



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

Estimación del rendimiento energético de un vehículo eléctrico en la vía interurbana Loja - aeropuerto Camilo Ponce Enríquez de Catamayo

Trabajo de Titulación previo a la
obtención del Título de Ingeniero
Mecánico Automotriz

AUTOR:

Jaime Geovanny Cabrera Abad

DIRECTOR

Ing. Jairo Darío Castillo Calderón Mg. Sc

Loja-Ecuador

2022

Certificación

Loja, 02 de noviembre de 2022

Ing. Jairo Darío Castillo Calderón Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Certifico:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **“Estimación del rendimiento energético de un vehículo eléctrico en la vía interurbana Loja - aeropuerto camilo Ponce Enríquez de Catamayo”**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Mecánico Automotriz**, de la autoría del estudiante **Jaime Geovanny Cabrera Abad**, con cédula de identidad Nro.**1150166120**, 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 Darío Castillo Calderón Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Jaime Geovanny Cabrera Abad**, 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 Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma

Cédula de Identidad: 1150166120

Fecha: 29 de noviembre del 2022.

Correo electrónico: Jaime.g.cabrera@unl.edu.ec

Teléfono: 0978771915

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

Yo **Jaime Geovanny Cabrera Abad**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Estimación del rendimiento energético de un vehículo eléctrico en la vía interurbana Loja - aeropuerto camilo Ponce Enríquez de Catamayo** como requisito para optar el título de **Ingeniero Mecánico Automotriz**, 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 Repertorio 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 veintinueve días del mes de noviembre del dos mil veintidós.

Firma

Autor: Jaime Geovanny Cabrera Abad

Cédula: 1150166120

Dirección: Av. Gran Colombia e Ibarra

Correo electrónico: Jaime.g.cabrera@unl.edu.ec

Teléfono:2200045/0978771915

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Jairo Darío Castillo Calderón, Mg. Sc.

Dedicatoria

Mi trabajo de Titulación se la dedico primeramente a Dios por haberme guiado, darme sabiduría y fortaleza durante este trayecto universitario, llenándome de bendiciones a lo largo de mi vida.

A mi familia, a mis padres Ángel Cabrera y Marina Abad, quienes han sido la base fundamental de mi formación como persona, hijo, compañero y alumno, mediante esta investigación pretendo recompensar todo el esfuerzo que han realizado para poderme brindar la posibilidad de alcanzar mis sueños.

A mis hermanos y sobrinos quienes aprecio profundamente e incondicionalmente, A mi hermana Alva Cabrera, quien ha sido uno de los pilares fundamentales para poder culminar mi carrera universitaria, por su apoyo, cariño y por siempre incentivar me a ser una mejor persona.

Para todos ellos va dedicada esta investigación con mucho cariño, amor y humildad, pero inmensamente feliz por haber culminado mi carrera que fue mi deseo desde un inicio.

Jaime Geovanny Cabrera Abad

Agradecimiento

Primeramente, me gustaría agradecer a Dios por darme la fortaleza, la sabiduría y salud para poder cumplir mis sueños, metas y haber guiado mi camino a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mis padres Ángel Cabrera y Marina Abad quienes han hecho un gran esfuerzo para mantenerme en el camino de Dios y poderme ayudar para lograr alcanzar mis estudios universitarios, a mi hermana Alva Cabrera, quien ha sabido apoyarme en los momentos más difíciles de mi formación a lo largo de esta etapa de mi vida.

Agradezco a mis docentes quienes han sabido formar a una persona, a un profesional siempre apoyando e incentivando a ser una mejor persona y un mejor profesional. A mi tutor el Ing. Jairo Darío Castillo Calderón Mg. Sc, por haberme guiado y brindarme su apoyo y transmitir sus conocimientos para mi formación como estudiante y profesional.

Jaime Geovanny Cabrera Abad

Índice de contenido

Portada.....	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Índice de Anexos	xii
1 Título	1
2 Resumen.....	2
2.1 Abstract.....	3
3 Introducción	4
4 Marco Teórico	5
4.1 Breve Historia del (EV)	5
4.2 Consumo Energético en EV.....	5
4.3 Rendimiento Energético de EV	6
4.4 Autonomía de EV	6
4.5 Contexto de EV.....	7
4.5.1 Funcionamiento de EV	7
4.5.2 Características de EV.....	8
4.6 Efectos sobre el Consumo de Energía en EV.	8
4.7 Potencia y Par de EV	9
4.8 Ciclos Homologados de Conducción.....	10
4.9 Ciclos de Conducción más Utilizados a Nivel Mundial.....	10
4.9.1 Ciclos Estacionarios.....	10
4.9.2 Ciclos Transitorios	11
4.9.3 Ciclo NEDC (New European driving cycle)	11
4.9.4 Ciclo FTP-75	13
4.9.5 Estocástico	14
4.9.6 Heurístico.....	14
4.9.7 Ciclo de Conducción SAE J227a para EV	15
4.10 Mínima Diferencia de Promedios Ponderados	15
4.11 Ecuaciones que Gobiernan la Dinámica Longitudinal	16
4.11.1 Fuerza de Tracción (F_x).....	16
4.11.2 Fuerza de Resistencia Aerodinámica (F_d)	17
4.11.3 Resistencia a la Rodadura (R_x)	17
4.11.4 Resistencia a la Pendiente (R_g).....	17
4.11.5 Resistencia a la Inercia (R_i).....	18
4.12 Torque	18
4.13 Potencia y Energía en Rueda	18
4.13.1 Potencia.....	18
4.13.2 Energía en Rueda	19
4.14 Ecuaciones para la Determinación del Rendimiento Energético del Ev ..	19

4.14.1	Ecuación del Par de Motor.	19
4.14.2	Eficiencia de la Transmisión de un Vehículo.	21
4.14.3	Velocidad Angular en Rueda.	21
4.14.4	Velocidad del Motor	21
4.14.5	Porcentaje de Carga	22
4.14.6	Potencia del Motor.....	22
4.15	Rendimiento Energético	22
5	Metodología	23
5.1	Equipos e Instrumentos.....	23
5.1.1	Medio de Transporte Utilizado para los Viajes en Ruta	23
5.1.2	Programa Simulink para el Modelado	24
5.1.3	OBDLink Mx+.....	24
5.1.4	Especificaciones del OBDLink Mx+	25
5.2	Ruta Seleccionada.....	25
5.2.1	Perfil de la Ruta.	25
5.3	Proceso Cronológico.....	27
5.4	Recopilación de Datos Mediante OBD Link Mx+	28
5.5	Calculo de Velocidad, distancia y aceleración	28
5.5.1	Cálculo de Velocidad.....	28
5.5.2	Cálculo de Distancia	28
5.5.3	Cálculo de Aceleración.....	28
5.6	Suavizado del Perfil de Altitud y Obtención de la Pendiente a través de GPS Visualizer.....	28
5.6.1	Suavizado de Altitud.....	29
5.6.2	Obtención de la Pendiente de la Ruta.	30
5.7	Definición de las Variables Implicadas en el Cálculo de la Dinámica del Vehículo.....	30
5.7.1	Masa del Vehículo en Ruta	30
5.7.2	Cálculo de la Densidad del Aire	30
5.7.3	Cálculo del Radio Dinámico del Neumático	32
5.7.4	Datos Resumen y otras Variables Implicadas en el Cálculo	32
5.7.5	Par en Rueda	33
5.8	Consideraciones para la Energía de Tracción.....	33
5.9	Diferencias Mínimas Ponderadas de los Parámetros Característicos	33
5.10	Recopilación de Datos Mediante Banco Dinamométrico de Chasis	34
5.10.1	Equipos de Interfaz Utilizados.....	35
5.10.2	Proceso para la Obtención de Datos	36
5.11	Tratamiento de Datos Obtenidos en el Banco Dinamométrico de Chasis	37
5.11.1	Curva de Par de Motor de EV.....	37
5.11.2	Curva de Eficiencia de Motor Eléctrico	38
5.12	Ecuaciones para la Estimación del Rendimiento Energético de Batería	39
5.12.1	Consumo Energético Total de Batería	39
5.12.2	Energía Acumulada de Batería	39
5.12.3	Energía de Batería Positiva.....	40
5.12.4	Energía de Batería Negativa	40
5.12.5	Rendimiento.....	40
5.13	Modelo Matemático para Determinar el Rendimiento Energético del Kia Soul EV.....	40
6	Resultados	41

6.1	Monitoreo de Variables de Ida Loja-Aeropuerto Camilo Ponce	
	Enríquez.....	41
6.1.1	Aceleración	41
6.1.2	Consumo de Energía de Taxi Eléctrico en Ruta de Ida	42
6.1.3	Consumo de Energía de Taxi Eléctrico en Ruta de Vuelta	43
6.1.4	Ciclos Típicos de Conducción	43
6.2	Par o Torque Motor	46
6.3	Eficiencia del Vehículo	47
6.3.1	Eficiencia Batería-Motor.	47
6.3.2	Consumo Específico	48
6.4	Energía Acumulada de Batería TDC Viaje de Ida.....	49
6.5	Energía Acumulada de Batería TDC Viaje de Vuelta	49
6.6	Velocidad Promedio del EV	50
6.7	Estimación del Consumo Energético del EV.....	51
6.8	Estado de Carga de Batería (SoC)	51
6.9	Análisis del SoC y Consumo Energético	52
6.10	Análisis del SoC y Velocidad	53
7	Discusión.....	54
8	Conclusiones.....	55
9	Recomendaciones	56
10	Bibliografía	57
11	Anexos	64

Índice de tablas:

Tabla 1. Datos Técnicos del EV	23
Tabla 2. Especificaciones del OBDLink Mx+	25
Tabla 3. Mapa satelital.....	26
Tabla 4. Variables de Suavizado de Datos	28
Tabla 5. Comparación de Suavizado de Altitud	29
Tabla 6. Pendiente de la Ruta	30
Tabla 7. Datos resumen y otras variables	32
Tabla 8. Características Técnicas del Banco Dinamométrico de Chasis	35
Tabla 9. Pruebas realizadas en el Banco de Chasis	36
Tabla 10. Datos del OBD para determinar el Par	37
Tabla 11. Datos del Dinamómetro para determinar el Par	38
Tabla 12. Escenario Velocidad-Pedal.....	38
Tabla 13. Datos del OBD para Eficiencia.....	39
Tabla 14. Datos del Dinamómetro para Eficiencia	39
Tabla 15. Aceleración	42
Tabla 16. Consumo de Energía Positiva en Ruta de Ida.....	42
Tabla 17. Consumo de Energía Positiva en Ruta de Vuelta	43
Tabla 18. Resultado del Ciclo Tipo de Conducción Ida	43
Tabla 19. Resultado del Ciclo Tipo de Conducción Vuelta	45
Tabla 20. Velocidad Promedio	50
Tabla 21. Estimación del Consumo Energético	51
Tabla 22. Análisis del SoC y Altitud	52
Tabla 23. Análisis de SoC y Consumo Energético	53
Tabla 24. Análisis del SoC y Velocidad	53

Índice de figuras:

Figura 1. Vehículo Eléctrico.....	5
Figura 2. Consumo de Energía de Diferentes Modelos de Vehículos	6
Figura 3. Esquema del EV	7
Figura 4. Diagrama de Funcionamiento de un EV	8
Figura 5. Incidencia de la Velocidad en el Consumo de Energía	9
Figura 6. Aceleración en el Consumo de Energía	9
Figura 7. Par y Potencia de EV	10
Figura 8. Ciclo de Conducción Estacionario	11
Figura 9. Ciclo de Conducción Transitorio	11
Figura 10. Ciclo de Conducción NEDC	12
Figura 11. Ciclo de conducción urbano	13
Figura 12. Ciclo de Conducción Extraurbano	13
Figura 13. Ciclo de Conducción FTP-75.....	14
Figura 14. Ciclos de Conducción para EV	15
Figura 15. Fuerzas que se Oponen al Movimiento	16
Figura 16. EV Utilizado para Realizar los Viajes	23
Figura 17. Simulink	24
Figura 18. OBDLink Mx+	24
Figura 19. Perfil de Elevación	27
Figura 20. Proceso Cronológico	27
Figura 21. Convertidor de GPS Visualizer	29
Figura 22. Energía de Tracción	33
Figura 23. Promedio Ponderados.....	34
Figura 24. Dinamómetro de Chasis	35
Figura 25. Anclaje de Vehículo en el banco dinamométrico	36
Figura 26. Modelo para Determinar el Rendimiento Energético del vehículo.....	40
Figura 27. Mapa de la Viaje de Ida	41
Figura 28. Ciclo Típico de Conducción de Ida.....	44
Figura 29. Ciclo Típico de Conducción Vuelta	46
Figura 30. Curvas de Torque Motor	46
Figura 31. Enfrentamiento entre Curva Seleccionada y Curva del Fabricante	47
Figura 32. Eficiencia Batería Motor	48
Figura 33. Consumo Específico en kW/kWh	48

Figura 34. Energía Acumulada de Batería Viaje de Idas	49
Figura 35. Energía Acumulada de Batería Viaje de Vueltas	50

Índice de Anexos:

Anexo 1. Base de Datos del Aeropuerto Camilo Ponce Enríquez	64
Anexo 2. Taxi Eléctrico en la Ciudad de Cuenca.....	64
Anexo 3. Anclaje del Vehículo en Banco Dinamométrico	65
Anexo 4. Recolección de Datos Mediante Pruebas en Banco Dinamométrico.....	65
Anexo 5. Conexión de dispositivo OBD Link+	66
Anexo 6. Emparejamiento del OBD Link+	66
Anexo 7. Factura del Dispositivo OBD Link+	67
Anexo 8. Parámetros Resumen del ciclo Ideal de Conducción Viaje de Ida	67
Anexo 9. Parámetros Resumen del ciclo Ideal de Conducción Viaje de Vuelta.....	67
Anexo 10. Datos de la Curva de Eficiencia del Motor.....	68
Anexo 11. Toma de Datos Mediante Banco Dinamométrico.....	68
Anexo 12. Certificación de Haber Otorgado Información del Aeropuerto Camilo Ponce Enríquez.....	69
Anexo 13. Certificación de traducción.....	70

1 Título

Estimación del rendimiento energético de un vehículo eléctrico en la vía interurbana Loja -
aeropuerto Camilo Ponce Enríquez de Catamayo.

2 Resumen

El cambio a una movilidad eléctrica es el principal objetivo para el control y reducción de las emisiones contaminantes que causan los vehículos de combustión interna a nivel mundial, en el país en los últimos años se ha comenzado a incentivar el uso de este tipo de vehículos para servicio de transporte público. En la ciudad de Loja, en el año 2017, se implementó una flota de 51 EV, los cuales realizan la función de taxi dentro de la ciudad y sus alrededores. Debido a esto se realizó un estudio donde se busca conocer el rendimiento que tiene un EV en la ruta interurbana Loja- Aeropuerto Camilo Ponce Enríquez del cantón de Catamayo.

El trabajo realizado se basa en conocer el rendimiento del EV en la ruta interurbana mencionada, y debido a esto justificar si sería rentable la implementación de una flota de este tipo de vehículos para uso exclusivo desde el terminal terrestre Reina del cisne de la ciudad de Loja, al Aeropuerto de Catamayo, y viceversa.

Para adquirir los valores en tiempo real se utilizaron equipos e instrumentos como el software de programación LabView, banco dinamométrico y el OBD Link Mx+, los cuales monitorea las variables de velocidad, altitud, longitud, latitud a una frecuencia de 1 Hz. Posteriormente se realiza el cálculo de las variables implicadas en la dinámica del automóvil y el rendimiento energético.

Esta investigación se basó en tres etapas; la primera en la adquisición de datos en tiempo real, posteriormente suavizado de variables monitorizadas y finalmente la obtención de las curvas del par motor para el modelo del rendimiento energético.

Con respecto al modelo se empleó el software de programación Matlab, en el apartado de simulink con el fin de estimar rendimiento energético en la ruta interurbana seleccionada.

Palabras Claves: vehículo eléctrico, ciclo de conducción, rendimiento, Energía, batería

2.1 Abstract

The transition to electric mobility is the main objective for controlling and reducing polluting emissions caused by internal combustion vehicles worldwide and the country has begun to encourage the use of this type of vehicle for public transportation service in recent years. In 2017, in the city of Loja, a fleet of 51 EVs was implemented, which perform the cab function within the city and its surroundings. As a result, a study was carried out to determine the performance of an EV on the intercity route Loja-Camilo Ponce Enriquez Airport in the canton of Catamayo.

The research done is based on knowing the performance of the EV on the mentioned interurban route and justifying if it would be profitable to implement a fleet of this type of vehicles for exclusive use from the Reina del Cisne land terminal in Loja to the Catamayo Airport, and vice versa.

Equipment and instruments such as LabView programming software, dynamometric bench, and OBD Link Mx+ were used to acquire the values in real time, which monitor the variables of speed, altitude, longitude, and latitude at a frequency of 1 Hz. Subsequently, the variables involved in the car's dynamics and energy efficiency are calculated.

This research was divided into three steps; the first one was data acquisition in real time, then smoothing of monitored variables and finally obtaining the torque curves for the energy efficiency model.

In the Simulink section of the model, the MATLAB programming software was used to estimate energy efficiency in the selected interurban route.

Key words: electric vehicle, driving cycle, vehicle output, Energy, battery

3 Introducción

En la ciudad de Loja debido al aumento descontrolado de niveles de contaminación se ha comenzado a incentivar el uso EV en los últimos años, con el objetivo de poder reducir y controlar las emisiones causadas por los vehículos de combustión interna. El proyecto a desarrollarse determina el rendimiento del vehículo en una de las rutas más concurridas de la ciudad debido al Aeropuerto, el cual en los meses de enero, febrero y marzo tuvo un aforo de 9 612 personas.

En esta investigación se emplea una serie de metodologías, medios con los cuales se recolectarán datos para alcanzar el rendimiento obtenido al realizar los viajes en la ruta interurbana. Además de contribuir con el conocimiento tanto de los conductores como de las entidades que deseen implementar este tipo de transporte dentro de la ciudad y sus alrededores.

El trabajo de investigación será realizado en distintas fases conforme a los objetivos planteados; de tal manera que se inicia con la recopilación de información que sustente las ecuaciones necesarias para la estimación del rendimiento del EV. Posteriormente se monitorean las variables instantáneas en ruta y se extrae información necesaria para la definición de un TDC. Además, mediante un banco dinamométrico recopilar información de varias pruebas para caracterizar la curva de par motor. Finalmente se modela el conjunto de ecuaciones en un software de programación para determinar el rendimiento para cada uno de los viajes realizados.

4 Marco Teórico

4.1 Breve Historia del (EV)

El EV ha estado presente desde un inicio ya que este tuvo relevancia en 1830 el cual fue creado por Robert Anderson y no contaba con batería recargable. En 1912 el Detroit Electric tuvo gran autonomía alcanzando los 387 Km con una sola carga. (Lucia, 2015)

En la actualidad existe un crecimiento importante de la demanda energética, el transporte siendo uno de los más importantes. La mayor cantidad de energía consumida en el transporte son derivados del petróleo, los cuales causan un incremento incontrolable de gases contaminantes, con el fin de evitar esto desde hace años atrás se viene trabajando para evolucionar el sistema de transporte actual el cual contribuye al cuidado del medio ambiente y el bienestar económico de la sociedad. (Lucia, 2015)

Sin lugar a duda estamos en la era de la movilidad eléctrica, por ende, existe una mejor eficiencia donde la reducción y consumo de energía son pilar fundamental para la evolución de vehículos térmicos a eléctricos (Lucia, 2015).

