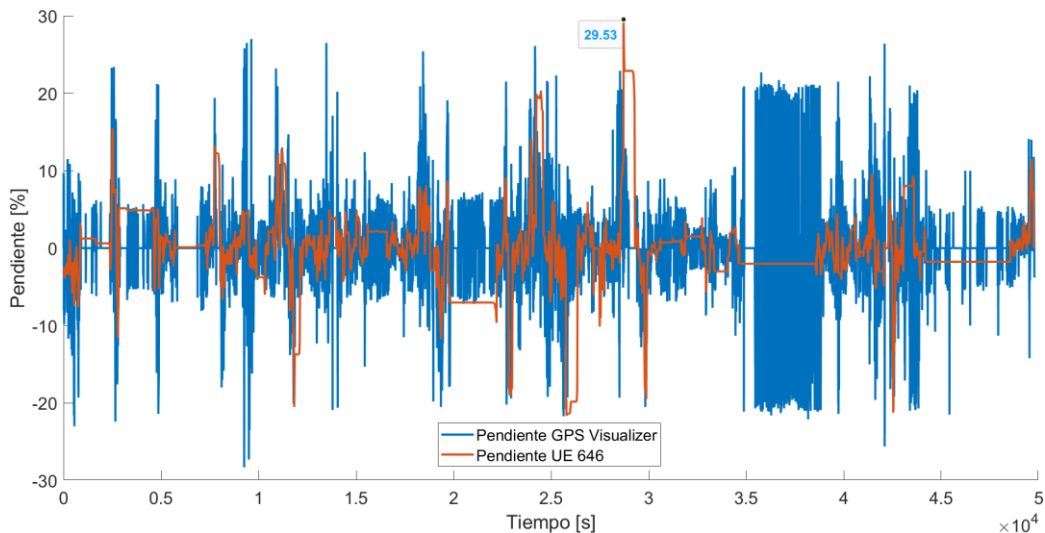
En la Figura 27, se observa el perfil de pendiente del recorrido del día 3, comportamiento de pendiente del día 3 en el que se destaca un valor máximo de 29.53 %.

El resultado de pendiente se lo obtuvo de la aplicación en línea GPS Visualizer que funciona como una herramienta en línea que crea mapas y perfiles a partir de datos geográficos,

con la mejor fuente disponible tal como se muestra en la Figura 28; posterior a eso se aplicó el suavizado haciendo uso del reglamento UE 646.

Figura 27.

Pendiente expresada en porcentaje.

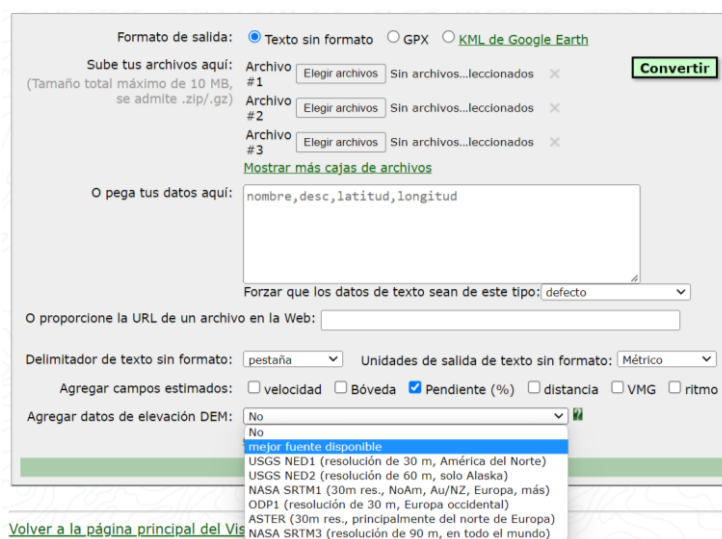


Nota. Comparación entre la pendiente del GPS Visualizer y la suavizada con el reglamento.

En la ventana de texto se pegan los datos de latitud y longitud, luego se escoge la opción pendiente con la mejor fuente disponible de datos de elevación y finalmente se convierte esos datos en pendiente:

Figura 28.

Conversión de coordenadas a pendiente.



Nota. Captura de pantalla tomada desde la página de GPS Visualizer: https://www.gpsvisualizer.com/convert_input

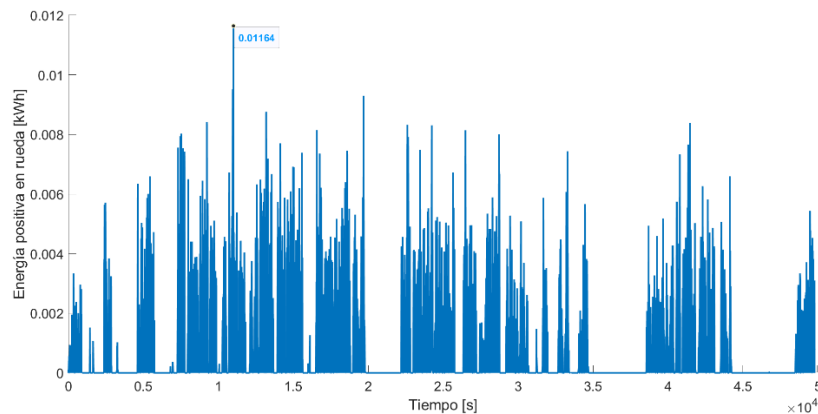
Una vez convertidos los datos de latitud y longitud se tendrá la opción de descargar el archivo en formato .txt para luego copiar los datos a un documento Excel Microsoft para su posterior análisis.

6.3. Consumo Energético en Rueda

Para que el vehículo se desplace requiere de la energía positiva en rueda la cual es mostrada en la Figura 29 para el día 3, que tiene como valor máximo 0.01164 kWh. Además, se conoció que la sumatoria de las energías positivas fue de 24.69 kWh en los 49775 datos mostrados.

Figura 29.

Energía positiva en rueda.



Nota. Al final del recorrido se obtuvo un gasto energético de 24.69 kWh

Los valores correspondientes de energía positiva para cada resistencia se muestran a continuación en la Tabla 10, siendo el consumo por inercia el que posee mayor valor (10.35kWh) representando un 41.92 % del consumo total del día. Esta resistencia es la que mayor incidencia general tiene en todos los vehículos para que se desplacen, ya que se opone a que el vehículo cambie de velocidad por tanto influye, en su capacidad de aceleración y de frenado.

Tabla 8.

Consumos de resistencia para el día 3.

Resultado de Consumo de Energía			
Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
Consumo de energía por fuerza aerodinámica [+]	E.Fd (+)	0.78	[kWh]
Consumo de energía por resistencia a la rodadura [+]	E.Rx (+)	6.87	[kWh]
Consumo de energía por resistencia por pendiente [+]	E.Rg (+)	6.68	[kWh]
Consumo de energía por resistencia por inercia [+]	E.Ri (+)	10.35	[kWh]
Consumo de energía positiva	Ex (+)	24.69	[kWh]

Nota. Consumo del recorrido diario del día 3.

La energía que representa menor consumo es la fuerza aerodinámica (0.78 kWh) con 3.15 % del consumo total del día, lo cual demuestra un valor verás ya que existe poca influencia aerodinámica en la energía total que se opone al movimiento, sin olvidar que aun así es de mucha importancia.

6.4. Definición del TDC por Carreras

Para encontrar el TDC, se expresa en porcentaje todas las energías de cada fuerza para ponderarlos de acuerdo a la influencia que tienen con el consumo de energía total de la carrera determinada a la que pertenecen, esto se muestra a continuación como resumen en la Tabla 11, las carreras correspondientes al día 11 son 27 respecto a las 660 carreras que hay en total en los 24 días de monitoreo.

Tabla 9.

Ponderación de consumos energéticos por parámetros característicos para las carreras del EV.