Figura 1.
Vehículo Eléctrico



Nota. En la Figura 1 se muestra uno de los primeros EV inventados en los años ochenta. Obtenido de Vepachedu, 2017(p.1)

4.2 Consumo Energético en EV.

El consumo energético de un vehículo es el gasto total de energía para cumplir una ruta o un proceso determinado, este consumo energético depende del par mecánico, la velocidad y el tiempo de conducción, además el usar el aire acondicionado puede aumentar el consumo de energía del vehículo (Liu, et al., 2017)

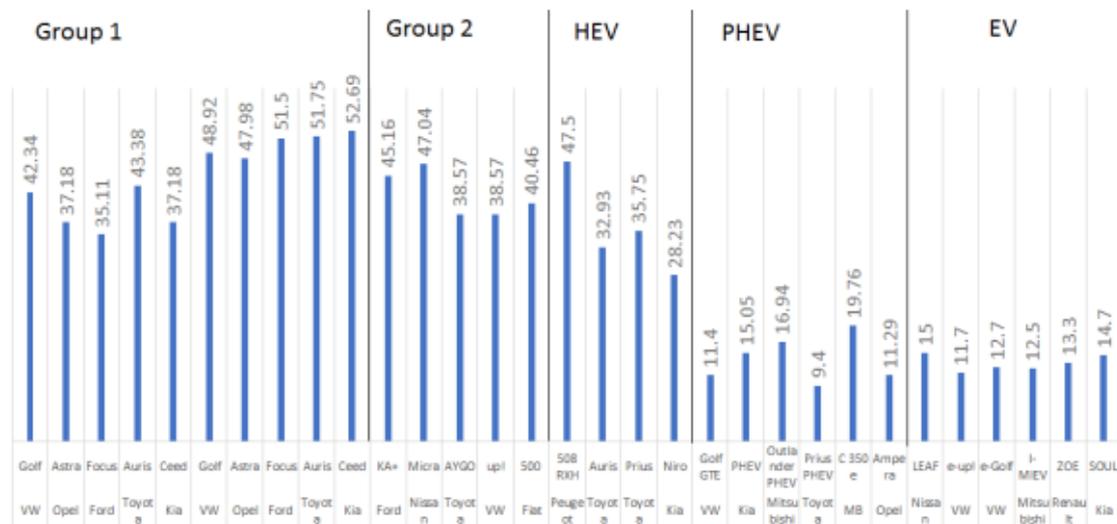
Los EV consumen un 70 a 90% de energía menos en relación a uno de combustión interna, este viene dado en kilovatios-hora por cada 100 kilómetros (kWh/100km). La mayoría tienen transmisión de engranaje único y un motor eléctrico, a excepción de Tesla que proporciona modelos de tracción en las cuatro ruedas. (Luis, 2018).

4.3 Rendimiento Energético de EV

Durante un ciclo de conducción el rendimiento energético, está dado por el cociente de la energía producida y suministrada. La diferencia más grande entre estos motores es la eficiencia la cual para un motor térmico está entre 15 y 20%, mientras que los vehículos eléctricos poseen un rendimiento de entre 60 y 85%. (Tenesaca, et al., 2017)

En la Figura 2 se observa que en el caso de los vehículos eléctricos el rendimiento es mucho mayor, estos son un 3.33 veces más eficiente en el caso de comparar el vehículo Golf eléctrico con el vehículo térmico (Lajunen, 2017).

Figura 2.
Consumo de Energía de Diferentes Modelos de Vehículos



Nota. Se muestran distintos tipos de vehículos los cuales muestran el rendimiento energético. Tomada de Lajunen, (2017, p.15).

4.4 Autonomía de EV

La autonomía es la capacidad que posee un vehículo para realizar una ruta determinada mediante la utilización de energía eléctrica, la cual se encuentra almacenada en baterías y depende de la cantidad de energía almacenada, por ende, mientras mayor cantidad obtendrá mayor autonomía (Tenesaca, et al 2017).

Para estimar la autonomía de un EV se debe indicar en qué condiciones o en qué ciclo se ha medido, esta varía en función de las condiciones de trabajo, logística, ciclos

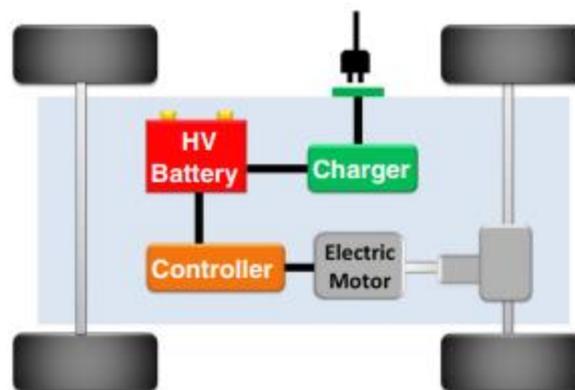
de conducción, cantidad almacenada de energía y dependerá de la medición del consumo energético (Reinoso & Ortega, 2020).

4.5 Contexto de EV.

Un EV es aquel que se impulsa debido a la fuerza que produce un motor eléctrico, el cual utiliza energía de una batería que se encuentra almacenada y son recargadas mediante una conexión a una red eléctrica. El motor utilizado para el desplazamiento del EV puede ser de corriente continua o alterna.

Un motor eléctrico tiene la finalidad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica y posee distintas ventajas frente a un motor térmico, como la disminución de gases contaminantes, ser sencillos y presentar una reducción notable de peso. (Montecelos, 2019)

Figura 3.
Esquema del EV



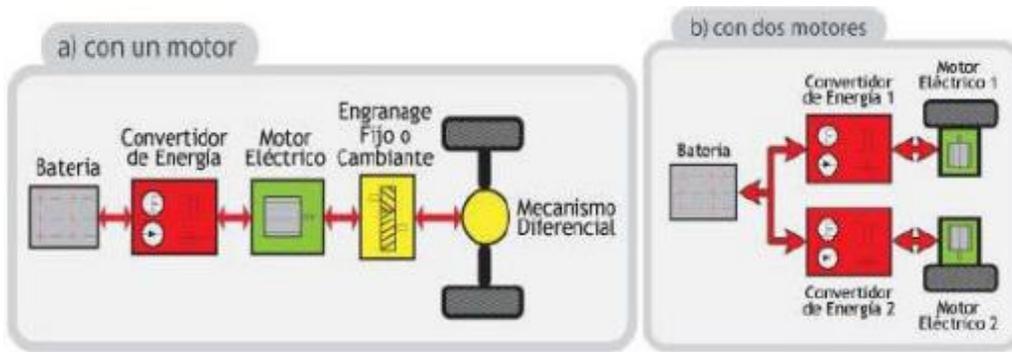
Nota. Representación de un EV, obtenido de (Helmerts & Marx, 2012)

4.5.1 Funcionamiento de EV

El funcionamiento de los EV está basado en un motor eléctrico acoplado al eje de tracción, con el fin de proporcionar movimiento a las ruedas. El convertidor es el encargado de cambiar la tensión continua en alterna la cual impulsa el motor haciendo que se mueva (Patel, et al., 2021).

Existen vehículos con un solo motor en el eje de las ruedas obteniendo mayor potencia, estos poseen pérdidas de eficiencia por la fricción e independiente para cada uno de ellas los cuales evitan la pérdida de transmisión, aunque se utiliza en vehículos pequeños que no necesiten elevadas potencias (BARRERA, et al., 2017).

Figura 4.
Diagrama de Funcionamiento de un EV



Nota. Se representa el montaje de un EV con un motor y dos motores eléctricos. Obtenido de (Montaño, 2016).

4.5.2 Características de EV

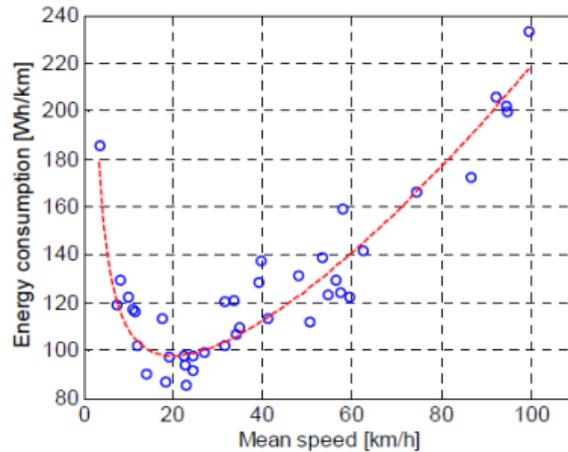
Este tipo de vehículos son más sencillos que los de combustión interna, ya que poseen baterías de almacenamiento de energía, la cual es la encargada de alimentar al motor eléctrico para su funcionamiento. Un EV abarca tecnologías existentes como lo son en corriente continua y alterna (Montecelos, 2019).

El inconveniente principal que poseen estos EV es su autonomía la cual va desde los 200 a los 350 km, mientras que su ventaja principal radica en la eliminación del petróleo como fuente de energía, por lo tanto, existe una eliminación de gases contaminantes (Sanguesa, et al., 2021).

4.6 Efectos sobre el Consumo de Energía en EV.

Un ciclo de conducción realizado por un vehículo conlleva pérdida de energía utilizada para vencer las resistencias que se presentan en conducción, las cuales varían en función de la aceleración, velocidad, calzada y resistencia a la rodadura, en la Figura 5 se muestra la incidencia de la velocidad en el consumo de energía. (Lajunen, 2017)

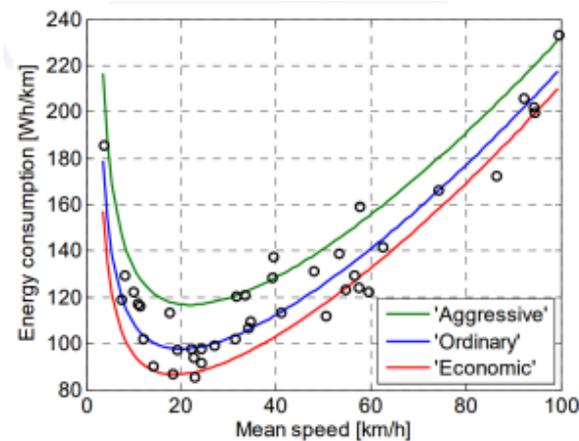
Figura 5.
Incidencia de la Velocidad en el Consumo de Energía



Nota. Se muestra cómo influye el método de conducción en el consumo de energía. Tomado de Lajunen, 2017, (p.18).

Otro factor que depende en su gran mayoría del consumo de energía es la aceleración y la conducción realizada, en la Figura 6 se muestra que el consumo se eleva cuando existe una agresividad por parte del conductor. (Lajunen, 2017)

Figura 6.
Aceleración en el Consumo de Energía



Nota. Se indica como la aceleración y la agresividad del conductor influye en el consumo energético de un EV. Tomada de Lajunen, 2017,(p.19).

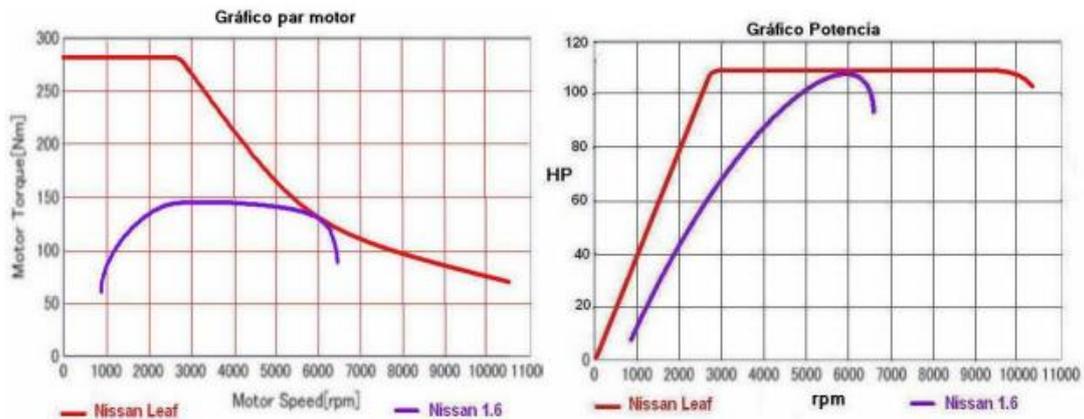
4.7 Potencia y Par de EV

La potencia eléctrica utilizada para desplazar un vehículo tiene que ser similar a la potencia mecánica del motor y par, el cual es la fuerza con la que gira el eje del motor. (Durán, et al.,2020)

En la Figura 7 se muestra una comparativa entre un motor de combustión interna y un eléctrico. Donde se aprecia que el EV color rojo es más potente en todas las circunstancias que el motor térmico. (Guillermo, 2017)

Figura 7.

Par y Potencia de EV



Nota. Se realiza una comparación de entre dos EV. Tomada de Guillermo, 2017,(p.20).

4.8 Ciclos Homologados de Conducción

Un ciclo de conducción es una representación estadística de la velocidad respecto al tiempo el cual se obtiene en una ruta determinada. Existen distintos ciclos de conducción para vehículos livianos, camiones, furgonetas y autobuses. Estos son una herramienta muy útil en la industria automotriz (Luis, 2018).

Estos ciclos de conducción sirven para conocer el consumo de combustible y energía eléctrica del vehículo, son pruebas donde se conduce en una cierta trayectoria y se determina la cantidad de consumo de energía, además consta con el protocolo del conductor que son; paradas, velocidad, aceleración y distancia las cuales son aplicadas por el mismo. (Tenesaca, et al., 2017)

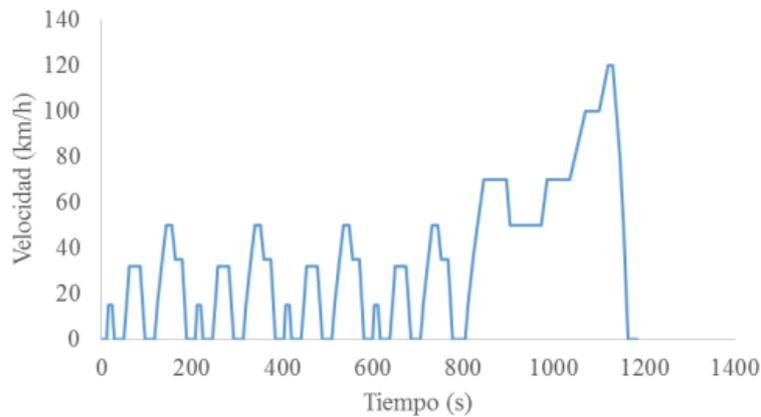
4.9 Ciclos de Conducción más Utilizados a Nivel Mundial

Dependiendo de la logística existen varios tipos de estos ciclos de conducción ya que varían en relación a la velocidad y las condiciones de manejo aplicadas por el conductor (Figuroa, 2017).

4.9.1 Ciclos Estacionarios

La principal característica de los ciclos estacionarios es la construcción de lapsos de velocidades y aceleraciones constantes en función del tiempo de conducción, estos son utilizados con el fin de representar condiciones de manejo realizadas en un laboratorio (Figuroa, 2017).

Figura 8.
Ciclo de Conducción Estacionario

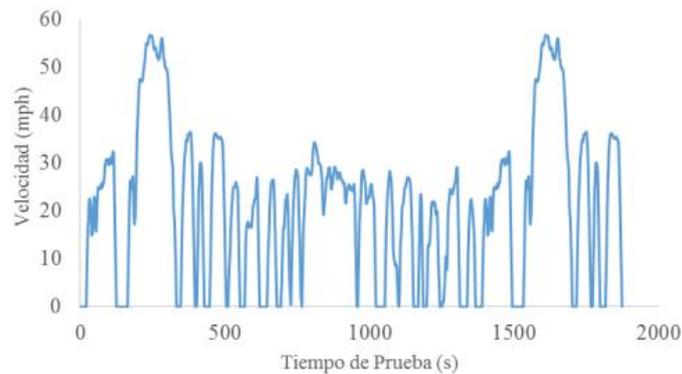


Nota. Se representa un ciclo de conducción estacionario de 0 a 1200 s alcanzando una velocidad máxima de 120 Km. Tomado de Figueroa, 2017,(p.4).

4.9.2 Ciclos Transitorios

Las características de estos ciclos radican en las variaciones de la velocidad, las cuales cambian a cada instante de tiempo. Estos ciclos son medidas reales adquiridas en una zona urbana, donde se producen aceleraciones y velocidades elevadas (Figueroa, 2017).

Figura 9.
Ciclo de Conducción Transitorio



Nota. Se aprecia el ciclo de conducción transitorio, representado en velocidad con respecto al tiempo. Obtenido de Figueroa, 2017,(p.5).

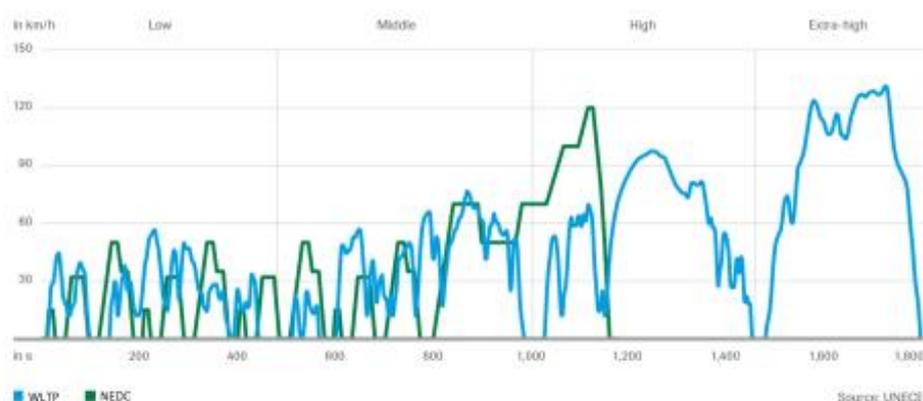
4.9.3 Ciclo NEDC (New European driving cycle)

El ciclo NEDC (nuevo ciclo de conducción europeo), es una normativa utilizada para la homologación de vehículos ligeros en la Unión Europea (Seiler, 2017).

Para obtener esta prueba es necesario el uso de un laboratorio donde no exista viento y se mantenga una temperatura entre 20 y 25° C, esta prueba debe ser realizada en frío, con el fin de ser validada (Seiler, 2017).

La cantidad de ciclos utilizados en USA y Europa lideran el desarrollo del WLTP (procedimiento mundial de prueba de vehículo ligero armonizado). En la Figura 10 se muestra una comparativa entre el WLTP Y NEDC, en la cual se observa que WLTP no posee zonas de una velocidad constante por lo que limita el comportamiento de conducción real (Seiler, 2017).

Figura 10.
Ciclo de Conducción NEDC



Nota. Se realiza una comparativa de dos ciclos de conducción el WLTP Y NEDC, donde este último tiene un comportamiento ideal. Obtenido de Seiler, (2017).

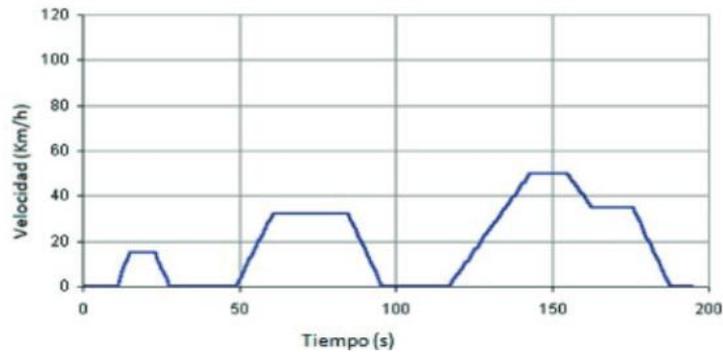
Este ciclo homologado se divide en dos partes, en el ciclo urbano y ciclo extraurbano.

- **Ciclo Urbano**

Un ciclo urbano consta de distintas consideraciones como la velocidad, la cual varía en función de paradas, aceleraciones y desaceleraciones, esto se realiza con el objetivo de que el estudio sea lo más idéntico a la conducción realizada en el ámbito urbano donde se analiza el comportamiento del vehículo. (Serpa, et al., 2019)

En la figura 11 se muestra el comportamiento del vehículo en un ciclo de conducción urbano, donde se observa que la velocidad mayor alcanzada es de 50 Km/h y el tiempo de análisis es de 190 segundos, este ciclo se lo realiza cuatro veces (Serpa, et al., 2019).

Figura 11.
Ciclo de conducción urbano



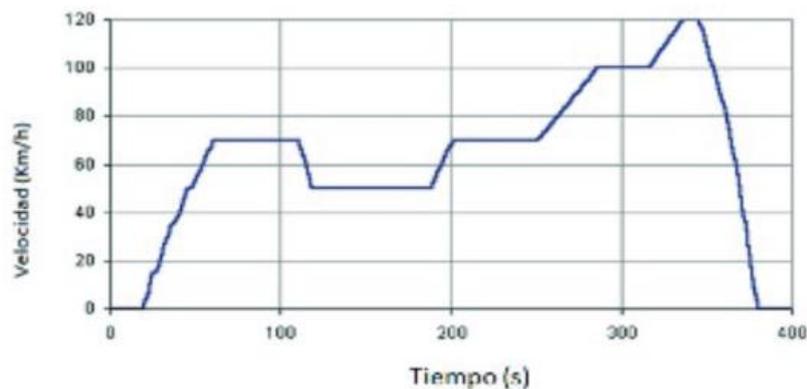
Nota. Se realiza un ciclo de conducción de velocidad con respecto al tiempo. Tomado de Serpa et al., 2019, (p.5)

- **Ciclo Extraurbano**

Este ciclo extraurbano es analizado fuera de la ciudad en una ruta larga, en el que se alcanzan velocidades elevadas que van desde 50 a 120 Km/h donde se realizan desaceleraciones y aceleraciones.

Para efectuar una prueba en ruta es importante tener en cuenta las siguientes condiciones; ausencia de lluvia, carretera en buen estado y temperatura. (Serpa, et al 2019)

Figura 12.
Ciclo de Conducción Extraurbano



Nota. Se realiza una representación del ciclo de conducción extraurbano en un tiempo de 400s alcanzando una velocidad máxima de 120 Km/h. Tomado de Serpa, et al., 2019(p.6).

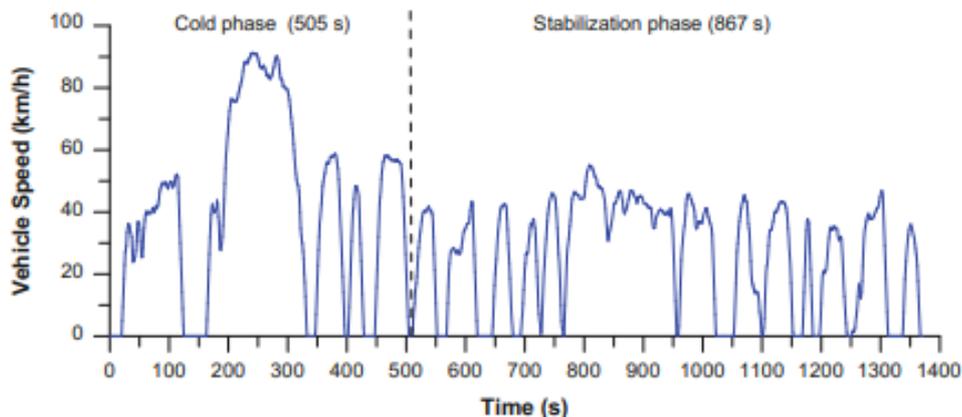
4.9.4 *Ciclo FTP-75*

El ciclo FTP-75 es conocido como EPA (organismo que legaliza este procedimiento), es un método utilizado para conocer el consumo de un vehículo. Este ciclo de conducción se clasifica de igual manera en urbano y extraurbano (Giakoumis, 2017).

Este ciclo se realiza con un arranque en frío simulando una ruta urbana con aceleraciones, frenado y paradas frecuentes, además consta de una fase transitoria y finalmente el arranque en caliente, esta última etapa inicia una vez que el vehículo se haya detenido por un lapso de 10 minutos. (Giakoumis, 2017)

En la figura 13 se muestran las tres fases; la primera siendo el arranque en frío dura de 0 a 505 s, la segunda fase de 540 a 660 s y finalmente el arranque en caliente es de 0 a 505s. (Giakoumis, 2017)

Figura 13.
Ciclo de Conducción FTP-75



Nota. Se muestra el análisis de un ciclo de conducción FTP-75. Obtenido de Giakoumis, 2017,(p.90).

En el análisis del ciclo extraurbano se arranca con el vehículo en caliente y en un tiempo determinado, donde se realizan periodos de velocidad constantes, desaceleraciones y aceleraciones en el que no sobrepasan los límites de velocidad, simulando así la conducción en autopistas y carreteras rurales (Giakoumis, 2017).

4.9.5 Estocástico

De acuerdo a Klaus, et al (2018) el ciclo de conducción estocástico está basado en la división de una ruta que realiza un vehículo, este segmento es el perfil de la velocidad entre paradas que realiza el automóvil las cuales están relacionadas con el tráfico, semáforos o peatones. Este método se divide en velocidad de eventos como cruce, aceleración y desaceleración.

4.9.6 Heurístico

Según Enang et al., (2015) el ciclo heurístico se encuentra implementado en vehículos híbridos, el cual se utiliza para suministrar una asistencia de energía al vehículo en alta demanda, es decir suministra una energía adicional. Este control heurístico se

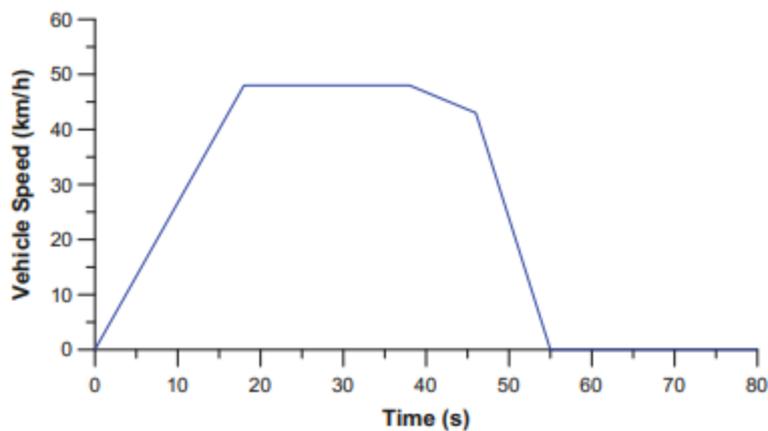
emplea en carga no sostenida en un tiempo real ya que no garantiza una sostenibilidad del acumulador de energía en un ciclo de conducción.

4.9.7 Ciclo de Conducción SAE J227a para EV

Este ciclo de conducción fue diseñado en la década de los 70 con el fin de obtener la misma demanda energética que el FTP-75. Este ciclo posee distintas fases en aceleración, crucero, inercia, frenado y ralenti del vehículo. La distancia recorrida en estos EV varía dependiendo de la aceleración y cantidad de energía almacenada. (Giakoumis, 2017)

Figura 14.

Ciclos de Conducción para EV



Nota. En la Figura 14 se representa un ciclo de conducción de EV, obtenido en un tiempo de 55s con una velocidad máxima de 50 km/h. Tomado de Giakoumis, 2017,(p.123).

4.10 Mínima Diferencia de Promedios Ponderados

Es un promedio en el cual se representa la importancia relativa. Es una media aritmética para obtener un promedio ponderado, donde el factor de ponderación debe poseer el tamaño de cada muestra y realizar magnitudes de periodo base. Uno de los usos que se le da a este método es la predicción y análisis de datos. (James, 2016)

Este análisis de promedios ponderados se utiliza para obtener el ciclo de conducción el cual resulta de una curva experimental, se adquiere de la comparación de variables que tengan mayor influencia en cada curva obtenida al realizar el experimento. (Bravo, 2016)

Con el fin de determinar el ciclo de conducción se selecciona las variables del recorrido que más se aproximen a la media en sus parámetros de recopilación, esto debe realizarse al minimizar los promedios ponderados con relación a la misma. A través de la Ec 1 se obtiene un parámetro ideal de todos los valores obtenidos en ruta, se selecciona

el valor mínimo ya que este tiene la menor desviación de todas las rutas realizadas. (Bravo, 2016)

$$y = \arg \left\{ \min_j \left(\sum w_i |P_{ij} - \bar{P}_i| \right) \right\} \quad (\text{Ec. 1})$$

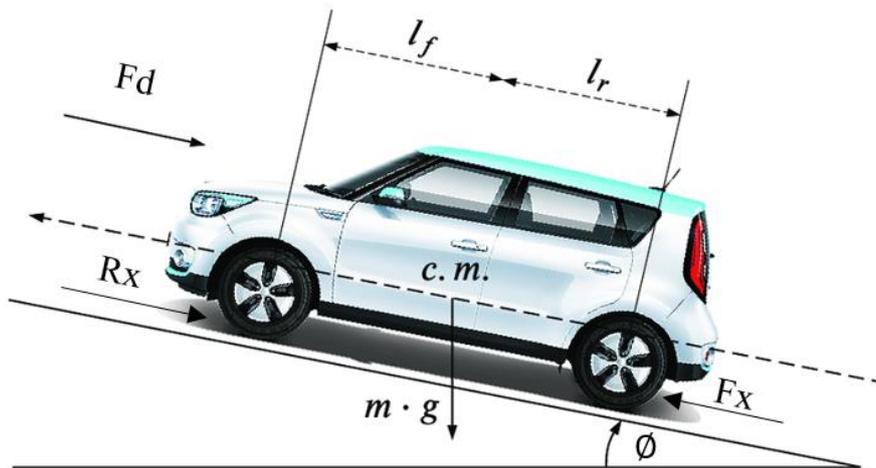
4.11 Ecuaciones que Gobiernan la Dinámica Longitudinal

Es la energía necesaria que un vehículo requiere para desplazarse de un lugar a otro y se cuantifica en función de las fuerzas que se oponen al movimiento, mediante estas se puede obtener la potencia basándose en la velocidad (Figuroa, 2017).

En la Figura 15 se observa las fuerzas que actúan sobre el vehículo y las cuales se oponen al movimiento del mismo, estas están compuestas de fuerzas gravitatorias, arrastre aerodinámico, resistencia a la rodadura, tracción, resistencia por pendiente y resistencia por inercia. (Tapia, et al 2017)

Figura 15.

Fuerzas que se Oponen al Movimiento



Nota. En la imagen se ilustra todas las fuerzas que actúan en el vehículo las cuales se oponen al movimiento del mismo. Adaptada de Valladolid et al., 2021,(p.6).

4.11.1 Fuerza de Tracción (Fx)

Esta fuerza es la encargada de suministrar propulsión al vehículo. Con el fin de que exista movimiento esta debe ser mayor a la suma de las fuerzas resistivas y se representa mediante la Ec 2. (Tapia, et al., 2017)

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

Donde

Fd: Fuerza de resistencia aerodinámica (N)

Rg: Resistencia por pendiente (N)

R_x: Resistencia a la rodadura (N)

R_i: Resistencia a la inercia (N)

4.11.2 Fuerza de Resistencia Aerodinámica (**F_d**)

Es otorgada por el aire y se opone al movimiento del vehículo, los principales factores que afectan son el tamaño, el diseño, el área frontal, la velocidad del viento, su densidad y dirección (Tapia, et al 2017).

$$F_d = \frac{1}{2} * C_d * A * \delta * V^2 \quad (Ec. 3)$$

Donde

C_d: Coeficiente aerodinámico

A: Área frontal (m^2)

δ: Densidad del aire (Kg/m^3)

V: Velocidad del vehículo (m/s)

4.11.3 Resistencia a la Rodadura (**R_x**)

Este tipo de resistencia está asociada con la calzada, perfil, presión de inflado de las ruedas del vehículo y varía en función del peso, coeficiente de rodadura, gravedad y grados de inclinación de la calzada (Tapia, et al 2017).

$$R_x = f_r * M * g * \text{Cos}\theta \quad [N] \quad (Ec. 4)$$

Donde:

f_r: Coeficiente de rodadura (—)

M: Masa del automóvil (Kg)

g: Gravedad (m/s^2)

θ: Pendiente (*Grados*)

4.11.4 Resistencia a la Pendiente (**R_g**)

Esta resistencia cambia en función del perfil de la calzada y de la masa del automóvil. Cuando el vehículo se encuentra inclinado una parte del peso de este se transfiere en contra al sentido de marcha provocando una resistencia, en el caso que el vehículo descienda la pendiente este peso favorece al desplazamiento. (Tapia, et al 2017)

$$Rg = M * g * \text{Sen}\theta \quad [\text{N}] \quad (\text{Ec. 5})$$

M: Masa del vehículo [Kg]

g: Gravedad [m/ s²]

θ: Pendiente (*Grados*)

4.11.5 Resistencia a la Inercia (**Ri**)

La resistencia a la inercia es la fuerza que se opone al cambio de velocidades de un vehículo, por ende, se la debe vencer para cumplir este objetivo. Mediante la Ec 6 se obtiene esta resistencia la cual depende de la aceleración y la masa (Tapiaa et al., 2017).

$$Ri = M * a \quad [\text{N}] \quad (\text{Ec. 6})$$

M: Masa del vehículo

a: Aceleración

4.12 Torque

El torque está definido como una fuerza que tiende a girar. Se produce debido a la fuerza de tracción, la relación de transmisión y el radio del neumático (Rocha, et al., 2017).

Se la puede definir mediante la siguiente Ec 7:

$$\tau = \frac{Fx * r}{G} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

Fx: Fuerza de tracción

G: Relación de transmisión

r: Radio del neumático

4.13 Potencia y Energía en Rueda

4.13.1 Potencia

La potencia se define como la cantidad de energía que es consumida por un elemento eléctrico en un determinado tiempo. Esta viene definida en unidades de vatios (W) y se la puede mediar únicamente mediante bancos de pruebas (BARRERA, et al 2017).

En el EV se pueden encontrar dos tipos de potencia, a continuación, se indica cada uno de ellos.

4.13.1.1 Potencia Nominal. La potencia nominal es aquella que se consume cuando trabaja a una tensión indicada (Geetha, et al 2019).

4.13.1.2 Potencia Real. Se define como la potencia que es consumida cuando el motor trabaja a una diferente tensión a la que fue predeterminada (Geetha, et al 2019).

En la Ec 8 se muestra el cálculo de la potencia en rueda, la cual se obtiene en función de la fuerza de tracción y la velocidad.

$$P_x = F_x * v \quad (Ec. 8)$$

Donde

P: Potencia [W]

F_x: Fuerza de tracción [N]

v: Velocidad [m/ s²]

4.13.2 Energía en Rueda

Es la energía requerida para obtener el movimiento del vehículo y vencer las fuerzas que se oponen al movimiento, la energía consumida en la ruta se calcula mediante el estudio dinámico del vehículo. Se expresa mediante la Ec.9 donde depende de la potencia del motor eléctrico y el tiempo (Moscoso, 2017).

$$E_x = P_x * \Delta t \quad (Ec. 9)$$

[Wh]

Donde:

E: Energía [Wh]

P: Potencia [W]

Δt : Diferencia de tiempo [s]

4.14 Ecuaciones para la Determinación del Rendimiento Energético del Ev

4.14.1 Ecuación del Par de Motor.

La ecuación del par de motor se obtiene de la dinámica longitudinal del vehículo utilizando la fórmula de movimiento, el cual caracteriza el cambio longitudinal provocado por la fuerza que se le aplica. El torque de motor se puede determinar mediante la siguiente Ec 10: (Gillespie, 1992; Martínez, et, al 2016)

$$F_x = \frac{\tau_e * N_{tf} * \eta_{tf}}{rd} - m_e * a \quad (Ec. 10)$$

Donde:

F_x : Fuerza de tracción [N]

τ_e : Torque motor [Nm]

N_{tf} : Relación de transmisión total 0.9

η_{tf} : Eficiencia de transmisión

rd : Radio dinámico
 m_e : Masa equivalente } **Inercias rotacionales**

a : Aceleración

Al reemplazar estas fuerzas y masas inerciales que presentan la oposición del movimiento del vehículo y se obtiene la Ec 11.

$$Fd + Ri + Rg + Rx = \frac{\tau_e * N_{tf} * \eta_{tf}}{rd} - (M * mf - M) * a \quad (Ec. 11)$$

Donde:

Fd : Fuerza de arrastre

Ri : Resistencia a la inercia

Rg : Resistencia a la pendiente

Rx : Resistencia a la rodadura

M : Masa del Kia Soul Ev

mf : Factor de masa $[1 + 0.04 N_{tf} + 0.0025 N_{tf}^2]$

Para determinar el torque motor del vehículo se despeja de la ecuación la variable obteniendo.

$$F_x = \frac{\tau_e * N_{tf} * \eta_{tf}}{rd} - (M * 1 + 0.04 N_{tf} + 0.0025 N_{tf}^2 - M) * a$$

$$\tau_e = \frac{rd(F_x + (M * 1 + 0.04 N_{tf} + 0.0025 N_{tf}^2 - M) * a)}{N_{tf} * \eta_{tf}}$$

4.14.2 Eficiencia de la Transmisión de un Vehículo.

El Kia Soul Ev posee una transmisión variable de tipo CVT, es un tipo de caja que cambia varias relaciones de forma continua, por lo cual este modelo posee una eficiencia constante. Para una relación de transmisión fija se considera una eficiencia constante de 0.95. (Hofman & Dai, 2010)

4.14.3 Velocidad Angular en Rueda.

Para la obtención de la velocidad angular de la rueda se utilizó las ecuaciones del comportamiento longitudinal del neumático, donde se analiza todas las fuerzas que actúan en un instante el movimiento sobre un punto, obteniendo la Ec 12. (Luque, et al, 2004)

$$v = w * Rd \quad (Ec. 12)$$

Donde:

v: Velocidad Lineal [m^2/s]

w: Velocidad Angular [rad/s]

Rd: Radio Dinámico [m]

Al despejar la ecuación inicial se obtiene la velocidad angular que actúa a lo largo del recorrido en el modelo. Obteniendo:

$$w = \frac{v}{Rd} \quad (Ec. 13)$$

4.14.4 Velocidad del Motor

Para la determinación de la velocidad del motor se despeja la formula mostrada anteriormente, obteniendo la Ec 14: (Mantaras,et al, 2004)

$$Velocid\ motor = w * Rd \quad (Ec. 14)$$

Donde:

v: Velocidad

w: Velocidad angular

Rd: Radio Dinámico

4.14.5 Porcentaje de Carga

El porcentaje de carga requerida para vencer la inercia y las resistencias que se oponen al movimiento se obtiene al dividir el torque requerido y el torque disponible, este es el porcentaje de apertura del acelerador que debe ser accionado para vencer todas las fuerzas que se oponen al desplazamiento del vehículo.

$$\% Load = \frac{\tau_{req}}{\tau_{dis}} \quad (Ec. 15)$$

4.14.6 Potencia del Motor

Para calcular la potencia del vehículo que obtiene un motor a un régimen de giro se debe convertir la frecuencia de giro a una angular, esto con el fin de conocer el tiempo que tarda en desarrollar el trabajo con el par creado, esta potencia se expresa en kW. (CALLEJA, 2015)

$$P = T * w \quad (Ec. 16)$$

Donde:

P: Potencia [Kw]

T: Torque o par motor [N.m]

w: Velocidad angular [rad/s]

4.15 Rendimiento Energético

Con el fin de obtener el rendimiento energético del vehículo se divide la distancia del trayecto interurbano Loja al Aeropuerto de Catamayo para la eficiencia del motor eléctrico.

$$R: \frac{d}{E_{motor}} \quad (Ec. 17)$$

Donde:

R: Rendimiento energético [Km/Kwh]

d: Distancia recorrida [Km]

E_{motor}: Energía del motor [Kwh]

5 Metodología

5.1 Equipos e Instrumentos

A continuación, se describen los elementos y equipos utilizados para la adquisición de datos al momento de realizar los viajes, además se caracteriza el EV empleado para el estudio.