Resultados de Consumo de Energía							
	Número de ciclos por carrera	% E.Fd (+)	% E.Rx (+)	% E.Rg (+)	% E.Ri (+)	Ex (+) [kW/h]	Sumatori a
DIA 1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
DIA 2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....
	1	2.82741436	22.66908837	54.03080335	20.47269397	1.14155995	22.51706579
	2	5.34006345	30.74543108	28.15827163	35.75623381	0.945461252	9.151220617
	3	1.25034955	15.39268292	61.63885081	21.71811672	0.813998113	25.48128238
	4	4.18492472	26.44228482	18.94327235	50.42951807	0.289787473	1.18727849
	5	3.48366899	27.81739233	19.21586003	49.48307872	0.576240364	0.257599618
	6	4.73465033	27.18552868	2.523280338	65.55654059	0.537477351	11.63026665
	7	3.10811369	30.77602488	4.023614313	62.09224712	0.366574234	9.9824489
	8	2.85845151	32.10378972	13.73486007	51.30289862	0.230021089	3.163979299
	9	3.70471124	30.05215845	9.377651785	56.86547852	0.510519016	6.18284946
	10	4.86022579	27.990418	9.889701703	57.25965453	0.569861218	5.89014385
	11	2.14635818	30.9797045	26.29652797	40.57740942	0.145127992	6.438756394
DIA 11	12	2.60632326	24.57861587	6.187011146	66.62804971	0.264816367	12.1495143
	13	3.00904256	31.51848987	5.103308658	60.36915892	0.454168412	9.134492276
	14	2.71320289	26.83540669	28.95922975	41.49216072	0.460215869	6.126674994
	15	3.93810515	36.5654788	10.05941151	49.43700454	0.691378443	4.23711196
	16	4.16393243	37.02536922	0.577834194	58.23286413	0.103145727	10.54589611
	17	4.48865874	34.45106331	6.924166103	54.13611185	0.725558972	6.579843667
	18	3.87017263	30.80072829	8.198379268	57.13071976	0.334064837	6.758597912
	19	2.52052717	24.50107703	13.17124673	59.80714907	0.451138826	7.459328024
	20	1.18313552	23.11125053	17.4092422	58.2963717	0.11478581	6.328153317
	21	3.38693207	26.3296718	18.59430716	51.68908902	1.230705278	1.883171479
	22	3.23575015	28.41289824	12.97048131	55.38087029	0.261913868	4.277619257
	23	3.98715341	37.3801695	20.26365127	38.3690258	0.200557489	8.169250799

24	3.15902787	29.87375468	1.864413964	65.1028035	0.355338097	11.63113022
25	3.77739998	36.34523306	0.726603856	59.15076308	0.61270309	10.76549235
26	3.20550121	31.48264725	17.47033591	47.84151563	0.332933651	1.997038827
27	1.32558569	27.4184253	32.48117506	38.77481398	0.278174494	8.025854387
.....
DIA 24	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Promedio	3.06901027	28.27251472	19.35604604	49.30242902	0.462391935	100
Factor de Ponderación	0.030690102	0.282725147	0.19356046	0.49302429		1

Nota. La división y ponderación de las carreras y energías se las realizó a través de Matlab y Excel.

La carrera 5 del día 11 se define como la carrera típica; pues posee menor valor de sumatoria (0.258) lo que representa menor distancia al ciclo promedio.

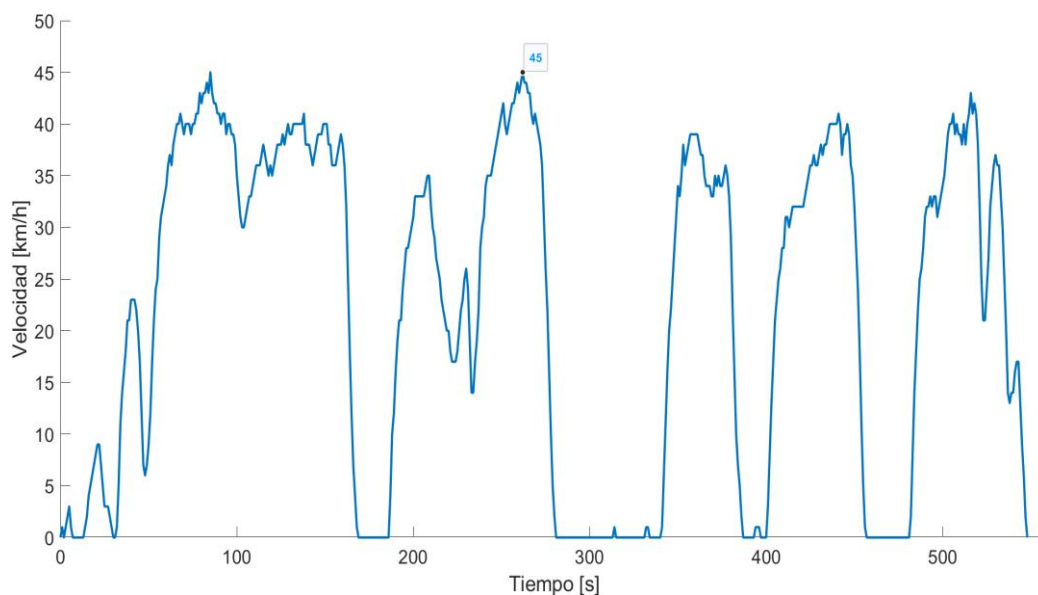
En la Figura 30, se muestra el perfil de velocidad carrera típica. El taxi eléctrico alcanzó una velocidad máxima de 45 km/h, y tuvo una duración de 9 minutos con 8 segundos, además los parámetros resumen se consultan en la Tabla 12.

Se puede apreciar que el 35.88 % del tiempo total de la jornada el taxi se encuentra en aceleración, siendo el porcentaje de mayor valor.

Esto es normal ya que para que el vehículo se mueva necesita ser acelerado a cada momento. También se aprecia que el 16.58 % el taxi está en velocidad constante, representando un valor menor y normal, por motivo de que en vías urbanas no existen muchos espacios para ir a velocidad constante.

Figura 30.

Velocidad lineal del ciclo de conducción representativo.



Nota. Presentación en una gráfica velocidad-tiempo del ciclo de conducción representativo.

Tabla 10.

Parámetros resumen del ciclo de conducción representativo.