5.1.1 Medio de Transporte Utilizado para los Viajes en Ruta

El automóvil utilizado para este proyecto es un Kia Soul EV 2016, el cual se utilizó para obtener las variables necesarias para determinar el rendimiento energético en la ruta, Loja - aeropuerto de Catamayo.

Figura 16.

EV Utilizado para Realizar los Viajes



5.1.1.1 Datos Técnicos del Vehículo

Tabla 1.

Datos Técnicos del EV

Datos técnicos	
Marca	Kia
Modelo	Alma ev
Tipo	Eléctrico
Par	285 N*m
Potencia	81 KW
Largo total	4.140
Ancho total	1.80
Altura total	1.593
Distancia entre ejes	2.57

Comunicación CAN de baja velocidad	100 Kbps
Comunicación CAN de alta velocidad	500 Kbps (Can 2.0)

Nota. Datos del EV obtenidos del manual de usuario, por (KIA, 2021).

5.1.2 Programa Simulink para el Modelado

Simulink es una herramienta de MATLAB, el cual es utilizado para simular sistemas físicos y de control mediante la utilización de diagramas de bloques. El comportamiento de estos se define con funciones de transferencia, operaciones, elementos y señales previamente definidas.

Este apartado posee varios elementos que facilitan la visualización y análisis de resultados, además de ser muy utilizado en la ingeniería de control.

Figura 17.

Simulink



Nota. Tomado de (Universidad Nacional de Colombia, 2019)

5.1.3 OBDLink Mx+

El OBDLink Mx+ es un dispositivo OBD bluetooth que puede transformar el teléfono en una herramienta de diagnóstico profesional y obtener datos de funcionamiento en tiempo real. Este protocolo funciona con todos los vehículos a partir del año 1996 hasta los más nuevos incluyendo los vehículos estadounidenses, europeos y asiáticos. (OBDLink, 2018)

Figura 18.

OBDLink Mx+



Nota. Tomado de (OBDLink, 2018)

5.1.3.1 Características. Es uno de los dispositivos de mayor velocidad hasta 300% más rápido, es pequeño y muy fácil de usar, permite leer datos mediante un lenguaje de programación de LabView. Además de permitir actualizaciones gratuitas de software, firmware y así mantener actualizado el adaptador. (OBDLink, 2018)

5.1.4 Especificaciones del OBDLink Mx+

Tabla 2.

Especificaciones del OBDLink Mx+

Especificaciones	
Plataformas compatibles	iOS, Android, Windows
Conexión	Bluetooth 3.0 Cifrado seguro de datos 128bits
Voltaje de funcionamiento	12 V
Corriente	62Ma
Peso	85.1g
Dimensiones	50x25x43 mm
Temperatura	-20 a 55 °C
Protocolos	ISO15765-4 (PUEDE) ISO14230-4 (Protocolo de palabras clave 2000) ISO9141-2 (asiáticos, europeos, Chrysler) J1850 VPW (vehículos GM) J1850 PWM (vehículos Ford)

Nota. Datos técnicos del protocolo de comunicación. Fuente: (OBDLink, 2018)

5.2 Ruta Seleccionada

5.2.1 Perfil de la Ruta.

Para realizar el recorrido de la ruta entre Loja y el Aeropuerto de Catamayo, se ha seleccionado un Kia Soul EV 2016. En la Tabla 3 se indica la vista satelital y características de la ruta. El recorrido inició en el terminal terrestre Reina del Cisne de la ciudad de Loja hasta Catamayo.

Tabla 3.
Mapa satelital

Mapa satelital de la ruta Loja al Aeropuerto de Catamayo



Características

Designación

Nombre de la ruta

Terminal terrestre de Loja al aeropuerto de Catamayo

Horario del viaje

8h00- 13h00

N° de rutas realizadas en un día.

1 Ruta

Tiempo de espera entre ruta y ruta

5 minutos

En la Figura 19 se muestra el perfil de elevación de la ruta, la cual inicia en el terminal de la ciudad de Loja con una altitud de 2 048 msnm. Se estima que en el tramo de Loja hasta el villonaco existe el mayor consumo de energía del EV debido a un aumento de elevación de 530 msnm, desde este punto al Aeropuerto de Catamayo se considera que existe una regeneración de energía, debido a que la altura disminuye notablemente llegando a tener en el punto final del estudio una elevación de 1 230 msnm. La distancia aproximada recorrida es de 37.5 km.

Figura 19.
Perfil de Elevación

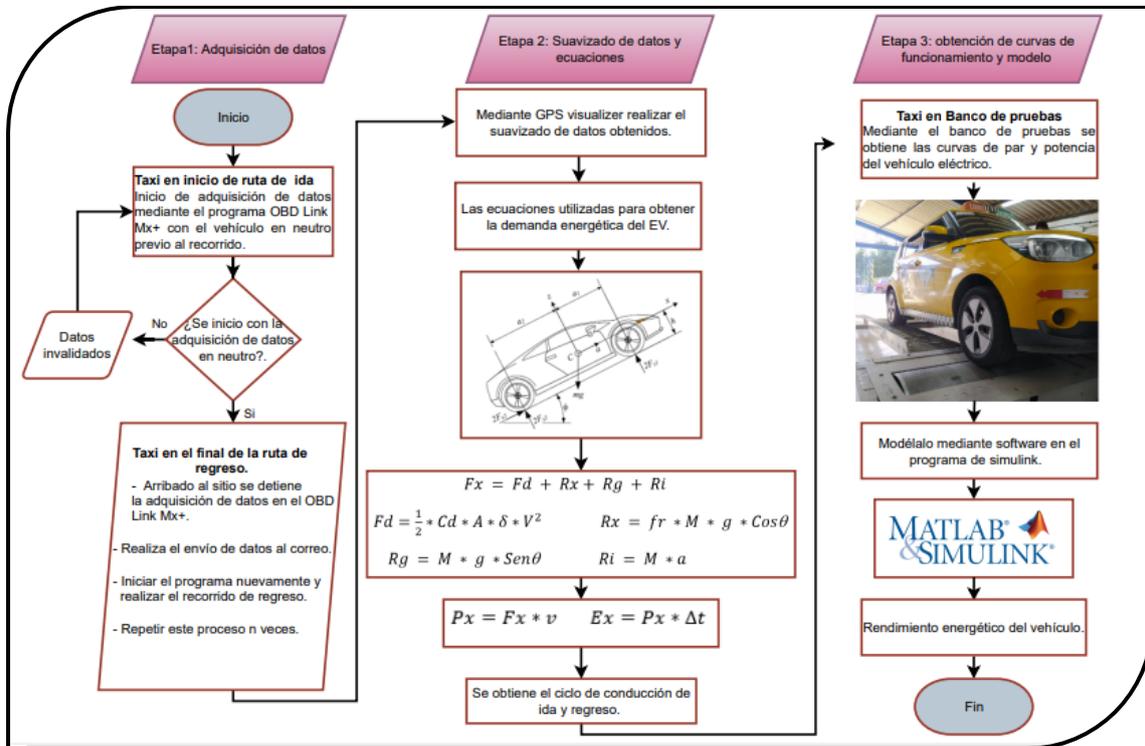


Nota. Se muestra el perfil de elevación del Loja al aeropuerto de Catamayo, el cual tiene una distancia de 37.5 km y el perfil va decayendo a lo largo de la ruta, alcanzando a tener una altura máxima de 2 581 m al nivel del mar.

5.3 Proceso Cronológico

El estudio se desarrolló en tres etapas como se aprecia en la Figura 20 el cual es un flujoograma realizado bajo la normativa ANSI, donde se obtuvo los datos en ruta, posteriormente se realizó un suavizado y la aplicación de ecuaciones, para finalmente obtener las curvas de par motor y el modelo que permita calcular el rendimiento del EV en la ruta seleccionada.

Figura 20.
Proceso Cronológico



5.4 Recopilación de Datos Mediante OBD Link Mx+

Para el monitoreo de datos del Ev se conecta el dispositivo en mención en el puerto OBD del vehículo y mediante bluetooth con el programa de lenguaje de programación de LabView, donde se obtiene las variables en tiempo real a una frecuencia de 1 Hz descritas en la Tabla 3.

Tabla 4.

Variables de Suavizado de Datos

Longitud	Latitud	Altitud	Speed (GPS)(km/h)
----------	---------	---------	-------------------

5.5 Calculo de Velocidad, distancia y aceleración

5.5.1 Cálculo de Velocidad

Obtenidas las variables mediante el dispositivo se transforma la velocidad a metros por segundo utilizando la Ec 19.

$$v = \frac{v/h}{3.6} \quad (Ec. 19)$$

5.5.2 Cálculo de Distancia

La Ec 20 sirve para determinar la distancia en kilómetros, en función de la velocidad obtenida.

$$dx = v * dt \quad (Ec.20)$$

$$dx = \frac{v * (t_2 - t_1)}{1000} \quad (Km)$$

5.5.3 Cálculo de Aceleración

Con la Ec 21 se obtiene la aceleración por medio de la velocidad para el tiempo determinado.

$$a = \frac{d_v}{d_t} = \frac{(V_2 - V_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (Ec. 21)$$

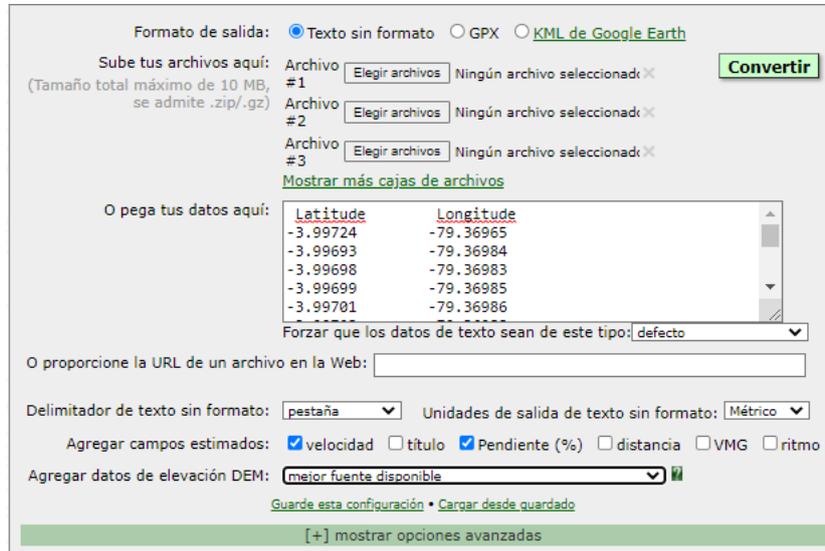
5.6 Suavizado del Perfil de Altitud y Obtención de la Pendiente a través de GPS

Visualizer

El GPS visualizer es una aplicación gratuita que permite crear mapas y perfiles en función de datos geográficos, además de convertir los archivos GPS a texto, para calcular elevaciones a partir de las variables obtenidas. Como se observa figura 21 se ingresa en la casilla correspondiente los valores de Latitud y longitud, se agrega el campo de

velocidad, pendiente y la mejor fuente disponible, el cual arroja un formato txt. Esto se realiza para todos los recorridos del EV.

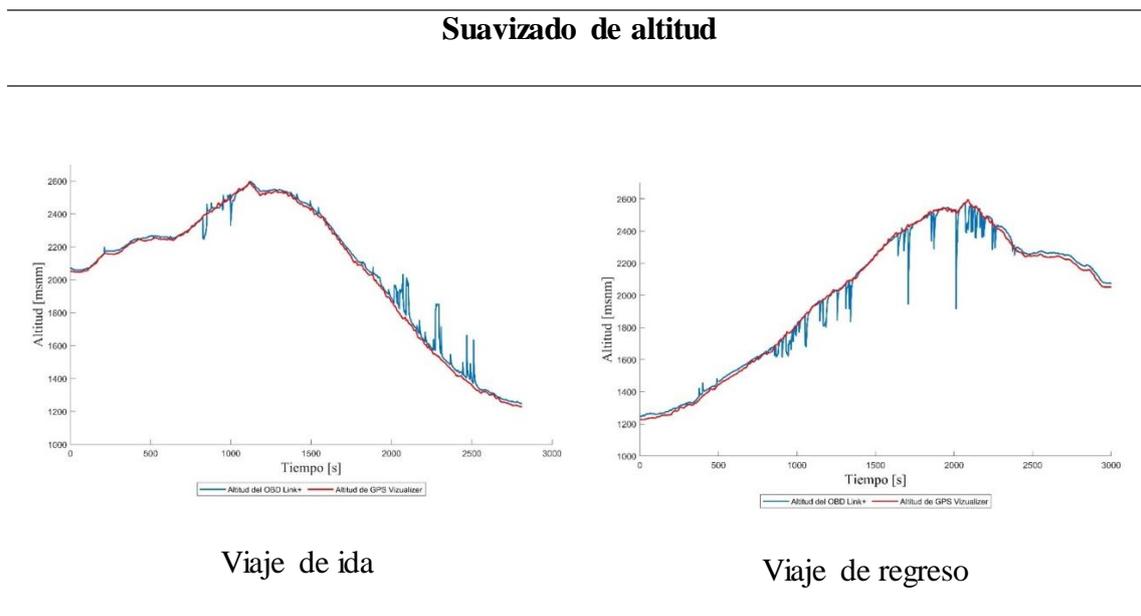
Figura 21.
Convertidor de GPS Visualizer



5.6.1 Suavizado de Altitud.

Como se puede ver en ambas figuras de la Tabla 5 se aprecia con color azul la gráfica original obtenida mediante el dispositivo, las cuales son muy nerviosas que podría no corresponderse con el recorrido real en ruta. De color rojo se indica las representaciones obtenidas mediante el GPS visualizer consiguiendo una ilustración homogénea del viaje justificando el suavizado.

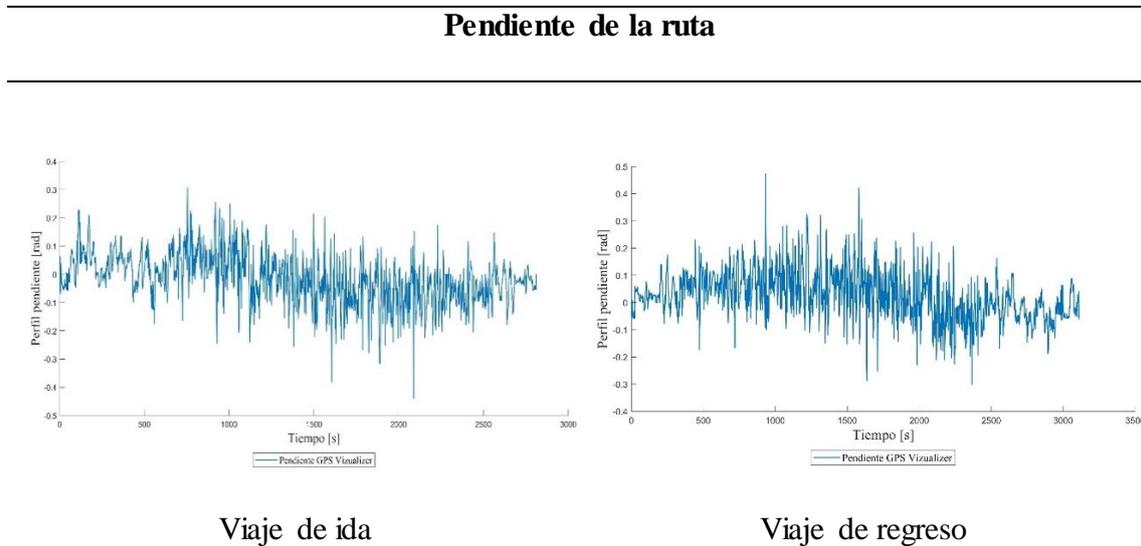
Tabla 5.
Comparación de Suavizado de Altitud



5.6.2 Obtención de la Pendiente de la Ruta.

Las variables obtenidas de pendiente mediante GPS Visualizer son transformadas a radianes y graficadas con respecto al tiempo de recorrido, como se muestra en la Tabla 6, esto se realiza para cada uno de los recorridos realizados en la ruta determinada.

Tabla 6.
Pendiente de la Ruta



Nota. En las figuras de la tabla se observa la pendiente de la ruta con respecto al tiempo.

5.7 Definición de las Variables Implicadas en el Cálculo de la Dinámica del Vehículo.

5.7.1 Masa del Vehículo en Ruta

La masa del Ev se obtiene a partir de la sumatoria del peso del vehículo en vacío, del número de personas que realizan el viaje y el peso promedio de un equipaje.

Según el instituto Ecuatoriano de normalización (INEN, 2009), en cargas de diseño de un vehículo, en la estructura de carrocerías, para las cargas vivas la masa de un ocupante o pasajero es de 70 kg.

5.7.2 Cálculo de la Densidad del Aire

Mediante la Ec 22 que se obtiene de ley de los gases ideales se demuestra una relación entre la temperatura, presión y volumen la cual se puede utilizar para obtener la densidad del aire con los factores ambientales que existen en la ciudad de Loja y del cantón de Catamayo, al conocer estos factores se puede calcular la densidad utilizando la Ec 22. (ÇENGEL & BOLES, 2009)

$$PV = mRT \quad (Ec. 22)$$

Donde:

P: Presión atmosférica [*Pa*]

V: Volumen [*m*³]

m: Masa [*Kg*]

R: Constante de los gases [*J/Kg * K*]

T: Temperatura [*K*]

Se deriva la masa y el volumen obteniendo la Ec 23 para el cálculo de la densidad del aire, utilizando variables de presión atmosférica de la ciudad de Loja la cual es de 72 485 Pa, la temperatura de 15 °C y la constante de los gases ideales. (Climate Data, s.f.)

Esta variable en mención es obtenida desde el terminal terrestre Reina del Cisne de Loja hasta la altura de Villonaco, debido a que cambia con la presión atmosférica y la temperatura promedio que existe en las dos ciudades.

$$\rho a = \frac{P}{RT} \quad (Ec. 23)$$
$$\rho a = \frac{72485}{287,053(273 + 15)}$$
$$\rho a = 0.88 \text{ Kg/m}^3$$

En el cantón de Catamayo la densidad es distinta a la provincia de Loja, por tal motivo en el estudio se considera también desde el punto más alto de villonaco hasta el aeropuerto Camilo Ponce Enríquez, el cual tiene una presión atmosférica de 87 592.8 Pa y una temperatura promedio de 291.5 K. (Jaramillo J. , 2015)

$$\rho a = \frac{P}{RT}$$
$$\rho a = \frac{87592.8}{287,053(273 + 18.5)}$$
$$\rho a = 1.046 \text{ Kg/m}^3$$

5.7.3 Cálculo del Radio Dinámico del Neumático

El radio dinámico del neumático se deforma debido al peso del vehículo, el cual está relacionado con la circunferencia de rodadura y está representado entre el 96 y 97% del radio sin carga (Autoridad Nacional de Ciencias Ambientales, 2015).

El radio sin carga se obtiene a partir de la Ec 24 y datos de la nomenclatura de la rueda como: ancho de la llanta, relación entre ancho/alto, y el radio del rin.

$$\text{Radio nominal} = 0.5 * [(205\text{mm} * 2 * 60\%) + (25.4\text{mm}/\text{in} * 15\text{in})] \quad (\text{Ec. 24})$$

$$\text{Radio nominal} = 0.5 * [(205\text{mm} * 2 * 0.6) + (25.4\text{mm}/\text{in} * 16\text{in})]$$

$$\text{Radio nominal} = 326.2 \text{ mm}$$

$$\text{Radio dinámico} = \frac{326.2\text{mm} * 0.97}{1000}$$

$$\text{Radio dinámico} = 0.316414 \text{ m}$$

5.7.4 Datos Resumen y otras Variables Implicadas en el Cálculo

En la Tabla 7 se aprecian las variables obtenidas necesarias para el cálculo de la dinámica del automóvil y otras variables implicadas.

Tabla 7.