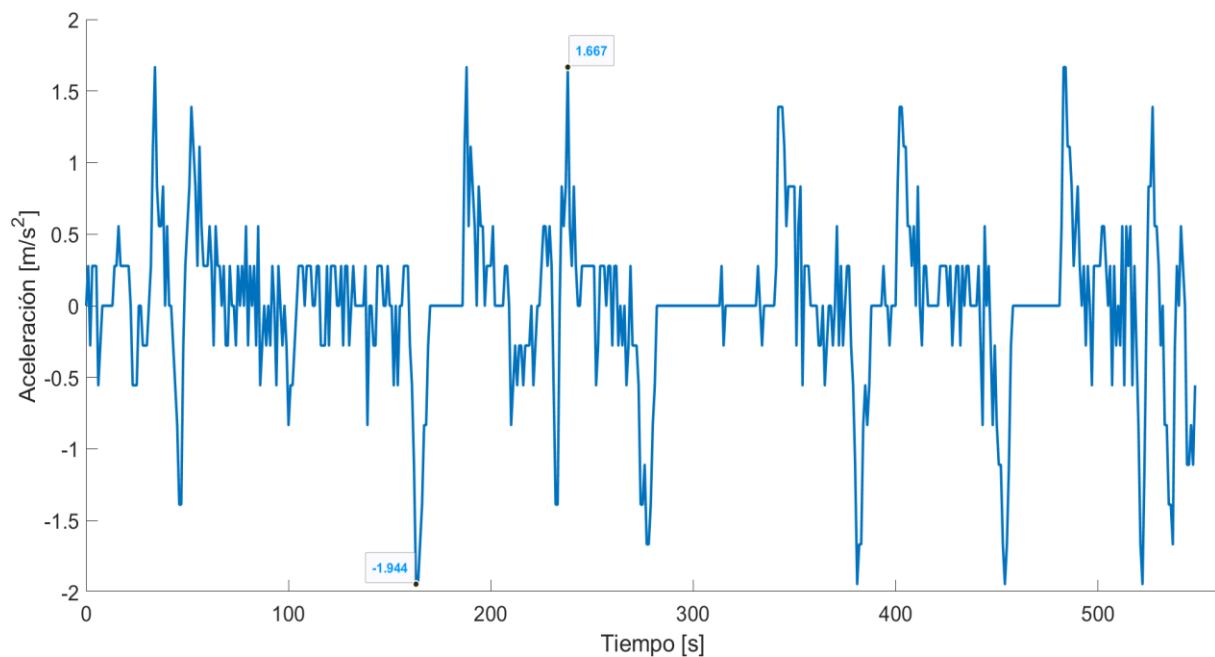
Datos del Ciclo y Vehículo		
Duración de ciclo	548	[s]
Distancia recorrida	3.40	[km]
Velocidad promedio	22.32	[km/h]
Velocidad máxima	45	[km/h]
Detenido	22.40	[%]
Velocidad constante	16.58	[%]
Aceleración	35.88	[%]
Desaceleración	25.14	[%]

Nota. Expresado en minutos y segundos el TDC dura 9 minutos y 8 segundos.

La aceleración de la carrera típica promedio es mostrada en la Figura 31. Se obtuvo un valor de aceleración máxima de 1.67 m/s^2 y un valor máximo de desaceleración de -1.94 m/s^2 .

Figura 31.

Aceleración medida del ciclo de conducción representativo.

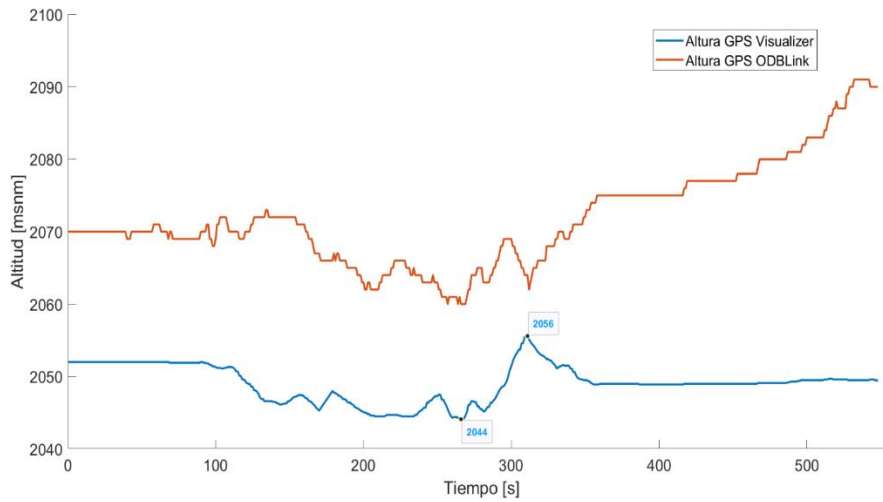


Nota. Gráfica de aceleración necesaria para verificar si los datos obtenidos de velocidad poseen coherencia.

En la Figura 32, se observa la comparativa entre la altitud de ODBLink y GPS Visualizer, esta última siendo la que mejor homogeneidad posee.

Figura 32.

Altitud de ciclo de conducción representativo.



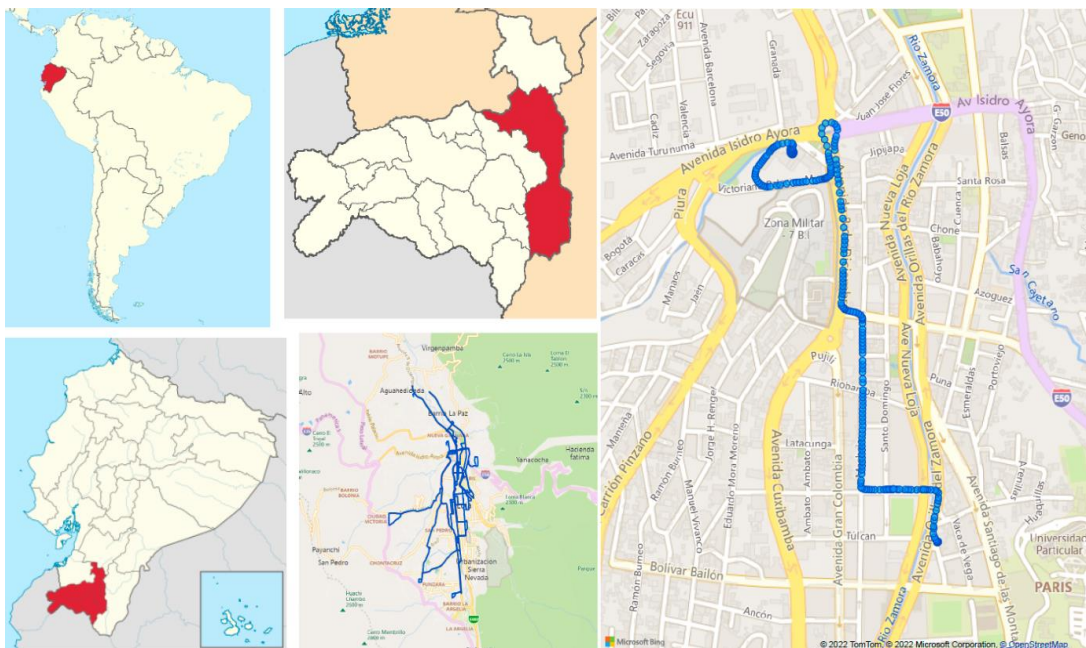
Nota. Comparación entre altura GPS Visualizer y GPS OBDLink.

También se destaca una altura máxima de 2056 msnm y una altura mínima de 2044 msnm. La altura máxima se da en la parte trasera del terminal terrestre y la altura mínima en el redondel del mismo terminal, como muestra la Figura 33.

El inicio de la TDC se realiza en la calle Bracamoros y Avenida Orillas del Zamora y termina en la parada principal de la Compañía Electrico Loja Ecolosur SA, en el terminal terrestre.

Figura 33.

Mapa satelital de la carrera típica.



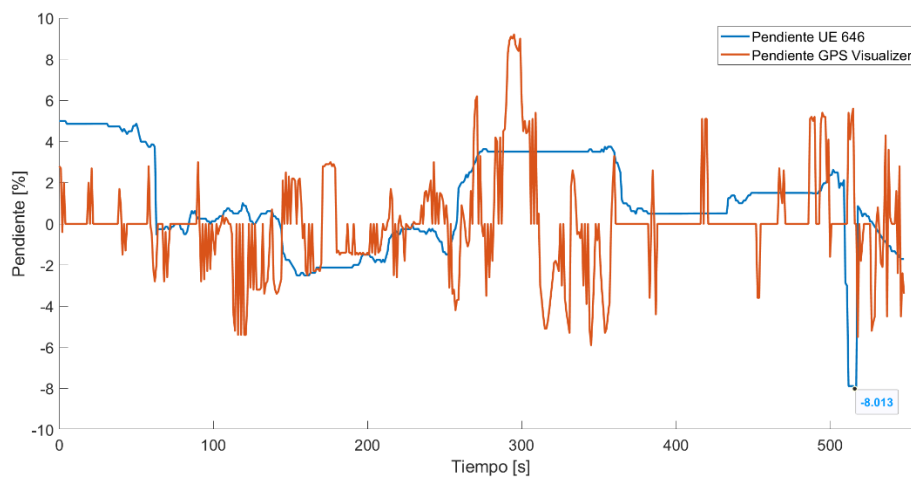
Nota. Recorrido del TDC definido en el presente proyecto de tesis.