Datos resumen y otras variables

Datos del Vehículo		
Masa	<i>M</i>	1 638.73 [Kg]
Coeficiente de arrastre	<i>cd</i>	0.35 [-]
Coeficiente de resistencia a la rodadura	<i>fr</i>	0.017 [-]
Gravedad	<i>g</i>	9.81 [m/s ²]
Área Frontal	<i>A</i>	2.3 [m ²]
Densidad del aire Loja	<i>ρa</i>	0.88 [Kg/m ³]
Densidad del aire Catamayo	<i>ρa</i>	1.025 [Kg/m ³]
Denominación del neumático		205/60R16
Radio dinámico	<i>Rd</i>	0.316414 [m]
Radio nominal (sin carga)		326.20 [mm]

Nota. Se indican los valores del vehículo Kia Soul EV 2016. Obtenido de (Valladolid, et al, 2021)

5.7.5 Par en Rueda

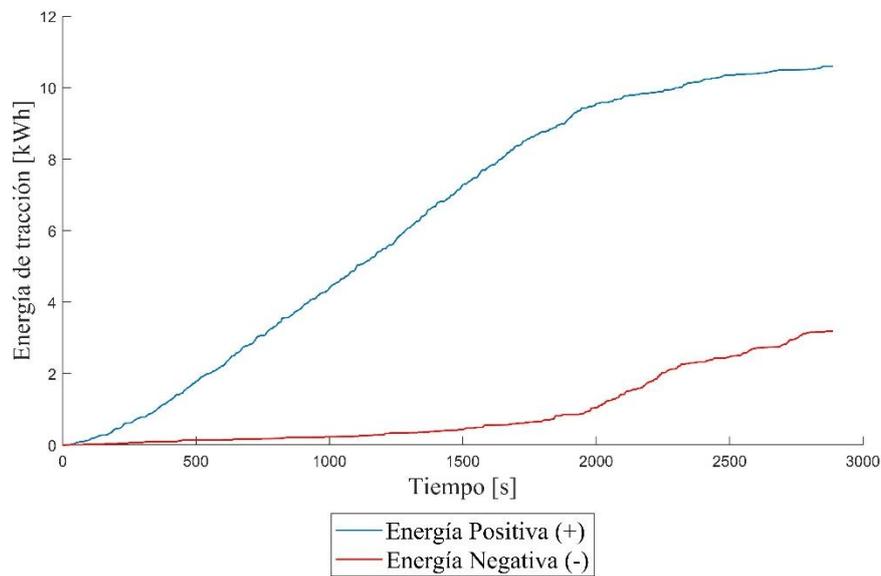
En función de la Ec 25 se calcula el par en rueda mediante la fuerza de tracción por el radio dinámico.

$$\tau_x = F_x * R_d \quad (Ec. 25)$$

5.8 Consideraciones para la Energía de Tracción

Únicamente se considera la energía positiva la cual se precisa para mover el vehículo y la energía negativa se canaliza a través del sistema de regeneración. En la Figura 22 se observa como ejemplo la energía para el recorrido número 7 de ida.

Figura 22.
Energía de Tracción



5.9 Diferencias Mínimas Ponderadas de los Parámetros Característicos

Con el fin de obtener las mínimas diferencias ponderadas se considera tres fases principales: la selección de la ruta, el muestreo de los ciclos de conducción y la elección del TDC, esta se la realiza en función de parámetros característicos los cuales son las energías que consumen cada una de las fuerzas de resistencia. Esta metodología es utilizada para obtener el TDC en base a los datos del GPS. (Huertas, et al, 2017)

Para la obtención del ciclo característico de conducción, primeramente se define a P_{ij} el cual el valor del parámetro que se obtuvo para el ciclo j , para cada uno de estos se obtiene el promedio aritmético de todos los ciclos obtenidos, mediante (\bar{P}_i) . El siguiente paso es realizar una comparación para cada valor característico de todas las rutas muestreadas $(P_{ij} - \bar{P}_i)$ y sumas las diferencias para cada parámetro. (Huertas, et al, 2017)

Se debe tener en cuenta que para el consumo de energía del EV se obtienen unos datos más relevantes que otros, por este motivo para la suma de diferencias ponderadas se debe ponderar de acuerdo a la importancia de cada parámetro en la determinación del consumo de energía. En la Figura 23 se observa que el valor más importante para el consumo de energía en la ruta interurbana es el R_g el cual está asociado a la pendiente de la ruta, el segundo parámetro más relevante es la resistencia a la rodadura y finalmente el TDC se obtiene mediante la Ec 1. La suma de las diferencias ponderadas se utiliza para todos los viajes realizados. (Huertas, et al, 2017)

Figura 23.
Promedio Ponderados

	Numero de ciclos	RESULTADOS DE CONSUMO DE ENERGÍA					SUMATORIA
		%E.Fd(+)	%E.Rx(+)	%E.Rg(+)	%E.Ri(+)	Ex(+) [kw/h]	
J	1	5.051747757	18.494727	61.41871330	15.03481194	6.290519975	2.08961952
	2	5.920347509	17.95703621	60.89592643	15.22668985	6.764686574	1.85990101
	3	5.977616101	18.35343718	55.41178996	20.25715676	6.459947045	2.50428270
	4	5.237996969	18.36277697	56.86201721	19.53720886	6.407767702	1.50635086
	5	5.37411233	18.6315755	57.37353722	18.62077495	6.269085817	0.99086361
	6	4.738375036	18.93436258	60.22452355	16.10273883	6.158242388	1.20836535
	7	5.882355340	18.91002879	57.48409530	17.72352057	6.163464381	0.80264627
	8	5.503296601	18.91734501	59.72304744	15.85631095	6.162095406	0.92317061
	9	5.704403189	18.88930298	56.42993255	18.97636129	6.368627866	1.62289849
	10	5.138967193	19.53942403	60.89879058	14.42281819	5.998758806	1.98485345
	11	5.405078625	19.14682924	59.55511059	15.89298154	6.105564762	0.85614468
	12	5.203704765	19.52078451	59.70325371	15.57225701	6.007242494	1.07905746
	13	5.165632526	18.9037357	59.36450828	16.56612349	6.097149714	0.59560476
	14	4.953485766	18.53136157	57.95779578	18.55735689	6.552034685	0.67900013
	15	5.792939404	18.19410865	55.90564788	20.10730407	6.453133167	2.20889250
	Ciclo promedio	5.403337274	18.75245573	58.61391265	17.23029435	6.283888052	100
		0.054033373	0.187524557	0.586139127	0.172302943		1

Nota. En la imagen se muestra la selección del TDC de la ruta interurbana de los viajes realizados de ida, además factores de ponderación utilizados para cada uno de ellos.

5.10 Recopilación de Datos Mediante Banco Dinamométrico de Chasis

Para el estudio del rendimiento energético del EV en la ruta seleccionada se utilizará un dinamómetro de chasis AutoDyn 30 del fabricante SuperFlow. Este banco permite obtener curvas de par y la potencia del automóvil en tiempo real. (Saldaña, et al, 2018)

Figura 24.
Dinamómetro de Chasis



En la Tabla 8, se muestran las propiedades del banco dinamométrico de chasis AutoDyn 30.

Tabla 8.
Características Técnicas del Banco Dinamométrico de Chasis

Características técnicas	
Marca	SuperFlow AutoDyn 30
Velocidad Máxima	362 km/h
Exactitud de control	0.2 km/h
Potencia de rueda máxima (Prueba de inercia)	894 km/h
Carga máxima del eje	3629 kg
Distancia entre ejes AWD	234-356 cm

Nota. En la tabla de muestra las características técnicas, se indica la velocidad máxima del banco y su potencia. Obtenido de (López, et al 2022).

5.10.1 Equipos de Interfaz Utilizados

Para realizar el monitoreo del funcionamiento del vehículo en este banco se utilizó el dispositivo OBD Link Mx+, el cual nos permitió conocer la cantidad de descarga de la batería con cada prueba realizada, además de observar la velocidad en tiempo real y el porcentaje del pedal del acelerador a distintos estados de funcionamiento. También se hace uso de equipos SuperFlow del banco, los cuales nos ayudan a obtener las gráficas mediante programas de SuperFlow y WinDyn Data.

5.10.2 Proceso para la Obtención de Datos

Lo primero que se realiza en este banco dinamométrico es anclar el vehículo de forma segura del chasis o puntos de anclaje utilizando correas de seguridad como se muestra en la Figura 25, estas deben estar colocadas de forma que aseguren al automóvil con el fin de que no exista algún problema al momento de realizar las pruebas.

Figura 25.

Anclaje de Vehículo en el banco dinamométrico



Se conectan los dispositivos para la obtención de información y se inicia con las pruebas con el fin de obtener el par, la potencia, eficiencia y consumo de energía del EV a distinta carga, en la Tabla 9 se muestran las distintas pruebas realizadas a distintos requerimientos.

Tabla 9.

Pruebas realizadas en el Banco de Chasis

Pruebas realizadas en el banco		
N°	Tipo de prueba realizada	
P1	Potencia al 10% en velocidad de 20 a 90 km/h	
P2	Potencia al 15% en velocidad de 20 a 110 km/h	
Eficiencia Kia Soul EV		
N°	Mph	Apertura del pedal del acelerador
P1	10	100%
P2	84.5	25%.
P3	84.5	50%
P4	84.5	75%
P5	28	100%

P6	65.2	25%
P7	65.2	50%
P8	65.2	75%
P9	47.2	100%
P10	47.2	25%
P11	47.2	50%
P12	47.2	75%
P13	62.5	100%
P14	28	25%
P15	28	50%
P16	28	75%
P17	84.5	100%
P18	10	25%
P19	10	50%
P20	10	75%

Nota. En la tabla se muestra el tipo de pruebas realizadas en el banco dinamométrico de chasis, para potencia, eficiencia y consumo de energía del EV. Fuente (Autor).

5.11 Tratamiento de Datos Obtenidos en el Banco Dinamométrico de Chasis

5.11.1 Curva de Par de Motor de EV

La curva de par se obtiene mediante el banco dinamométrico, donde se realizaron 7 pruebas, dos a una velocidad de 20-90 km/h con un porcentaje del 10% y cinco pruebas de 20-110 km/h al 15%. En la Tabla 10 se indican las variables extraídas mediante OBD.

Tabla 10.

Datos del OBD para determinar el Par

OBD II						
Battery	Battery	Motor	Estimated	Pot.	Pot.	Pot.
Current	DC	Actual	Motor	Batería	Motor	Rueda
	Voltage	Speed	Torque			
[A]	[V]	[rpm]	[Nm]	[kW]	[kW]	[kW]

Nota. En la tabla se muestran las variables necesarias para determinar par motor, batería y rueda del EV.

En la Tabla 11 se muestran las variables obtenidas mediante equipos del banco dinamométrico, en el cual se colocó un sensor cerca de la rueda para determinar las

revoluciones. Además de esto se calcula las rpm en motor en función del neumático por la relación de transmisión que es de 8.206.

Tabla 11.

Datos del Dinamómetro para determinar el Par

Prueba 1				
W.rueda	W.motor	Potencia	Torque	Torque motor
[RPM]	[RPM]	[kW]	[Nm]	[Nm]

Nota. Estos datos son obtenidos con el fin de adquirir la curva del torque motor del EV.

5.11.2 Curva de Eficiencia de Motor Eléctrico

En la Tabla 12 se muestran las variables adquiridas mediante el banco dinamométrico y el OBD utilizadas para las curvas de eficiencia del EV, estos datos se obtuvieron en tiempo real a distintos estados de operación del automóvil.

Tabla 12.

Escenario Velocidad-Pedal

Escenario velocidad- pedal	
Velocidad [Mph]	Pedal [%]
10	100
84.5	25
84.5	50
84.5	75
28	100
65.2	25
65.2	50
65.2	75
47.2	100
47.2	25
47.2	50
47.2	75
65.2	100
28	25
28	50
28	75
84.5	100

10	25
10	50
10	75

Nota. En la tabla se muestran las prestaciones a las cuales se obtuvieron los datos del EV, como la velocidad y el porcentaje del pedal del acelerador.

En la Tabla 13 se indican las variables obtenidas en función de las pruebas realizadas con el fin de determinar la eficiencia del EV.

Tabla 13.
Datos del OBD para Eficiencia

OBD II						
Pedal	Velocidad	Potencia	Energía	RPM Motor	Torque motor	Potencia
[%]	[km/h]	Batería	Batería	[RPM]	[Nm]	Motor
		[kW]	[kWh]			[kW]

Nota. Se muestran las variables necesarias para obtener la eficiencia del motor eléctrico.

Para obtener la eficiencia del EV se seleccionaron variables del banco dinamométrico como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14.
Datos del Dinamómetro para Eficiencia

Dinamómetro					
RPM rueda	RPM Motor	Torque rueda	Torque motor	Potencia rueda	Velocidad
[Rpm]	[Rpm]	[Nm]	[Nm]	[kW]	[km/h]

Nota. Se muestran las variables necesarias para el cálculo de la eficiencia.

5.12 Ecuaciones para la Estimación del Rendimiento Energético de Batería

5.12.1 Consumo Energético Total de Batería

El consumo energético se define como un proceso o un trabajo, en función de la sumatoria de la energía de batería, su unidad de medida es el kWh.

5.12.2 Energía Acumulada de Batería

La energía positiva acumulada de batería se obtiene por medio de la Ec 26 en función de la energía de batería y la energía acumulada.

$$\sum E_{acumulada\ total} = E_{batería} + E_{acumulada} \quad (Ec. 26)$$

5.12.3 Energía de Batería Positiva

A partir de la Ec 27 se calcula la energía de batería positiva aplicando un condicionante, el cual permite separar energías positivas obtenidas a lo largo del recorrido.

$$= SI(E_{batería} > 0; E_{batería}; 0) \quad (Ec. 27)$$

5.12.4 Energía de Batería Negativa

La Ec 28 sirve para determinar la energía negativa de batería, este condicionante permite extraer los datos negativos del recorrido realizado.

$$= SI(E_{batería} < 0; E_{batería}; 0) \quad (Ec. 28)$$

5.12.5 Rendimiento

La estimación del rendimiento se obtiene a partir de la Ec 17 en función de la distancia recorrida y el consumo energético total de batería.

5.13 Modelo Matemático para Determinar el Rendimiento Energético del Kia Soul EV.

Obtenido el TDC y las curvas de par se obtiene el modelo matemático para estimar el rendimiento energético en la ruta seleccionada, para esto se utiliza el apartado de simulink de Matlab, en el cual se introduce variables del viaje realizado y los datos implicados para determinar para este cálculo. En la Figura 26 se aprecia el modelo que fue elaborado desde cero por parte del autor el cual consta de tres pasos; el primer paso es cargar datos del ciclo y pendiente, posteriormente se modela las ecuaciones implicadas en la dinámica del vehículo y el motor, para finalmente llegar a obtener el rendimiento del EV.

Figura 26.

Modelo para Determinar el Rendimiento Energético del vehículo

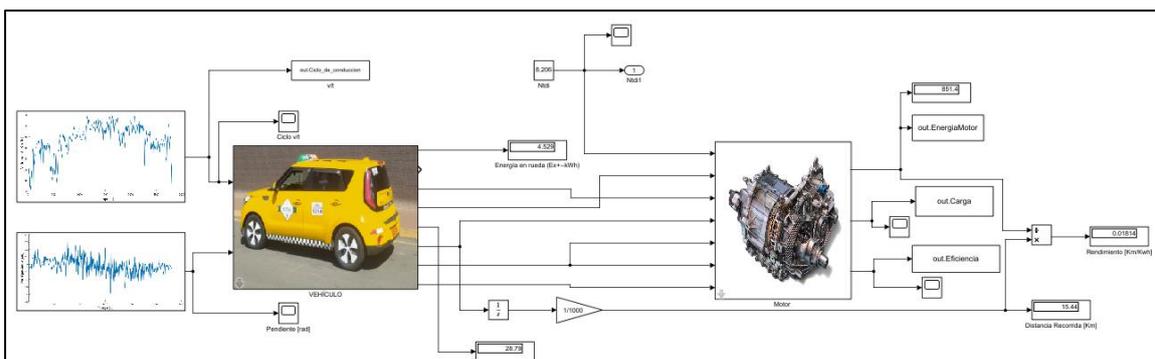
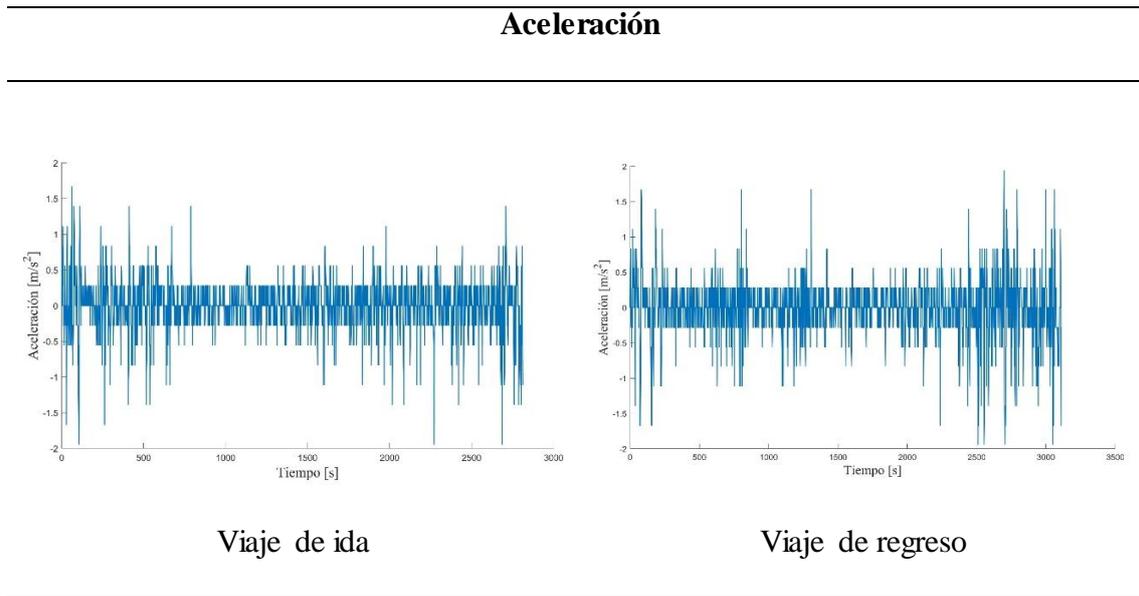


Tabla 15.
Aceleración



6.1.2 Consumo de Energía de Taxi Eléctrico en Ruta de Ida

El consumo de energía positiva consumida por el EV se obtiene en función de las ecuaciones que gobiernan la dinámica del automóvil, tiempo y energía. En la Tabla 16 se muestra el consumo de energía que requiere cada una de estas resistencias en *kWh* y en porcentaje. Además se muestra el consumo total energético positivo requerido para completar la ruta, siendo de 6.09 *kWh* con una distancia recorrida de 37.10 *Km*.

Tabla 16.
Consumo de Energía Positiva en Ruta de Ida

RESULTADOS DE CONSUMO DE ENERGÍA			
Consumo de energía por resistencia aerodinámica +	E.Fd(+)	0.31495634 [Kwh]	5.16563252 [%]
Consumo de energía por resistencia a la rodadura (+)	E.Rx(+)	1.152589067[Kwh]	18.9037357 [%]
Consumo de energía por resistencia por pendiente (+)	E.Rg(+)	3.619542947[Kwh]	59.3645082 [%]
Consumo de energía por resistencia por inercia (+)	E.Ri(+)	1.010061351[Kwh]	16.5661234 [%]
Consumo energético positivo	Ex(+)	6.097149714[Kwh]	100 [%]

6.1.3 Consumo de Energía de Taxi Eléctrico en Ruta de Vuelta

En la Tabla 17 se aprecia los resultados obtenidos del consumo de energía del trayecto de vuelta, en el cual se llegó a alcanzar 10.53 kWh, esto debido a que la pendiente en ascenso que debe superar es elevada representando el 67.69 % del total.