En la Figura 34, se observa el comportamiento de pendiente de la TDC, en la que se destaca una pendiente absoluta máxima de 8.013 % junto con la comparación de la pendiente GPS Visualizer y la pendiente suavizada con el reglamento UE 646.

El suavizado del reglamento posee mejor homogeneidad al no poseer picos exagerados en comparación de la pendiente GPS Visualizer, lo que demuestra la necesidad de la utilización del reglamento europeo.

Figura 34.

Pendiente expresada en porcentaje.



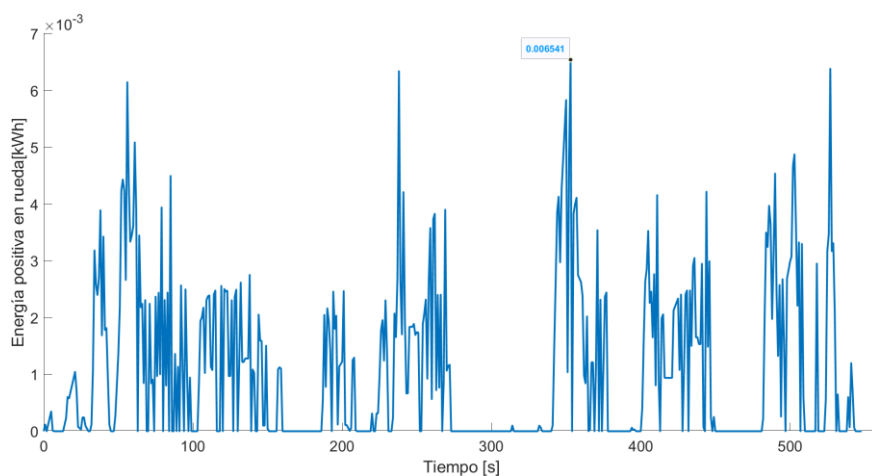
Nota. Comparación entre la pendiente del GPS Visualizer y la suavizada con el reglamento del TDC.

Consumo Energético de la Carrera Típica Promedio

La energía positiva en rueda es mostrada en la Figura 35, la cual tiene como valor máximo 0.0065 kWh, como también la demanda total de energía es de 0.5762 kWh.

Figura 35.

Energía en rueda del ciclo de conducción representativo.



Nota. Al final del recorrido se obtuvo un gasto energético de 0.57kWh.

Los valores correspondientes de energía positiva de cada fuerza para el ciclo de conducción representativo se muestran en la Tabla 13:

Tabla 11.

Valores de energía del ciclo de conducción representativo.

Resultado de Consumo de Energía			
Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
Consumo de energía por resistencia aerodinámica [+]	E.Fd (+)	0.02	[kWh]
Consumo de energía por resistencia a la rodadura [+]	E.Rx (+)	0.16	[kWh]
Consumo de energía por resistencia por pendiente [+]	E.Rg (+)	0.11	[kWh]
Consumo de energía por resistencia por inercia [+]	E.Ri (+)	0.28	[kWh]
Consumo de energía positiva	Ex (+)	0.57	[kWh]

Nota. Consumo del TDC.

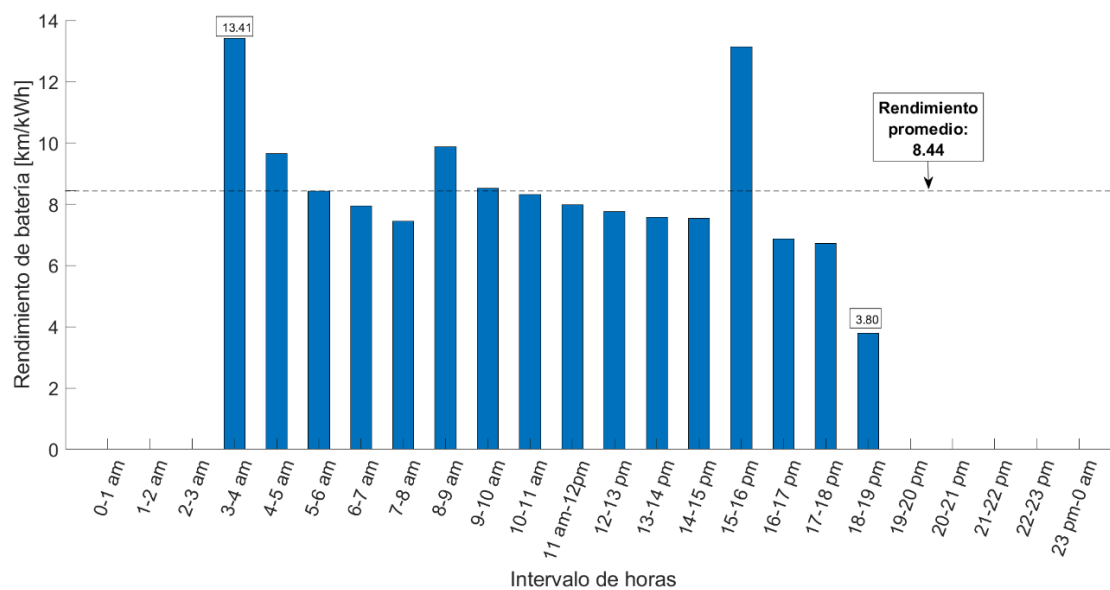
Siendo el consumo por inercia el que posee mayor valor (0.29 kWh) representando un 49.48 % del consumo total del día. La energía que representa menor consumo es la fuerza aerodinámica (0.02 kWh) con 3.48 % del consumo total del día.

6.5. Energía y Rendimiento de Batería

En la Figura 36, se observa el rendimiento promedio de batería por cada kilómetro de cada intervalo de horas de los 24 días registrados. Se obtuvo de promedio un valor de 8.44 km/kWh al día.

Figura 36.

Rendimiento promedio de batería.



Nota. Dato adicional al os resultados mostrados.

Hay que tomar en cuenta que el rendimiento mayor se da en el intervalo de 3:00 a 4:00 am, con 13.41 km/kWh.

Esto es debido a que en el inicio de jornada el taxi recorre generalmente de bajada lo que provoca que el freno regenerativo alimente de energía la batería, sumado a esto el menor tráfico influye a que el vehículo recorra en velocidad constante evitando acelerones repetitivos innecesarios. aumentando por ende el rendimiento.

En lo que respecta al menor rendimiento (3.80 km/kWh), es debido a que en el fin de la jornada el vehículo por lo general recorre de cuesta representando un mayor consumo, por ende, un menor rendimiento.

7. Discusión

El rendimiento diario de energía promedio de la batería es de 130.69 Wh/km, el cual se encuentra en el rango establecido por los datos del fabricante (Electric Vehicle Database, 2022), que posee datos en condiciones de pruebas reales. El fabricante establece un rango de consumo de energía entre 112 a 245 Wh/km, como muestra la Tabla 12, lo que demuestra que la investigación realizada en el presente proyecto de tesis es confiable.

Tabla 12.

Consumo real de energía.

Consumo Real		
Ciudad - Clima frío	170	Wh/km
Carretera - Clima frío	245	Wh/km
Combinado - Clima frío	201	Wh/km
Ciudad - Clima Templado	112	Wh/km
Carretera - Clima templado	187	Wh/km
Combinado - Clima Templado	148	Wh/km
Consumo de Energía Total	112 - 245	Wh/km

Nota. El consumo de energía dependerá de la velocidad, el estilo de conducción, el clima y las condiciones de la ruta.

En las pruebas realizadas a través del mundo del consumo de energía, el peor de los casos se lo realizó en clima frío a -10 °C y con uso de calefacción; y el mejor caso se lo realizó en clima templado a 23 °C y sin utilización del A/C.

El clima de Loja es templado y el consumo en ciudad según el fabricante es de 112 Wh/km, por lo que el valor de rendimiento medido en el presente proyecto de tesis es veraz.

Se debe tomar en cuenta que el elevado rendimiento energético en algunos tramos del día, puede justificarse por la geografía de la ciudad, donde el vehículo aprovecha en demasía la fuerza de frenado regenerativo para recuperar energía.

8. Conclusiones

- A través de la presente investigación teórico-práctico se logró establecer un ciclo típico de conducción representativo para un taxi eléctrico mientras está en carrera, el mismo tiene una duración de 9 minutos y 8 segundos, velocidad promedio de 22.32 km/h y una distancia recorrida de 3.4 kilómetros.
- Se logró conocer la altitud suavizada con el reglamento EU 646 de la carrera típica, tanto la máxima de 2056 msnm y la mínima de 2044 msnm, en comparación con los valores del GPS Visualizer de 2091 msnm la máxima y de 2060 msnm la mínima.
- Se logró conocer el perfil de pendiente suavizada con el reglamento EU 646 del TDC, de 8.013 % como valor absoluto máximo, en comparación con el valor original de 9.2 %.
- Luego de proceder con los cálculos de la dinámica del vehículo se obtuvo los valores promedio de consumo de cada una de las resistencias del EV en los 24 días de monitoreo. La resistencia por inercia (R_i) es la que posee mayor valor con 49.3 %, ya que se opone a que el vehículo cambie de velocidad por tanto influye, en su capacidad de aceleración y de frenado; seguido de la resistencia a la rodadura (R_x) con 28.27 %, esto es debido al tipo de neumático del EV y a su masa; luego, la resistencia por pendiente (R_g) posee un valor de 19.36 %, motivo de la geografía de la ciudad y a también a su masa; finalmente la fuerza aerodinámica con 3.07 %, siendo la que menor influye en el movimiento, sin embargo es de mucha importancia.
- En lo referente al rendimiento se encuentra en un valor 130.69 Wh/km, lo cual es aceptable según el fabricante (Electric Vehicle Database, 2022), el cual establece el rango de consumo de energía entre 112 a 245 Wh/km.

9. Recomendaciones

Identificar posibles errores de monitoreo al analizar los datos de latitud y longitud del GPS, así mismo de velocidad y aceleración, los cuales deben ser coherentes en sus valores, ya que cabe la posibilidad de que el equipo registre en pequeños lapsos de tiempo inconformidades.

Al momento de seleccionar el equipo de monitoreo es de suma importancia que la frecuencia de registro sea de por lo menos 1 Hz o mayor, ya que así no se perderá información al momento de la toma de datos.

Realizar una base de datos entendible, legible, con nomenclaturas claras que faciliten su entendimiento.

Hay que tomar en cuenta para futuras investigaciones que el consumo de energía es diferente para cada una de las carreras realizadas por los taxistas, por lo que se debe tomar en cuenta el tiempo de recorrido, ya que si una carrera es más larga tendrá mayor consumo de energía que una carrera de recorrido corto.

10. Bibliografía

- AliExpress. (n.d.). *Enchufe Tipo 2 32A EV*. <https://es.aliexpress.com/i/10000171742971.html>
- Ashtari, A., Bibeau, E., & Shahidinejad, S. (2014). Using large driving record samples and a stochastic approach for real-world driving cycle construction: Winnipeg driving cycle. *Transportation Science*, 48(2), 170–183. <https://doi.org/10.1287/trsc.1120.0447>
- Barlow, T., Latham, S., Mccrae, I., & Boulter, P. (2009). A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions. *TRL Published Project Report*, 280. http://www.trl.co.uk/online_store/reports_publications/trl_reports/cat_traffic_and_the_environment/report_a_reference_book_of_driving_cycles_for_use_in_the_measurement_of_road_vehicle_emissions.htm%5Cnhttps://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/15000/786/1/CD-1222.pdf
- BASTIDAS AUQUILLA, B. W. (2019). ESTUDIO DE ESTRATEGIAS PARA LA INSERCIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS TIPO TAXI EN LA CIUDAD DE QUITO. *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL*, 157. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/786%0Ahttps://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/786/1/CD-1222.pdf>
- Chamorro, J., & Guerrero, M. (2020). DIAGNÓSTICO ELECTRÓNICO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN, REGENERACIÓN, CARGA Y DESCARGA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO PARA DETERMINAR SU AUTONOMÍA. *Universidad de Las Fuerzas Armadas*.
- Dávalos Figueroa, D. S. (2017). *Obtención de un ciclo típico de conducción para los vehículos de la unión de taxistas del Azuay*. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7274>
- Di Rado, G., Presta, D., & Devincenzi, G. (2013). Análisis de las fuerzas que actúan en la interface neumático – carretera. Modelos de simulación de aceleración. *Mecánica Computacional*, XXXII, 2333–2362. <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/4490/4420>
- Electric Vehicle Database. (2022). *Kia e-Soul 39 kWh*. <https://ev-database.org/car/1289/Kia-e-Soul-39-kWh>
- Fernández, D. M., Carusela, M. F., Hasi, C. D. El, & Lopez, F. (2016). El teorema del Trabajo y referencias rotacionales. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 38. <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v38n3/1806-1117-rbef-38-03->

- Fraija, B. (2006). Estudio de la aerodinámica en los vehículos. *Prospectiva*, 4(2), 66–70.
- García, F., & Gardi, J. (2015). *Guía del Vehículo Eléctrico II*. Gráficas Arias Montano, S. A. www.madrid.org
- García, S. (2016). Reglamento (UE) 2016/646 de la Comisión de 20 de abril de 2016 por el que se modifica el Reglamento (CE) n° 692/2008 en lo que concierne a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 6). *Actualidad Jurídica Ambiental*, 57, 44–45.
- González Oropeza, R. (2005). Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 6(3), 147–162. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2005.06n3.011>
- GUADARRAMA ZAMORA, R. B. (1995). DISEÑO DE UN MÉTODO HEURÍSTICO PARA LA ELABORACIÓN DE RUTAS DE DISTRIBUCIÓN Y RECOLECCIÓN MEZCLADAS CON RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD DE VEHÍCULOS. *INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY*, 10–85. <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/569363>
- Gutiérrez, L., & Valarezo, T. (2018). Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis. *Facultad de Ciencia y Tecnología, Ingeniería*, 15. <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8423/1/14143.pdf>
- Hawkins, I. (2016). *Torque Pro (OBD2 / coche)*. Google Play. https://play.google.com/store/apps/details?id=org.prowl.torque&hl=es_EC&gl=US
- Híbridos y Eléctricos. (2017). *La fuerte aceleración y el freno de recarga, puntos fuertes del coche eléctrico*. <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/fuerte-aceleracion-freno-recarga-puntos-fuertes-cohce-electrico/20170209181237013433.html>
- Hu, K., Wu, J., & Schwanen, T. (2017). Differences in energy consumption in electric vehicles: An exploratory real-world study in Beijing. *Journal of Advanced Transportation*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/4695975>
- Huertas, J. I., Díaz, J., Cordero, D., & Cedillo, K. (2018). A new methodology to determine typical driving cycles for the design of vehicles power trains. *International Journal on*