Tabla 17.

Consumo de Energía Positiva en Ruta de Vuelta

RESULTADOS DE CONSUMO DE ENERGÍA			
Consumo de energía por resistencia aerodinámica +	E.Fd(+)	0.457273 [Kwh]	4.340626324[%]
Consumo de energía por resistencia a la rodadura (+)	E.Rx(+)	1.6736953 [Kwh]	15.88741296 [%]
Consumo de energía por resistencia por pendiente (+)	E.Rg(+)	7.1314800 [Kwh]	67.69497567 [%]
Consumo de energía por resistencia por inercia (+)	E.Ri(+)	1.2722772 [Kwh]	12.07698504 [%]
Consumo energético positivo	Ex(+)	10.534725 [Kwh]	100 [%]

6.1.4 Ciclos Típicos de Conducción

Los TDC se definieron a partir del promedio ponderado, el cual permite determinar el típico en función del consumo de energía de cada viaje realizado. En la Tabla 18 se muestra el ciclo elegido del trayecto de ida, donde se selecciona el que menor valor tiene al realizar la sumatoria, siendo el viaje 13.

Tabla 18.

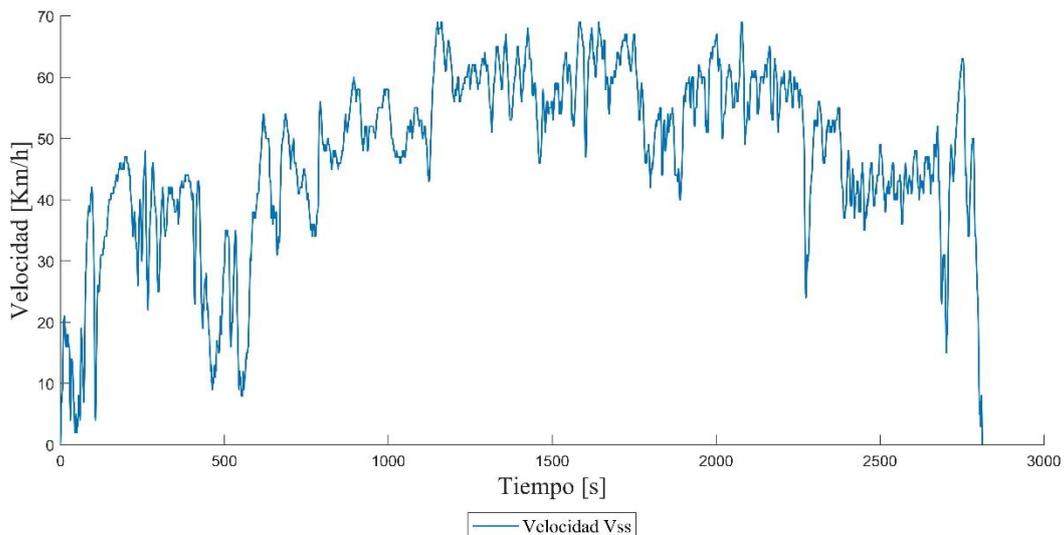
Resultado del Ciclo Tipo de Conducción Ida

RESULTADOS DE PONDERACIÓN DE ENERGÍA						
N°	%E.Fd(+)	%E.Rx(+)	%E.Rg(+)	%E.Ri(+)	Ex(+)	Sumatoria
					[kwh]	
1	5.0517477	18.49472	61.418713	15.034811	6.2905199	2.089619
2	5.9203475	17.957036	60.895926	15.226689	6.7646865	1.859901
3	5.9776161	18.353437	55.411789	20.257156	6.4599470	2.504282
4	5.2379969	18.362776	56.862017	19.537208	6.4077677	1.506350
5	5.374112	18.63157	57.373537	18.620774	6.2690858	0.990863
6	4.7383750	18.934362	60.224523	16.102738	6.1582423	1.208365
7	5.8823553	18.910028	57.484095	17.723520	6.1634643	0.802646

8	5.5032966	18.917345	59.723047	15.856310	6.1620954	0.923170
9	5.7044031	18.889302	56.429932	18.976361	6.3686278	1.622898
10	5.1389671	19.539424	60.898790	14.422818	5.9987588	1.984853
11	5.4050786	19.146829	59.555110	15.892981	6.1055647	0.856144
12	5.2037047	19.520784	59.703253	15.572257	6.0072424	1.079057
13	5.1656325	18.903735	59.364508	16.566123	6.0971497	0.595604
14	4.9534857	18.531361	57.957795	18.557356	6.5520346	0.679000
15	5.7929394	18.194108	55.905647	20.107304	6.4531331	2.208892

En la Figura 28 se observa el perfil de velocidad con respecto al tiempo para el recorrido de ida, el cual representa al TDC obtenido al aplicar promedios ponderados, llegando a alcanzar una velocidad máxima de 69 Km/h y promedio de 47.49 Km/h en una duración del recorrido de 2 813s.

Figura 28.
Ciclo Típico de Conducción de Ida



Los valores que se muestran en la Tabla 19 indica el porcentaje del consumo de energía que tiene cada una de las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo y los resultados de ponderación de energía para el recorrido de vuelta, siendo el viaje 4 el TDC debido a que la sumatoria se acerca más a cero.

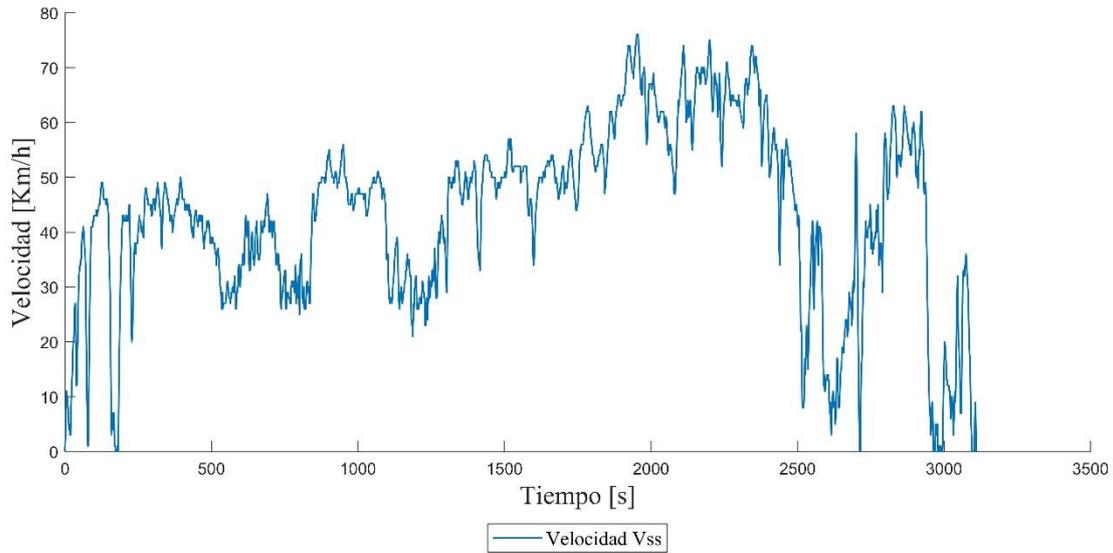
Tabla 19.*Resultado del Ciclo Tipo de Conducción Vuelta*

RESULTADOS DE PONDERACIÓN DE ENERGÍA						
N°	%E.Fd(+)	%E.Rx(+)	%E.Rg(+)	%E.Ri(+)	Ex(+)	Sumatoria
					[kw/h]	
1	4.28906219	14.952259	70.603040	10.155637	10.996900	2.297742
2	4.97584496	15.831459	66.918024	12.274670	10.457443	0.647767
3	4.58861219	15.869815	67.892186	11.649384	10.552239	0.132128
4	4.34062632	15.887412	67.694975	12.076985	10.534725	0.075776
5	4.59776814	15.445312	66.722079	13.234839	10.527233	0.938486
6	4.45224044	16.30221759	68.878252	10.367289	10.369178	1.004322
7	4.53114606	15.573101	68.379822	11.515930	10.604071	0.522898
8	4.17732182	15.726980	67.034688	13.061008	10.506107	0.672370
9	5.31456219	17.562983	62.599143	14.523311	9.7389068	4.102872
10	4.03507573	16.203475	68.603294	11.158154	10.313855	0.727612
11	4.62328693	15.924539	67.013437	12.438736	10.461851	0.573891
12	4.24815313	16.342220	69.765897	9.6437291	10.308701	1.706803
13	4.58826744	15.628908	68.145411	11.637412	10.757421	0.343423
14	4.46358216	15.686625	68.277983	11.571809	10.634762	0.430378
15	4.42619960	15.833103	67.642751	12.09794	10.405065	0.118420

Nota. En esta tabla se indican los resultados de consumo de energía de los quince viajes realizados en la ruta de vuelta, donde el valor más bajo de sumatoria es el viaje número cuatro, identificando así el TDC. (Autor)

Identificado el TDC se grafica el ciclo a lo largo del tiempo como se observa en la Figura 29, en la cual la velocidad cambia en función a los requerimientos de conductor, obteniendo una velocidad máxima de 76 Km/h y promedio de 43,23 Km/h en un tiempo de recorrido de 3 110 s.

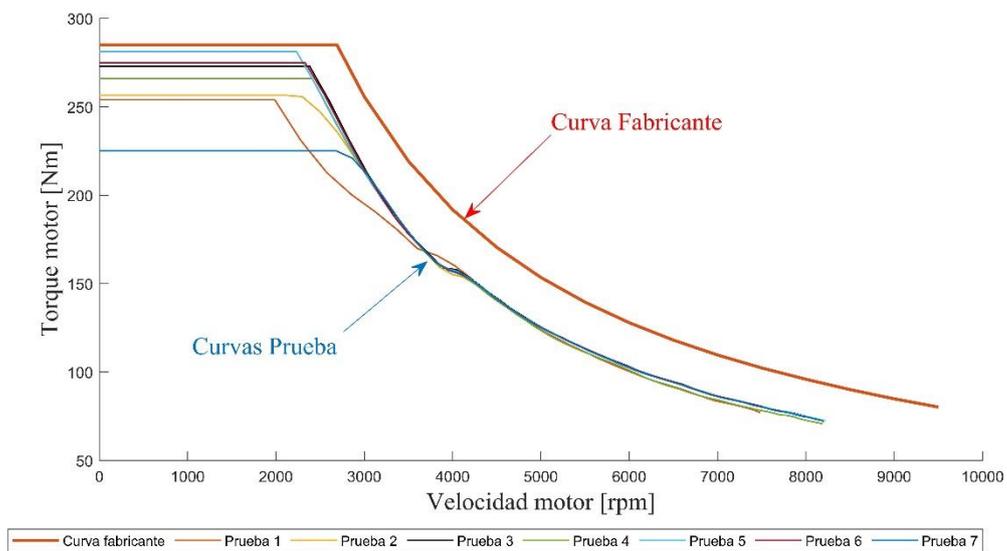
Figura 29.
Ciclo Típico de Conducción Vuelta



6.2 Par o Torque Motor

En la Figura 30 se aprecia las curvas del par motor obtenidas y enfrentas a la curva del fabricante la cual es de color rojo, estas son adquiridas en función de la velocidad y el torque motor las cuales varían dependiendo de la forma de conducción.

Figura 30.
Curvas de Torque Motor

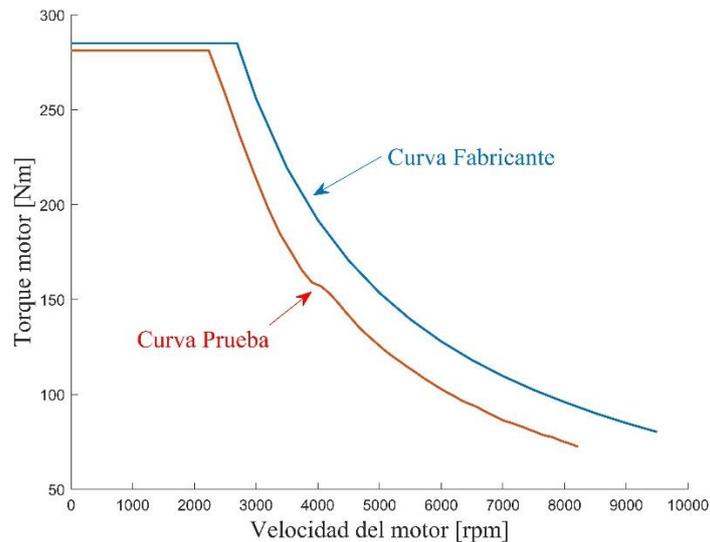


Nota. Se indica en la gráfica un enfrentamiento de la cueva de potencia del fabricante en relación a las curvas obtenidas mediante el banco dinamométrico, del Kia Soul EV.

La selección de la curva se lo realiza en función del torque y la velocidad del motor, en la Figura 31 se aprecia que la curva de color rojo, la cual corresponde a la prueba 5 que es la que más semejanza tiene con a la del fabricante, llegando a ser la elegida para el cálculo del rendimiento del EV.

Figura 31.

Enfrentamiento entre Curva Seleccionada y Curva del Fabricante



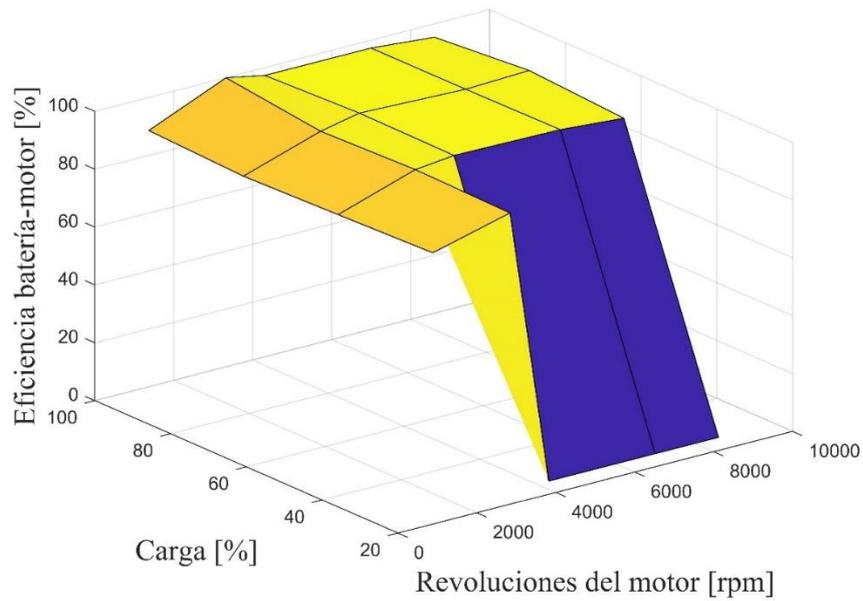
6.3 Eficiencia del Vehículo

Para determinar la eficiencia se utilizaron los datos obtenidos mediante el banco dinamométrico y el OBD II, una vez tratados se encontró el porcentaje de eficiencia de batería-rueda, batería-motor y motor-rueda.

6.3.1 Eficiencia Batería-Motor.

En la Figura 32, se muestra el plano tridimensional de la eficiencia batería-motor, donde se puede observar que es mayor a la anterior, esto debido a la reducción de elementos o piezas que presentan pérdidas de energía dentro del vehículo, a máxima carga y a 3 322.53 rpm, se alcanza una eficiencia del 99.93%.

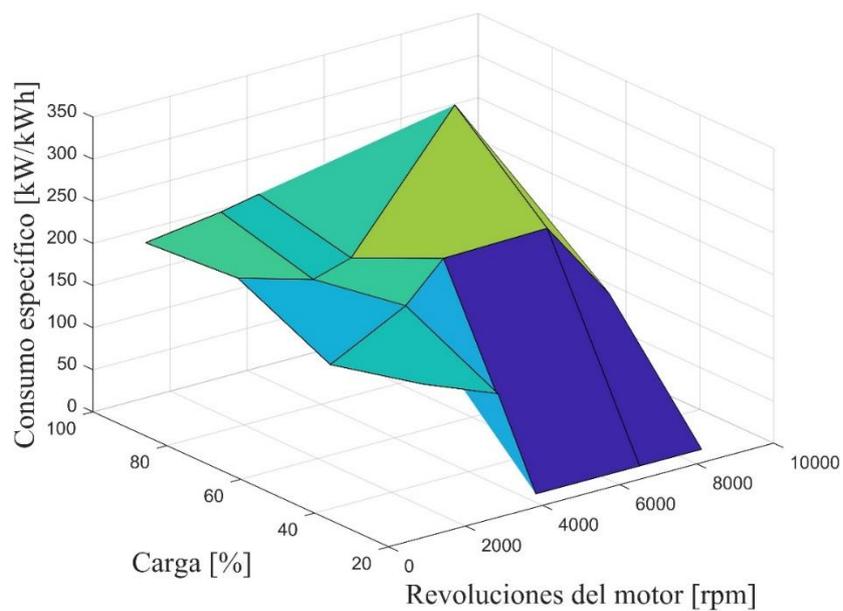
Figura 32.
Eficiencia Batería Motor



6.3.2 Consumo Específico

El consumo específico de energía representa la cantidad que consume el vehículo por cada kilómetro recorrido, para obtener la gráfica se utilizó la carga, las revoluciones del motor y el consumo específico. En la Figura 33 se muestra el consumo a distintas cargas y rpm, con un máximo de 328.48 kW/kWh, a 6 995.66 rpm y un porcentaje de carga del 75% de la apertura del pedal del acelerador.

Figura 33.
Consumo Específico en kW/kWh

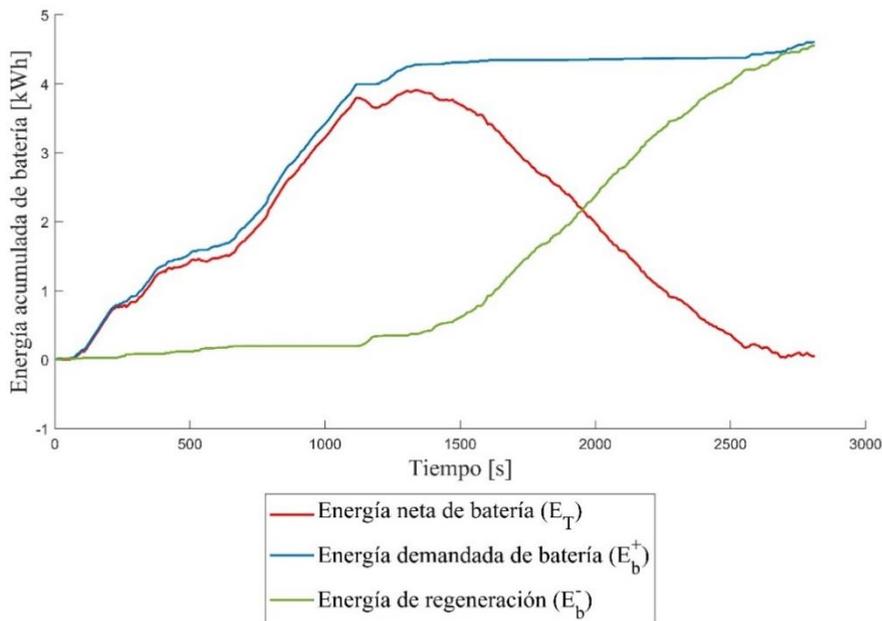


6.4 Energía Acumulada de Batería TDC Viaje de Ida

La Figura 34 se obtiene la energía acumulada de batería del viaje de ida en función la “energía neta de batería representada de color rojo”, la “energía demandada de batería en azul” y la “energía de regeneración en verde” con respecto al tiempo de recorrido realizado. En este apartado se muestra al inicio las tres energías constantes debido a que el vehículo se encuentra en ralentí. Cuando existe una demanda energética la regeneración se mantiene constante mientras que la neta sube representando un gasto de energía de batería. Posteriormente se aprecia que al existir una regeneración no existe demanda, manteniéndose constante en ese lapso de tiempo y la curva neta de batería disminuye recuperando energía a lo largo del tiempo.