- Interactive Design and Manufacturing*, 12(1), 319–326. <https://doi.org/10.1007/s12008-017-0379-y>
- Jaramillo, W. (2019). Taxis eléctricos en la ciudad de Loja - Electric taxis in the city of Loja - Ecuador. *Revista Espacios*, 2013, 27.
- Jaume Martínez, B. (2017). Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas. *Etseib*. http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/104855/TFG_Jaume_Martinez_Metodos_de_estimacion_del_estado_de_carga_de_baterias_electroquimicas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- JIMÉNEZ NEIRA, C. M. D. L. (2019). ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE CICLOS DE CONDUCCIÓN REPRESENTATIVOS EN BUCARAMANGA, SANTANDER. *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA*, 1(1), 41–57.
- Kia_SOUL_EV.pdf*. (n.d.). <https://www.marcali.com/kia-producto/images/carros/218/Kia-KIA-SOUL-EV.pdf>
- KIA Motors. (2017). *Compra tu KIA*. <https://www.kia.com/ec/showroom/soul-ev.html>
- Larminie, J., & Lowry, J. (2012). Electric Vehicle Technology Explained: Second Edition. In *Electric Vehicle Technology Explained: Second Edition*. <https://doi.org/10.1002/9781118361146>
- LuGEnerGy. (2021). *Conector SAE J1772 Tipo 1 para Coche Eléctrico*. <https://www.lugenergy.com/sae-j1772/>
- Martín Moreno, F. (2016). Vehículos Eléctricos . Historia , Estado Actual Y Retos Futuros. *Esuropean Scientific Journal*, 7881(May), 118–131. <http://eujournal.org/index.php/esj/article/view/7393>
- Melissa García, R. (2015). Pasado, Presente y Futuro de Vehículos Eléctricos. *Universidad Tecnológica de Pereira*, 151(1), 10–17.
- Merchán, J. L. (2018). *Estudio del Rendimiento Energético de un Vehículo Eléctrico en la Ciudad de Cuenca Tesis*. 1–110.
- Motor Pasión. (2016, December 7). *Kia Solud Eléctrico*. <https://www.motorpasion.com/otros/kia-soul-electrico>

- myRecarga. (n.d.). *La carga rápida y el conector CCS- Combo 2 | ULTRA RÁPIDA - myRecarga*. <https://www.myrecarga.es/carga-rapida-combo/>
- Nordelöf, A., Grunditz, E., Lundmark, S., Tillman, A. M., Alatalo, M., & Thiringer, T. (2019). Life cycle assessment of permanent magnet electric traction motors. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 67, 263–274. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.11.004>
- Noya, C. (2018). KIA Soul EV: ficha técnica. *Forococheselectricos*. <https://forococheselectricos.com/2014/08/kia-soul-ev-ficha-tecnica.html>
- NTE INEN 1323. (2009). *Vehículos Automotores. Carrocerías De Buses. Requisitos*. 6–8. <http://www.tungurahua.gob.ec/carrocero/wp-content/uploads/2016/09/NTE-1323.pdf>
- OBD Solutions. (2022). *OBDLINK® MX +*. <https://www.obdlink.com/products/obdlink-mxp/>
- Observatorio Tecnológico de la Energía. (2012). Mapa Tecnológico Movilidad Eléctrica. *Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico*, 80. https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Movilidad_Electrica_ACC_c603f868.pdf
- Pan, L., Yao, E., Yang, Y., & Zhang, R. (2020). A location model for electric vehicle (EV) public charging stations based on drivers' existing activities. *Sustainable Cities and Society*, 59(April), 102192. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102192>
- Patil, M. A., Tagade, P., Hariharan, K. S., Kolake, S. M., Song, T., Yeo, T., & Doo, S. (2015). A novel multistage Support Vector Machine based approach for Li ion battery remaining useful life estimation. *Applied Energy*, 159, 285–297. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.119>
- Peralta Feijoo, P. X. (2018). Estudio del funcionamiento del conjunto de baterías del Kia Soul EV. *Universidad Internacional Del Ecuador*, 1–79. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2522>
- Peréz, P. S., & Quito, C. O. (2018). *Determinación de los ciclos de conducción de un vehículo categoría MI para la ciudad de Cuenca*. 132. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15032>
- Restrepo V, Á. H., Carranza S, Y. A., & Tibaquirá G, J. E. (2007). *Design and application of methodology to determine vehicular conduction cycles in Pereira city*. 37, 229–234.

- UTPL. (n.d.). *¿Por qué estudiar Loja?* <https://www.utpl.edu.ec/es/loja>
- Vélez, S., & Vera, A. (2016). Obtención de los parámetros necesarios para el cálculo de la fuerza en rueda de vehículos eléctricos. *Google Academico*, 111 pag. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6858>
- Wakefield, E. H. (1994). E. H. Wakefield, History of the Electric Automobile: Battery-Only Powered. *Society of Automotive Engineers (1 Mayo 1994)*. <https://www.amazon.com/-/es/Ernest-Henry-Ph-D-Wakefield/dp/1560912995>
- Wallbox. (2015). *Tipos de conectores de vehículos eléctricos*. <http://wallbox.eu/es/info/tipos-de-conectores-de-vehiculos-electricos.html>
- Wang, Q., Huo, H., He, K., Yao, Z., & Zhang, Q. (2008). Characterization of vehicle driving patterns and development of driving cycles in Chinese cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 13(5), 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.03.003>

11. Anexos

Anexo 1. Variables Calculadas para Tabla 1

Variables calculadas con datos presentes en la Tabla 1.

Consumo en Conducción

$$12.7 \text{ kWh} \cdot (1 - 0.1) = 11.43 \text{ kWh}$$

Energía Neta Necesaria

$$11.43 \text{ kWh} \cdot \frac{212\text{km}}{100\text{km}} = 22.86 \text{ kWh}$$

Energía Bruta Necesaria

$$\frac{22.86 \text{ kWh}}{0,95} = 24.0631\text{kWh}$$

Anexo 2. Especificaciones del Data Logger

Tabla 13.

Especificaciones generales del equipo a utilizar

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES
CARACTERÍSTICAS
Cobertura máxima de vehículos
Soporta protocolos SW-CAN y MS-CAN
El adaptador Bluetooth OBD-II más rápido del mundo
Complementos de datos gratuitos e ilimitados específicos de OEM
Factor de Forma Pequeña
A prueba de piratas informáticos
Leer y borrar la luz 'Check Engine'
Sueño y despertador automáticos
Compatible con docenas de aplicaciones de terceros
Actualizaciones de firmware gratuitas
Modo de bajo consumo de la tecnología BatterySaver™
Aplicaciones gratuitas de iOS, Android y Windows incluidas

Nota. Adaptado de (OBD Solutions, 2022).

Anexo 3. Equipo de Monitoreo OBD Link MX+.

Figura 37.

Equipo de diagnóstico OBD Link MX+.

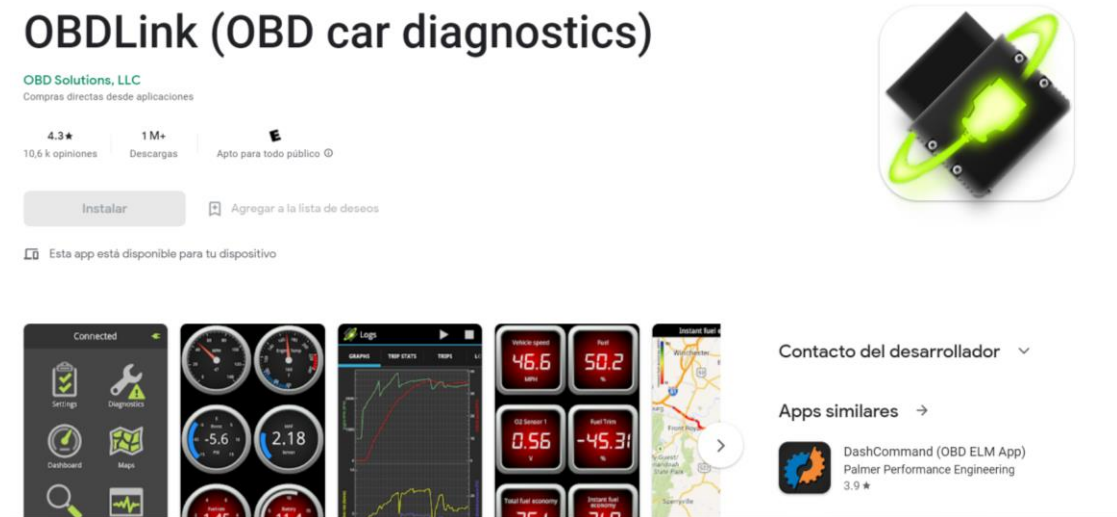


Nota. Adaptado de OBD Solutions, 2022.