Figura 34.

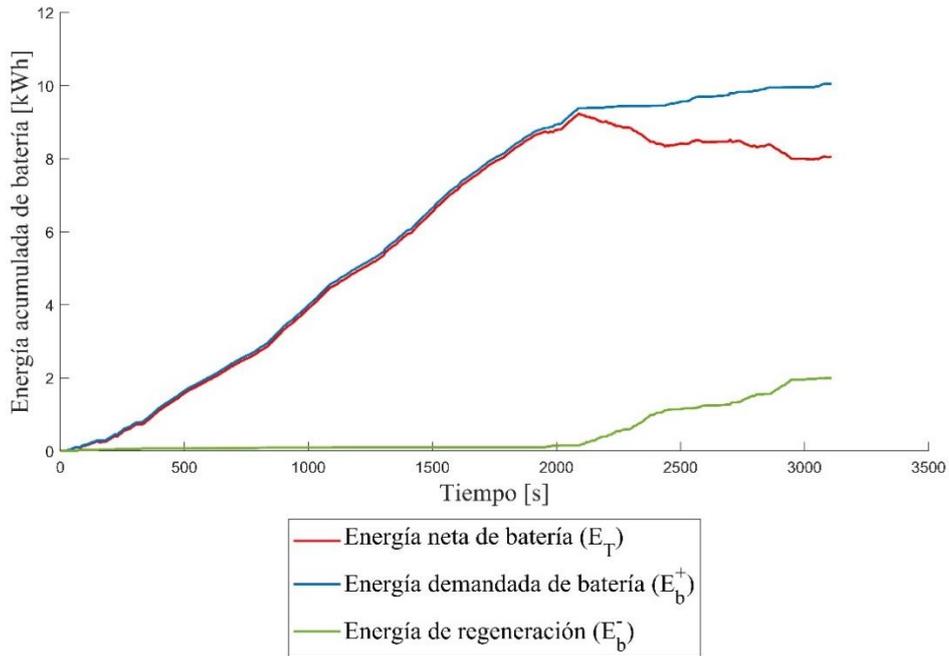
Energía Acumulada de Batería Viaje de Idas



6.5 Energía Acumulada de Batería TDC Viaje de Vuelta

Para adquirir la energía acumulada de batería del viaje de vuelta es necesario la energía neta de batería, demandada y la de regeneración. En la Figura 35 se aprecia que, al existir demanda, las curvas de energía neta y requerida suben, mientras que la de regeneración se mantiene constante a lo largo del recorrido. Al existir una regeneración se ve en cambio que la curva de demanda se mantiene constante, mientras que la curva neta decae recuperando energía a lo largo del tiempo.

Figura 35.
Energía Acumulada de Batería Viaje de Vueltas

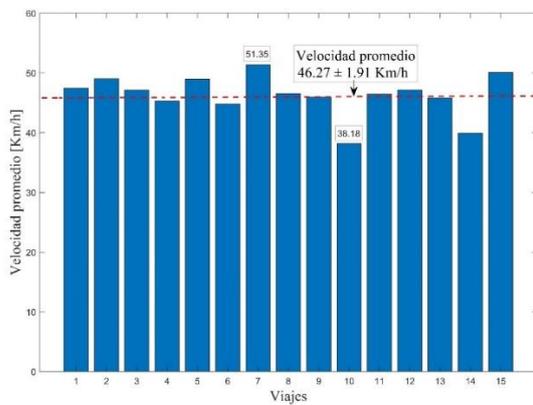


6.6 Velocidad Promedio del EV

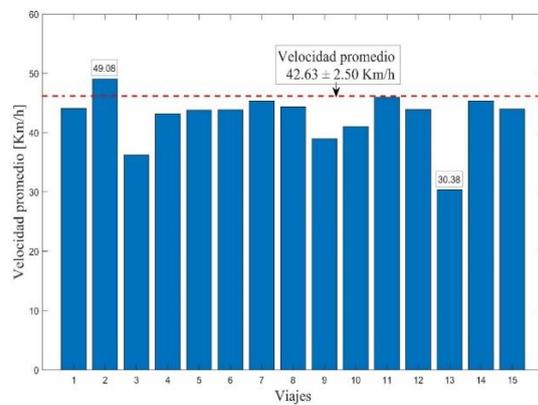
Se obtiene en función del promedio de la velocidad de cada uno de los viajes realizados, en la Tabla 20 se aprecia las gráficas de ida, la cual llega a alcanzar una velocidad promedio de 46.27 ± 1.91 Km/h y de vuelta una de 42.63 ± 2.50 Km/h.

Tabla 20.
Velocidad Promedio

Velocidad promedio del EV



Viaje de ida

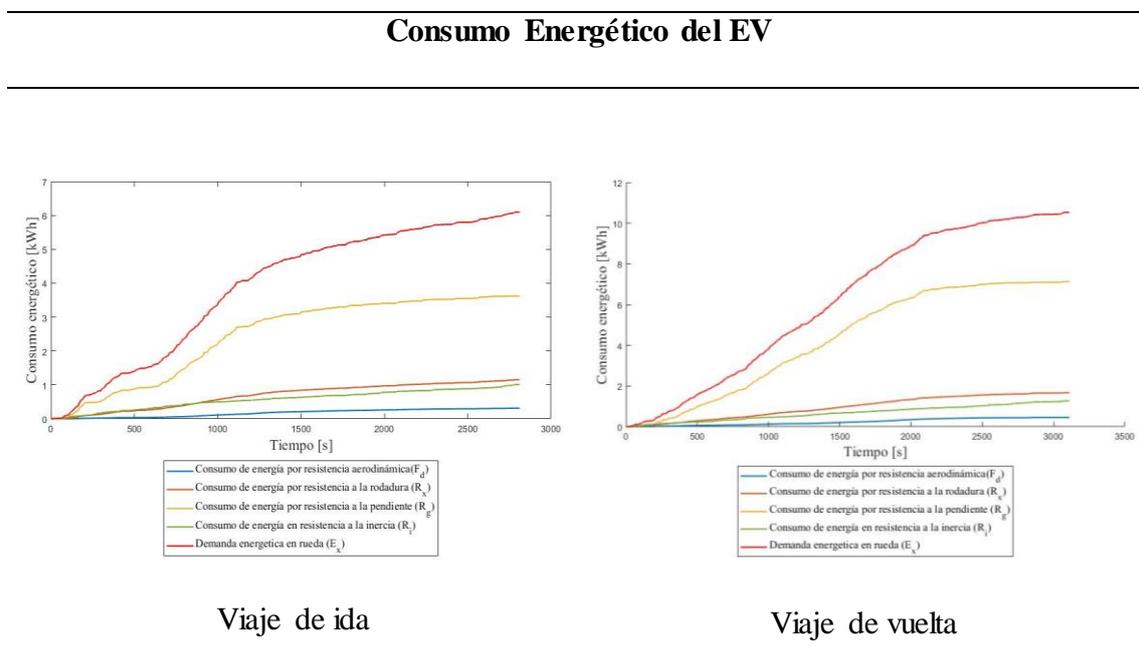


Viaje de regreso

6.7 Estimación del Consumo Energético del EV

El consumo energético es la cantidad de energía que necesita el vehículo para poder vencer todas las resistencias que se oponen al movimiento del mismo. En la Tabla 21 se muestra de color rojo la demanda energética requerida en rueda para el desplazamiento del vehículo, mientras que las de color amarillo, naranja, verde y azul el consumo requerido para vencer cada una de fuerzas de la dinámica del automóvil. De tal manera se concluye que para realizar el viaje en la ruta selecciona el mayor consumo de energía es por resistencia a la pendiente.

Tabla 21.
Estimación del Consumo Energético



6.8 Estado de Carga de Batería (SoC)

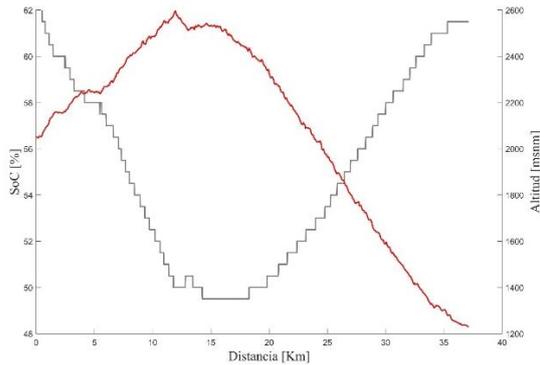
Indica la cantidad de batería que posee el vehículo en el transcurso del tiempo de recorrido realizado. En la Tabla 22 se aprecia una relación entre la elevación y la descarga de batería, donde la de color gris representa el comportamiento del SoC y de color rojo la altitud, el cual conforme desciende existe un aumento del SoC y mientras que si asciende este disminuye.

Al realizar el recorrido de ida se tiene una altitud 2 052 msnm con el SoC al 62%, posteriormente se alcanza la altitud máxima de 2 595 msnm con 49.5% y se finaliza el trayecto con una altitud de 1 229 msnm con el 61.5 %, recuperando el 98.84% de la batería consumida.

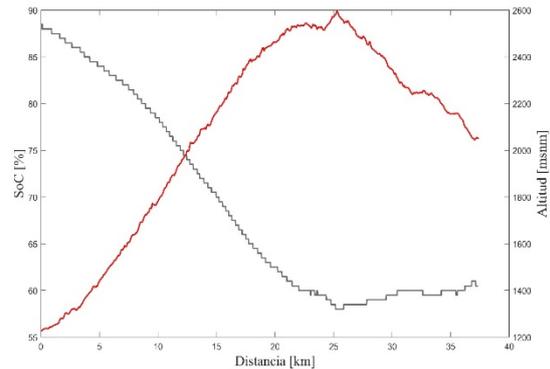
En el viaje de vuelta se inició con el SoC al 88.5 % a una altitud de 1 228.4 msnm, posteriormente se alcanza la altitud máxima con el 58% y finaliza el recorrido con el 60.5%, obteniendo un 19.89% de recuperación de energía.

Tabla 22.
Análisis del SoC y Altitud

Enfrentamiento del SoC y altitud



Viaje de ida



Viaje de vuelta

6.9 Análisis del SoC y Consumo Energético

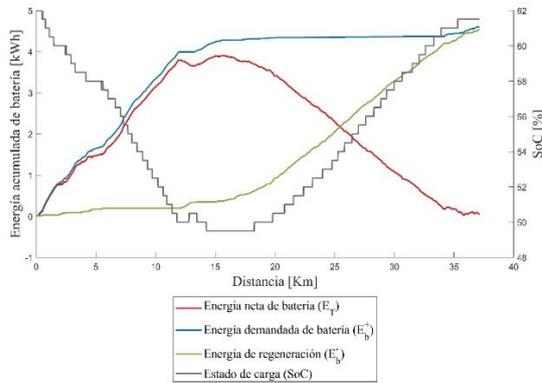
En la Tabla 23 se observa un enfrentamiento entre la energía acumulada de batería y el SoC el cual desciende al existir una demanda por parte del EV, mientras que cuando hay una regeneración la curva del SoC asciende recuperando energía debido a que la demanda es nula.

En los viajes de ida se ha obtenido un promedio diario de energía regenerada de batería de $94.82 \% \pm 1.83 \%$. La distancia recorrida es de 37.10 Km finalizando con una demandada de 4.60 kWh, una regeneración de 4.55 kWh llegando a obtener una energía neta de 0.05 kWh.

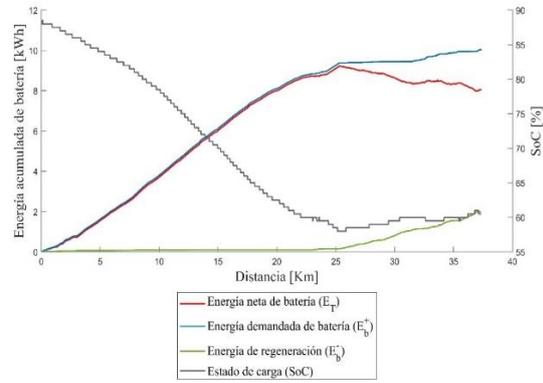
En los viajes realizados de vuelta se obtuvo un promedio diario de energía regenerada de batería de $20.27 \% \pm 0.35 \%$. En este viaje se obtiene una energía de demanda de 10.04 kWh, una regeneración de 1.99 kWh y una energía neta de 8.04 kWh, recorriendo una distancia de 37.35 Km

Tabla 23.
Análisis de SoC y Consumo Energético

Análisis del SoC y Consumo Energético



Viaje de ida



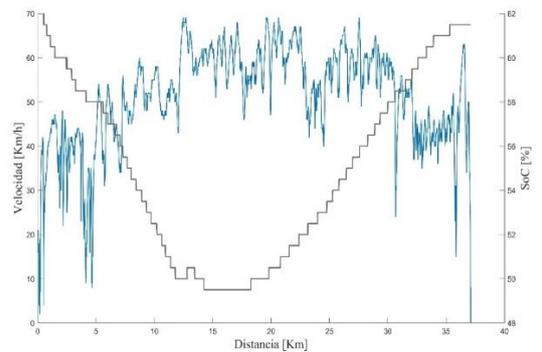
Viaje de vuelta

6.10 Análisis del SoC y Velocidad

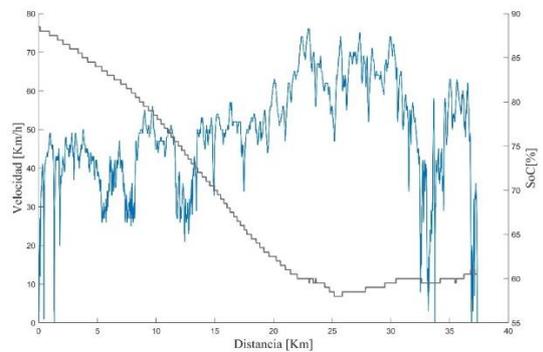
En la Tabla 24 se aprecia de color azul la velocidad y de color gris el SoC, en el cual se puede interpretar que a medida que se reduce la velocidad el SoC disminuye puede ser debido al tráfico o ascensos de pendiente y cuando la velocidad aumenta el SoC asciende, esto surge en menos condiciones de tráfico, descensos o en rectas en el cual no se acciona el pedal del acelerador.

Tabla 24.
Análisis del SoC y Velocidad

Análisis del SoC y Velocidad



Viaje de ida



Viaje de vuelta

7 Discusión

Para poder comprender el comportamiento del EV en la ruta interurbana seleccionada se utilizó el método de promedios ponderados, el cual es una sumatoria de todas las energías que intervienen en viajes tanto de ida como de vuelta, de los que se selecciona el TDC que representa el menor valor de la sumatoria de resistencias.

En el viaje de ida del TDC se obtuvo un consumo total de 6.097 kWh, siendo la resistencia a la pendiente el mayor con un porcentaje de 59.36 %, esto debido a que la ruta seleccionada posee una inclinación pronunciada desde la ciudad de Loja hasta Villonaco con una pendiente máxima de 31.6 %. La resistencia a la rodadura representa el 18.90 % considerando que el coeficiente a la rodadura es de 0.017 del EV analizado. En la resistencia por inercia se obtiene un 16.56 % de consumo, esto porque el vehículo se encuentra en constantes cambios de marcha debido al tráfico. Finalmente, la resistencia aerodinámica es la de menor incidencia en el consumo ya que solo representa el 5.16 %, esta está directamente relacionada con el diseño del vehículo, velocidad y coeficiente aerodinámico que es de 0.35.

Para el viaje de vuelta del TDC se obtuvo un consumo energético total del 10.53 kWh, donde la resistencia por pendiente fue mayor con el 67.69 % por factores como la inclinación de la calzada, la resistencia por rodadura con el 15.89 %, la resistencia por inercia con 12.076 % y la resistencia aerodinámica con menor incidencia con un 4.34 %, esto debido a que el vehículo está en ascenso en gran parte de recorrido a velocidades bajas, por tal motivo no existe una elevada resistencia por el aire.

El rendimiento energético obtenido en la ruta interurbana seleccionada es de 699.80 Km/kWh, donde en el viaje de ida del TDC se alcanza a recuperar el 98.84 % de energía donde influye la pendiente llegando a tener una máxima en descenso de 47 %. En viaje de regreso del TDC se recupera el 19.89 % de energía, debido a que el vehículo se encuentra en ascenso el mayor tiempo de recorrido llegando a tener una pendiente máxima de 51.3 %, dando como resultado un mayor consumo energético.

Según (Jaramillo W. , 2019) el consumo de energía del Kia Soul EV es de 0.127 kWh/Km, a diferencia del estudio realizado en el cual para el viaje de ida se obtuvo un consumo de 0.16 kWh/Km y en el viaje de retorno de 0.28 kWh/Km. Estos datos varían en función del tipo de ruta, velocidad, pendiente, densidad y necesidades del conductor.

8 Conclusiones

Mediante la investigación realizada se determinó que el TDC para el viaje de ida es el 13 con una sumatoria ponderada de 0.59, mientras que para el de regreso el viaje 4 con una sumatoria ponderada de 0.076.

A partir de los datos obtenidos en el viaje de ida se determinó un consumo de energía de 6.097 kWh, del cual en la resistencia por pendiente se consumió 3.63 kWh, por rodadura 1.15 kWh, por inercia de 1.01 kWh y aerodinámica de 0.31 kWh.

Además, en el típico de regreso se alcanzó un consumo de energía es de 10.53 kWh siendo el mayor por resistencia a la pendiente con 7.13 kWh debido al ascenso que debe superar desde Catamayo hasta Villonaco y el mínimo la resistencia aerodinámica con 0.46 kWh ya que no se alcanzan elevadas velocidades en conducción.

En el viaje de ida del TDC se llegó a alcanzar una pendiente máxima de 31.6 % y una mínima negativa de 47%, mientras para el trayecto de regreso se obtuvo una máxima de 51.3 % y mínima negativa de 31.1 %, por tal motivo el consumo de energía por esta resistencia es mayor en cada uno de los viajes realizados.

Realizada esta investigación se determinó que existe una regeneración del 94.82 ± 1.83 % en el viaje de ida, por lo que se podría concluir que es rentable utilizar este de vehículos para ofrecer servicio en esta ruta, mientras que para el viaje de vuelta se consiguió una regeneración de 20.27 ± 0.35 %, para este trayecto se debería colocar una electrolinera en la ciudad de Catamayo debido que en Villonaco no se podría implementar estas estaciones de carga.

El rendimiento obtenido en la ruta es de 699.80 Km/kWh, por tal motivo se concluye que el uso de un EV para la prestación de servicio desde el terminal terrestre Reina del Cisne de la ciudad de Loja, al Aeropuerto de Catamayo, y viceversa es ideal ya que el consumo energético es mínimo por la regeneración que existe.

9 Recomendaciones

Para extraer los datos de cada una de las pruebas en la ruta interurbana se debe verificar el funcionamiento del dispositivo OBD Link+, la correcta conexión con el fin de evitar tener errores al momento de tomar los datos a lo largo del recorrido y con esto evitar datos erróneos del trayecto.

Comprobar la correcta conexión de los dispositivos que se utilizan para la adquisición de datos, debido a que una mala conexión o desconexión en el recorrido afecta de manera directa, anulando la recolección de datos en la ruta si suceden estos incidentes, además de tener pérdida de tiempo.

Se debe tomar la suficiente cantidad de datos con el fin de obtener un error mínimo al aplicar promedio ponderados, mientras más cantidad de datos obtenidos o rutas realizadas este error será más bajo dándole mayor precisión al estudio.

Para el tratamiento de los datos se recomienda aplicar las ecuaciones y verificar, ya que algún error en este desarrollo puede llegar a dar resultados erróneos del TDC obtenido al final del proceso.

10 Bibliografía

AUQUILLA, B. W. (Junio de 2019).

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20472/1/CD%209957.pdf>

Autoridad Nacional de Ciencias Ambientales . (03 de Junio de 2015).