Anexo 4. Características de la Aplicación OBDLink

Figura 38.

Aplicación OBDLink.



Nota. Adaptado de (Hawkins, 2016)

Características que posee la aplicación:

- Verifica y borra los códigos de diagnóstico de problemas
- Leer datos de cuadros congelados
- Mostrar datos en tiempo real (¡más de 90 parámetros!)
- Tableros personalizables
- Preparación de emisiones para cada estado de EE. UU.
- Cálculo de economía de combustible MPG, l/100km o km/l
- Múltiples medidores de viaje
- Registro de datos en formato CSV (compatible con Excel)
- Recuperar información del vehículo, incluido el número VIN y el ID de calibración
- Resultados del sensor de oxígeno (Modo \$05)
- Pruebas de Monitoreo a Bordo (Modalidad \$06)
- Contadores de seguimiento en ejecución (Modo \$09)
- Rastreo por GPS: trace los parámetros del vehículo en un mapa en tiempo real
- Informe de diagnóstico completo que se puede enviar por correo electrónico
- Unidades inglesas y métricas
- Libre de anuncios

Anexo 5. Obtención del Radio Estático

Llantas: 205/60 R16

La ecuación del radio estático es (Di Rado et al., 2013):

$$r_{est} = 0.5 * \left[(205 \cdot 2 \cdot 0.6) + \left(25.4 \frac{mm}{in} \cdot 16in \right) \right] = 326.2 \text{ mm}$$

Donde:

r_{est} = Radio estático (mm)

A_r = Ancho de rueda (mm)

$R_{h/a}$ = Relación alto/ancho (%)

D_{rin} = Diámetro de rin (in)

Anexo 6. Formato de Registro de Carreras

Figura 39.

Formato de carreras diarias.

Pasajeros	Fecha:			Almuerzo:			Pasajeros
		Inicio	Fin		Inicio	Fin	
	Carrera 1	__ : __	__ : __	Carrera 26	__ : __	__ : __	
	Carrera 2	__ : __	__ : __	Carrera 27	__ : __	__ : __	
	Carrera 3	__ : __	__ : __	Carrera 28	__ : __	__ : __	
	Carrera 4	__ : __	__ : __	Carrera 29	__ : __	__ : __	
	Carrera 5	__ : __	__ : __	Carrera 30	__ : __	__ : __	
	Carrera 6	__ : __	__ : __	Carrera 31	__ : __	__ : __	
	Carrera 7	__ : __	__ : __	Carrera 32	__ : __	__ : __	
	Carrera 8	__ : __	__ : __	Carrera 33	__ : __	__ : __	
	Carrera 9	__ : __	__ : __	Carrera 34	__ : __	__ : __	
	Carrera 10	__ : __	__ : __	Carrera 35	__ : __	__ : __	
	Carrera 11	__ : __	__ : __	Carrera 36	__ : __	__ : __	
	Carrera 12	__ : __	__ : __	Carrera 37	__ : __	__ : __	
	Carrera 13	__ : __	__ : __	Carrera 38	__ : __	__ : __	
	Carrera 14	__ : __	__ : __	Carrera 39	__ : __	__ : __	
	Carrera 15	__ : __	__ : __	Carrera 40	__ : __	__ : __	
	Carrera 16	__ : __	__ : __	Carrera 41	__ : __	__ : __	
	Carrera 17	__ : __	__ : __	Carrera 42	__ : __	__ : __	
	Carrera 18	__ : __	__ : __	Carrera 43	__ : __	__ : __	
	Carrera 19	__ : __	__ : __	Carrera 44	__ : __	__ : __	
	Carrera 20	__ : __	__ : __	Carrera 45	__ : __	__ : __	
	Carrera 21	__ : __	__ : __	Carrera 46	__ : __	__ : __	
	Carrera 22	__ : __	__ : __	Carrera 47	__ : __	__ : __	
	Carrera 23	__ : __	__ : __	Carrera 48	__ : __	__ : __	
	Carrera 24	__ : __	__ : __	Carrera 49	__ : __	__ : __	
	Carrera 25	__ : __	__ : __	Carrera 50	__ : __	__ : __	

Anexo 7. Código Matlab para Separación de Datos por Carrera

Código de programación para la separación de los datos en carrera de la base de datos general:

```
clc; clear all
celda_fin=27581;
tiempo=xlsread("dias",1,'A3:A27578'); %Importo los datos de tiempo
EFd=xlsread("dias",1,'B3:B27578'); %Importo los datos de tiempo
ERx=xlsread("dias",1,'C3:C27578'); %Importo los datos de tiempo
ERg=xlsread("dias",1,'D3:D27578'); %Importo los datos de tiempo
ERi=xlsread("dias",1,'E3:E27578'); %Importo los datos de tiempo
Carrera=xlsread("dias",1,'F3:F27578'); %Importo los datos de tiempo
Ebat=xlsread("dias",1,'G3:G27578'); %Importo los datos de energía de
batería
Ebat_p=xlsread("dias",1,'H3:H27578'); %Importo los datos de energía
de batería positiva
Ebat_n=xlsread("dias",1,'I3:I27578'); %Importo los datos de energía
de batería negativa

car=(find(Carrera)); %Separo las posiciones donde los datos de Carrera
donde vale 1
tiempol=tiempo(car); %Son los tiempos donde hubo carrera

cont=0;
Ncarreras=[]; %Número de carreras con los tiempos
i=1;
for k=i:length(car)-1
    if (car(k+1,1)-car(k,1))==1
        inicio=1+cont;
        fin=k+1;

    else
        Ncarreras=[Ncarreras;[inicio,fin]];
        i=fin+1;
        cont=i-1;
    end
end
Ncarreras=[Ncarreras;[1+cont,k+1]];

%AQUÍ OBTENGO UNA SUMA DE ENERGÍAS CON Y SIN CARRERAS DEL DÍA
total_EFd=sum(EFd(:));
total_ERx=sum(ERx(:));
total_ERg=sum(ERg(:));
total_ERi=sum(ERi(:));
total_E=total_EFd+total_ERx+total_ERg+total_ERi; %Total de energía en
rueda
total_Ebat=sum(Ebat(:));
total_Ebat_p=sum(Ebat_p(:));
total_Ebat_n=sum(Ebat_n(:));

%AQUÍ OBTENGO UNA SUMA POR TODAS LAS CARRERAS DEL DÍA
sumaEFd=sum(EFd(car));
```

```

sumaERx=sum(ERx(car));
sumaERg=sum(ERg(car));
sumaERi=sum(ERi(car));

% AQUÍ OBTENGO SUMAS DE ENERGÍA DE LA BATERÍA DURANTE LAS CARRERAS DEL
DÍA
sumaEbat=sum(Ebat(car));
sumaEbat_p=sum(Ebat_p(car));
sumaEbat_n=sum(Ebat_n(car));

fprintf('RESULTADOS DEL DÍA CON CARRERA:\n-----
\n'); %Se imprime en pantalla los resultados
Result1=['Segundos en carrera      : ', num2str(length(car)), '[s]'];
disp(Result1);
Result1=['Sumatoria de EFD        : ', num2str(sumaEFD), '[kWh]'];
disp(Result1);
Result1=['Sumatoria de ERx       : ', num2str(sumaERx), '[kWh]'];
disp(Result1);
Result1=['Sumatoria de ERg       : ', num2str(sumaERg), '[kWh]'];
disp(Result1);
Result1=['Sumatoria de ERI       : ', num2str(sumaERI), '[kWh]'];
disp(Result1);

Result1=['Sumatoria de Ebat       : ', num2str(sumaEbat), '[kWh]'];
disp(Result1);
Result1=['Sumatoria de Ebat_p     : ', num2str(sumaEbat_p), '[kWh]'];
disp(Result1);
Result1=['Sumatoria de Ebat_n     : ', num2str(sumaEbat_n), '[kWh]'];
disp(Result1);

fprintf('\nRESULTADOS CON Y SIN CARRERA DEL DÍA:\n-----
----\n');
Result1=['Segundos en circulación  : ', num2str(length(Carrera)-
1), '[s]'];
disp(Result1);
Result1=['Total de EFD           : ', num2str(total_EFD), '[kWh]'];
disp(Result1);
Result1=['Total de ERx          : ', num2str(total_ERx), '[kWh]'];
disp(Result1);
Result1=['Total de ERg          : ', num2str(total_ERg), '[kWh]'];
disp(Result1);
Result1=['Total de ERI          : ', num2str(total_ERi), '[kWh]'];
disp(Result1);

Result1=['Total de Ebat         : ', num2str(total_Ebat), '[kWh]'];
disp(Result1);
Result1=['Total de Ebat_p       : ',
num2str(total_Ebat_p), '[kWh]'];
disp(Result1);
Result1=['Total de Ebat_n       : ',
num2str(total_Ebat_n), '[kWh]'];

```

```

disp(Result1);

sumaEFd=[];
sumaERx=[];
sumaERg=[];
sumaERi=[];

sumaEbat=[];
sumaEbat_p=[];
sumaEbat_n=[];

for i=1:length(Ncarreras)
ini=Ncarreras(i,1);
fini=Ncarreras(i,2);
in=car(ini);
fi=car(fini);
sumaEFd(i)=sum(EFd(in:fi));
sumaERx(i)=sum(ERx(in:fi));
sumaERg(i)=sum(ERg(in:fi));
sumaERi(i)=sum(ERi(in:fi));

sumaEbat(i)=sum(Ebat(in:fi));
sumaEbat_p(i)=sum(Ebat_p(in:fi));
sumaEbat_n(i)=sum(Ebat_n(in:fi));

end
ener_car=[sumaEFd;sumaERx;sumaERg;sumaERi];

ener_tot_car=[];

for i=1:length(ener_car);
ener_tot_car(i)=sum(ener_car(:,i));
end

Tot_cs_car=zeros(5,1); %Totales con y sin carreras
Tot_cs_car(1,1)=total_EFd;
Tot_cs_car(2,1)=total_ERx;
Tot_cs_car(3,1)=total_ERg;
Tot_cs_car(4,1)=total_ERi;
Tot_cs_car(5,1)=total_E;

Reporte=[ener_car;ener_tot_car];
Reporte=[Reporte Tot_cs_car];

%Actualizo el reporte con los datos de batería
%Creo el vector donde van los valores sumados de batería con y sin
carreras
espacios=zeros(5,length(Reporte));
espacios(3,end)=total_Ebat;
espacios(4,end)=total_Ebat_p;
espacios(5,end)=total_Ebat_n;

espacios(3,1:end-1)=sumaEbat;
espacios(4,1:end-1)=sumaEbat_p;
espacios(5,1:end-1)=sumaEbat_n;

```



```
Reporte=[Reporte;espacios];
```

```
a='Reporte.xlsx';  
xlswrite(a,Reporte);
```

Anexo 8. Fotografía de Objeto de Estudio

Figura 40.

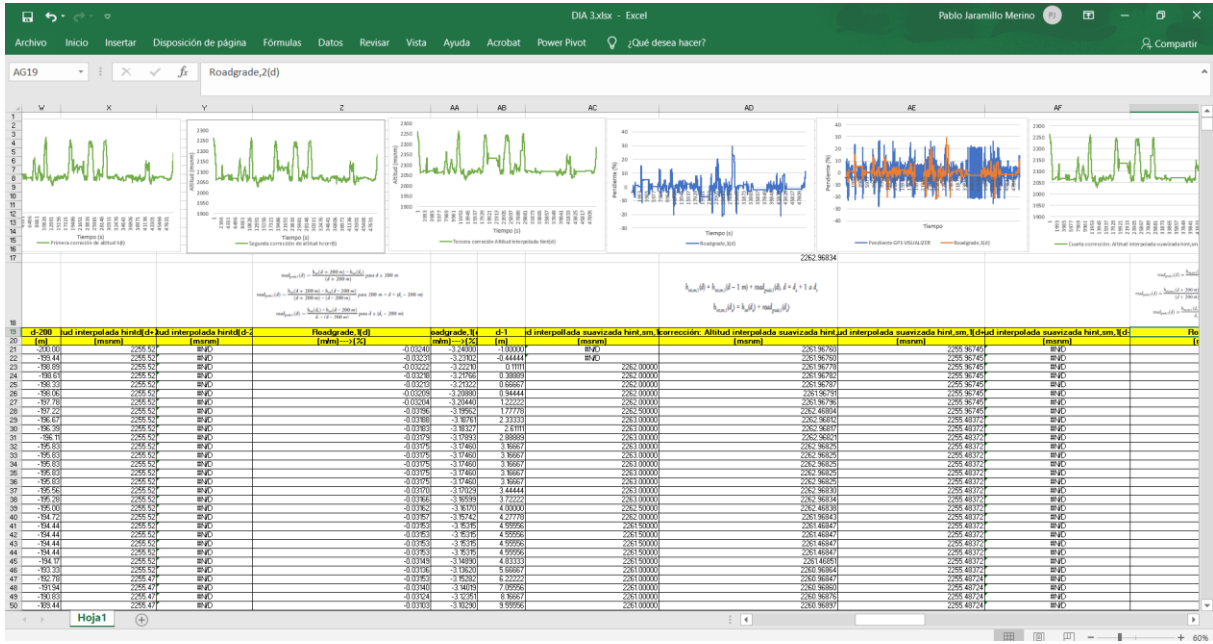
Taxi de estudio.



Anexo 9. Captura de Base de Datos

Figura 41.

Ejemplo de base de datos realizada.



Anexo 10. Certificado de Traducción de Resumen



Mg. Yanina Quizhpe Espinoza
Licenciada en Ciencias de Educación mención
Inglés
Magister en Traducción y mediación cultural

Celular: +593989805087
Email: yaniges@icloud.com
Loja, Ecuador 110104

Loja, 14 de noviembre de 2022

Yo, Lic. Yanina Quizhpe Espinoza, con cédula de identidad 1104337553, docente del Instituto de Idiomas de la Universidad Nacional de Loja, y certificada como traductora e interprete en la Senescyt y en el Ministerio de trabajo del Ecuador con registro **MDT-3104-CCL-252640**, certifico:

Que tengo el conocimiento y dominio de los idiomas español e inglés y que la traducción del resumen de trabajo de titulación, **DEFINICIÓN DE UN CICLO DE CONDUCCIÓN REPRESENTATIVO PARA TAXIS ELÉCTRICOS EN LA CIUDAD DE LOJA**, cuya autoría del estudiante Pablo Rafael Jaramillo Merino, con cédula 1105532152, es verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Atentamente

YANINA
BELEN
QUIZHPE
ESPINOZA
Firmado digitalmente por YANINA BELEN QUIZHPE ESPINOZA Fecha: 2022.11.14 11:50:08 -0500'

Yanina Quizhpe Espinoza.

Traductora