<http://portal.anla.gov.co/noticias/instrucciones-diligenciamiento-del-radio-dinamico>

Ávila, R., Prado, L. R., & González, E. L. (2007). *Dimensiones antropométricas de la población*.

BARRERA, MARIN, R., & ANTONI, J. (01 de Enero de 2017). *Vehículos eléctricos e híbridos*. Spain: Paraninfo.

https://books.google.com.ec/books?id=3LwrDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Bravo, R. F. (2016). <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6145/1/12407.pdf>

CALLEJA, D. G. (2015). *Motores térmico y sus sistemas auxiliares* . Parafino.

Castillo, J., Rojas, V., & Martínez, J. (2017). Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina Mediante el Uso de Bujía con Sensor de Presión Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático. 9.

ÇENGEL, Y. A., & BOLES, M. A. (2009). *TERMODINÁMICA*. México: The McGraw-Hill Companies.

Climate Data. (s.f.). <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-loja/loja-4233/>

- Durán, D., Castellón, Á., Jhamil, L., & Alfaro, C. (2020). ELECTRICAL POWER CALCULATION FOR AN ELECTRIC CAR PROTOTYPE USED IN SOLAR RALLYS. *Ciencia Tecnológica e Innovación*, 19(23), 26.
- Enang, W., Bannister, C., Brace, C., & Vagg, C. (2015). Modelling and heuristic control of a parallel hybrid electric vehicle. 24.
<https://doi.org/10.1177/0954407014565633>
- Fiallos, G. (2021). La Correlación de Pearson y el proceso de regresión por el Método de Mínimos Cuadrados. *Ciencia Latina*, 5(3), 19.
https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.466
- Figuroa, D. S. (2017). <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7274/1/13217.pdf>
- Geetha, Ganguly, S., Paul, D., ShubhamSahu, Mehta, S., & ShashankTiwari . (Junio de 2019). Calculation and Profiling of Energy. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 7, 4. <https://doi.org/2277-3878>
- Giakoumis, E. G. (2017). *Driving and Engine Cycles*. <https://doi.org/10.1007 / 978-3-319-49034-2>
- Gillespie, T. D. (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Society of Automotive Engineers.
- González, D. (Junio de 2019).
- Guillermo, C. (Septiembre de 2017).
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108997/tfmguillermocuestafinal.pdf>

Hawkins, I. (25 de Octubre de 2021):

https://play.google.com/store/apps/details?id=org.prowl.torque&hl=en_US&gl=US

Helmets, E., & Marx, P. (2012). Electric cars: technical characteristics and environmental impacts. *Environ Sciences Europe*, 24(14), 15.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1186/2190-4715-24-14>

Hofman, T., & Dai, C. (2010). Análisis de eficiencia energética y comparación de tecnologías de transmisión para un vehículo eléctrico. *IEEE*, 6.

<https://doi.org/10.1109/VPPC.2010.5729082>

Huertas, Díaz, Cordero, & Cedillo. (2017). A new methodology to determine typical driving cycles. *CrossMark*, 8. <https://doi.org/10.1007/s12008-017-0379-y>

INEN. (2009). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*.

<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/n-te-inen-1323-1.pdf>

James, S. (2016). *An Introduction to Data Analysis using Aggregation*. Springer.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-46762-7>

Jaramillo, J. (20 de Noviembre de 2015). *ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y PLAN DE MANEJO AMBIENTAL CON ÉNFASIS EN EL PLAN DE CONTINGENCIAS PARA EL TRANSPORTE DE MATERIALES PELIGROSOS EN LOS AUTOTANQUES DE LA EMPRESA ORO FRONTERIZO ORFRONT S.A.* <https://maelaja.files.wordpress.com/2015/11/borrador-de-eia-orfront.pdf>

Jaramillo, W. (2019). Taxis eléctricos en la ciudad de Loja - Ecuador . *Espacios*, 40(18), 14.

- Kershaw, J. F. (2007). *Automotive Electrical and Electronic Systems*. Pearson Education .
- KIA. (2021). *SOUL EV*. <https://www.kia.com/ec/showroom/soul-ev/specification.html>
- Klaus, K., Jari, V., & Kari, T. (2018). Stochastic driving cycle synthesis for analyzing. *Aalto University*, 6, 14. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2871574>
- Lajunen, A. (29 de Mayo de 2017). Improving electric vehicle energy efficiency with two-speed. *Aalto University*, 66. <https://core.ac.uk/download/pdf/84757619.pdf>
- Lenis, M. R. (24 de Abril de 2018). <https://www.mecanicoautomotriz.org/4184-manual-vehiculos-electricos-baterias-clasificacion-componentes-funcionamiento>
- Liu, K., Yamamoto, T., & Morikawa, T. (2017). Impact of road gradient on energy consumption of electric. *Elsevier*, 8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.05.005>
- López, A., Torres, F., Pla, B., Romero, B., & Bravo, D. (2022). Metodología para inferir el mapa de desempeño y el consumo de combustible de un motor de combustión interna alternativo. *Revista Digital de Ciencia, Ingeniería y Tecnología* , 18. <https://doi.org/https://doi.org/10.37135/ns.01.09.04>
- Lucía, A. P. (2015). <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2015/04/Guia-del-Vehiculo-Electrico-II-fenercom-2015.pdf>
- Luis, M. (2018). <file:///C:/Users/ONE-RED/Downloads/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>
- Luque, P., Álvarez, D., & Vera, C. (2004). *Ingeniería del automóvil. Sistemas y comportamiento dinámico*. Parafino.

- MANTARAS, A., RODRÍGUEZ, D. L., & CARLOS, P. V. (2004). *Ingeniería del automóvil. Sistemas y comportamiento dinámico: sistemas y comportamiento dinámico*. Editorial Paraninfo.
- Martinez, W., Cortes, C. A., Munoz, L. E., & Yamamoto, M. (2016). Design of a 200kW electric powertrain for a high performance electric vehicle. *36(3)*, 8.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/ing.investig.v36n3.53792>
- Monroy, C., Durán, I., & Murulanda, A. (2020). Estudio comparativo de un sistema de freno regenerativo y regeneración con energía cinética constante en vehículos eléctricos de batería. *Ingeniería* , *25(3)*, 18.
<https://doi.org/https://doi.org/10.14483/23448393.16620>
- Monroy, C., Siachoque, C., Duran, I., & Marulanda, A. (2021). Comparative Study of a Regenerative Braking System and Regeneration with Constant Kinetic Energy in Battery-based Electric Vehicles. *Ingeniería*, *25(3)*, 18.
<https://doi.org/https://doi.org/10.14483/23448393.16620>
- Montaño, F. P. (Diciembre de 2016).
<https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2164?locale=es>
- Montecelos, J. (2019). *VEHÍCULOS ELECTRICOS*. España.
- Moscoso, D. F. (2017). Análisis energético de un sistema de movilidad eléctrico. *ESPOL*, *30(3)*, 27. <https://doi.org/http://orcid.org/0000-0001-6517-4413>
- OBDLink. (03 de Noviembre de 2018). *OBDLink*.
<https://www.obdlink.com/products/obdlink-mxp/>

- Patel, N., Kumar, A., Padmanaban, S., & Holm, J. B. (2021). *Electric vehicles : modern technologies and trends*. Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-15-9251-5>
- Reinoso, L., & Ortega, J. (2020). ncreasing the autonomy of a Dayang CHOK-S electric vehicle through solar panels. *Sinergia*, 3(2), 8.
<https://doi.org/https://doi.org/10.37135/ns.01.06.03>
- Rocha, Rocha-Hoyos, J., Tipanluisa, L. E., Reina, S. W., & Ayabaca, C. R. (Abril de 2017). Evaluación del Sistema de Tracción en un Vehículo Eléctrico. 28(2), 8.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000200004>
- Saldaña, X., Astudillo, C., & Torres, F. (2018). DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN TAXIS DE CUENCA UTILIZANDO VEHÍCULOS HÍBRIDOS. *Congreso Internacional de Ingeniería* , 5.
- Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., & Marquez, J. M. (2021). A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges. *smart cities*, 4(1), 33. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/smartcities4010022>
- Seiler, J. (2017). <https://en.vda.de/en/topics/environment-and-climate/exhaust-emissions/emissions-measurement.html>
- Serpa, G., & Xavier Zumba1, F. M. (2019). Influence of the type of spark plug in the evaluation. *Enfoque UTE*, 10(2), 11.
<https://doi.org/https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n2.465>
- Soriano, E. J., & Ruiz, J. F. (2018). *Circuitos eléctricos auxiliares del vehículo*. Editex.

Tapia, P., Tigre, V., & Torres, F. (Diciembre de 2017). Determination of vehicle fuel consumption based on EPA FTP75 and EPA. *Infociencia*, 11(1), 8.
file:///C:/Users/ONE-RED/Downloads/1178-4031-1-PB%20(2).pdf

Tenesaca, C., Brian, T., Paul, T., & Reinoso. (Diciembre de 2017). Study of autonomy and the energy capacity of the battery of an electric vehicle. *REVISTA INFOCIENCIA*, 11(1), 8. file:///C:/Users/ONE-RED/Downloads/1007-3242-1-PB%20(2).pdf

Universidad Nacional de Colombia . (12 de Julio de 2019).

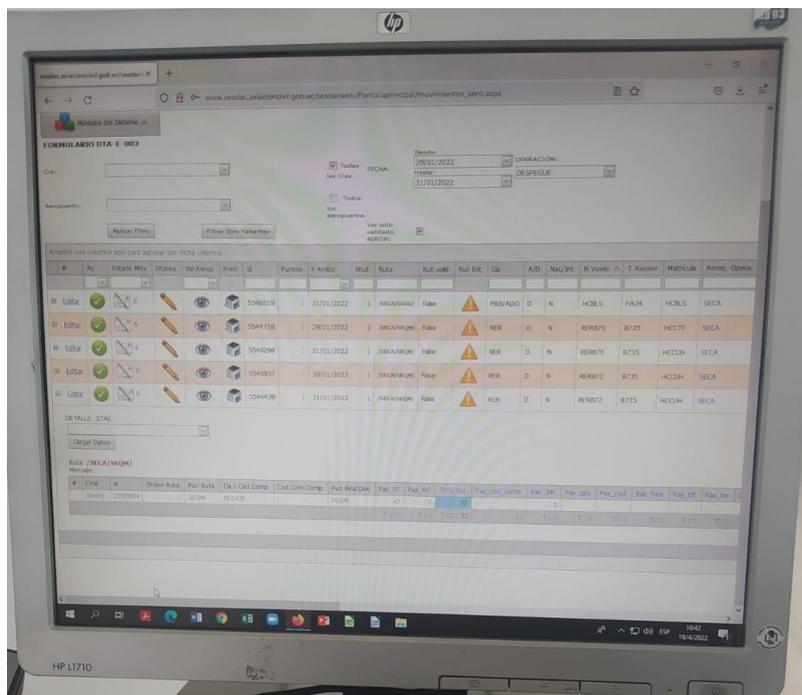
<https://minas.medellin.unal.edu.co/noticias/2682-adquisicion-de-matlab-y-simulink>

Valladolid, J. D., Patino, D., Gruosso, G., Correa, C. A., Vuelvas, J., & Espinoza, F. (2021). A Novel Energy-Efficiency Optimization Approach Based on. *Electronics*, 10(10), 21.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/electronics10101199>

Vepachedu, S. (2017). THE HISTORY OF THE ELECTRIC CAR. *National Institutes of Health*, 9.

11 Anexos

Anexo 1. Base de Datos del Aeropuerto Camilo Ponce Enríquez



The screenshot shows a web application interface for flight data. At the top, there is a search form with fields for 'Fecha' (Date) and 'Operación' (Operation). Below the form is a table with columns for flight details. The table contains several rows of data, including flight numbers, dates, routes, and statuses. Below the table, there is a section for 'DETALLE DTAE' and a 'Cargar Datos' button.

#	Ap	Estado Mov	Origen	Val Aerop	Presi	Id	Puntal	F Arbo	RUT	Ruta	Rut vsk	Rut Est	Ca	A/D	Naz/Dir	N Vuelo	A	T Aerop	Matr.UB	Aerop. Oper.
01	EDTz	✓	5					31/01/2022	1	INCA/SEOM	Falso	PREVADO	D	N	HCBLS	PA34	HCBLS	SECA		
02	EDTz	✓	5					29/01/2022	1	INCA/SEOM	Falso	REK	D	N	REB70	B735	HCBLS	SECA		
03	EDTz	✓	5					31/01/2022	1	INCA/SEOM	Falso	REK	D	N	REB70	B735	HCBLS	SECA		
04	EDTz	✓	5					30/01/2022	1	INCA/SEOM	Falso	REK	D	N	REB70	B735	HCBLS	SECA		
05	EDTz	✓	5					31/01/2022	1	INCA/SEOM	Falso	REK	D	N	REB70	B735	HCBLS	SECA		

Nota. En la ilustración se muestra la base de datos de donde se obtuvieron los números de viajes realizados en los meses de enero, febrero y marzo, así como los viajes registrados en este tiempo.

Anexo 2. Taxi Eléctrico en la Ciudad de Cuenca



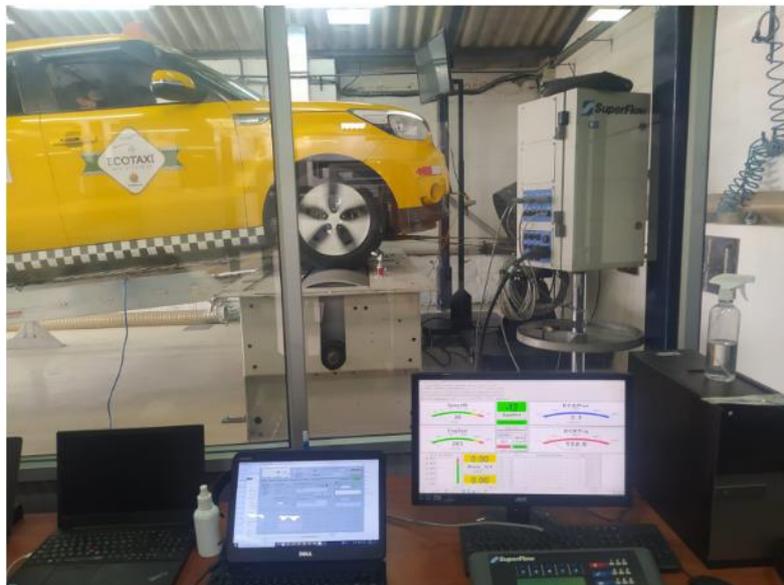
Nota. En la imagen se muestra el vehículo montado en una plataforma el cual se utilizó para llevar el automotor desde la ciudad de Loja hasta la ciudad de Cuenca con el fin de realizar pruebas mediante un banco dinámico.

Anexo 3. Anclaje del Vehículo en Banco Dinamométrico



Nota. La imagen muestra el vehículo montado en el banco dinamométrico y anclado mediante varias correas de seguridad las cuales no permiten que el automotor pierda su estabilidad al momento de realizar las pruebas para determinar el par y potencia del motor.

Anexo 4. Recolección de Datos Mediante Pruebas en Banco Dinamométrico



Nota. La imagen indica la recolección de datos mediante el banco dinamométrico y los instrumentos necesarios para la verificación de los mismos.

Anexo 5. Conexión de dispositivo OBD Link+



Nota. En la ilustración se indica la conexión del dispositivo OBD en el puerto de comunicación del EV.

Anexo 6. Emparejamiento del OBD Link+

Bluetooth y otros dispositivos

Activado

Ahora reconocible como "DESKTOP-AM7O6PO"

Mouse, teclado y lápiz

 USB OPTICAL MOUSE

Otros dispositivos

 [TV] Samsung 6 Series (50)
No conectado

 OBDLink MX+ 47813
Emparejado

Nota. Se muestra la conexión del OBD Link+ y la computadora mediante bluetooth con el fin de obtener los datos en la ruta interurbana.

Anexo 7. Factura del Dispositivo OBDLink+

amazon.com

Detalles de la orden #111-9624670-6814617
[Imprima esta página para sus registros.](#)

Pedido realizado: 30 de noviembre de 2021
Número de pedido de Amazon.com: 111-9624670-6814617
Total del pedido: \$ 377.92

Aun no ha sido enviado

artículos ordenados **Precio**

2 de: **Escáner Bluetooth OBDLink MX + OBD2 para iPhone, Android y Windows** \$ 119.95
Vendido por: ScanTool ([perfil de vendedor](#)) | Pregunta de producto? [pregunta al vendedor](#)

Condición: Nuevo

Dirección de Envío:
Jaime Geovanny Cabrera Abad
Reino de Quito y San José de Calazans
A lado del Hospital básico de Saraguro
Saraguro, Provincia Loja / Cantón Saraguro 110801
Ecuador

Velocidad de envío:
Envío acelerado de AmazonGlobal

Información del pago

Método de pago: Visa | Últimos dígitos: 5551 Subtotal del artículo (s): \$ 239.90
Envío y manipulación: \$ 24.74

Dirección de facturación Total antes de los impuestos: \$ 264,64
Jaime Geovanny Cabrera Abad Impuesto estimado a cobrar: 0,00 \$
Reino de Quito y San José de Calazans Depósito de tasas de importación 113,28 \$
A lado del Hospital básico de Saraguro -----
Saraguro, Provincia Loja / Cantón Saraguro **Gran total: \$ 377.92**
110801
Ecuador

Nota. En la ilustración se muestra la factura obtenida de la empresa de Amazon donde se adquirió el dispositivo OBD Link+ para realizar el estudio en la ruta seleccionada.

Anexo 8. Parámetros Resumen del ciclo Ideal de Conducción Viaje de Ida

PARÁMETROS RESUMEN		
DATOS DEL CICLO Y VEHÍCULO		
Duración	2812	[s]
Distancia	37.10	[Km]
V. prom	47.49	[Km/h]
V. max	69.00	[Km/h]
Detenido	0.0710985	[%]
V. const	40.632776	[%]
Aceleración	31.994312	[%]
Desaceleración	27.301813	[%]

Nota. En la tabla se muestran los resultados obtenidos del viaje de ida al Aeropuerto de Catamayo, donde se observa variables como distancia, velocidades, aceleraciones y duración de recorrido realizado.

Anexo 9. Parámetros Resumen del ciclo Ideal de Conducción Viaje de Vuelta

PARÁMETROS RESUMEN		
DATOS DEL CICLO Y VEHÍCULO		
Duración	3110	[s]

Distancia	37.36	[Km]
V. prom	43.23	[Km/h]
V. max	76.00	[Km/h]
Detenido	1.2214722	[%]
V. const	41.6586307	[%]
Aceleración	30.5368049	[%]
Desaceleración	26.5830923	[%]

Nota. En la tabla se muestran los resultados obtenidos del viaje de vuelta del Aeropuerto de Catamayo a Loja, donde se observa variables como distancia, velocidades, aceleraciones y duración de recorrido realizado, obtenidos al realizar la ruta y los cálculos.

Anexo 10.

Datos de la Curva de Eficiencia del Motor

Escenario (Velocidad-Pedal)	Dinamómetro										Curva de eficiencia Motor eléctrico										Eficiencia a batería rueda [%]	Eficiencia a motor rueda [%]	Consumo específico [kWh/kWh]	Consumo específico [kWh/kWh]
	RPM rueda	RPM Motor	torque rueda	torque motor	potencia rueda	potencia motor	Velocidad	Pedal [%]	Velocidad [km/h]	Pot. Batería [kW]	Energía. Bat [kWh]	RPM Motor [RPM]	Torque motor [Nm]	Pot. Motor [kW]										
10_100	213.0588	1748.361	2019.5765	246.10973	45.0647093	22.82353	100	25	58.7966175	0.244854461	1748.75	284.36875	52.076614	76.8451	88.5708	86.5354	184.046906	0.0054334						
84_5_25	616.7619	5061.148	6.452381	1.0300245	0.53809524	69.80952	25	73.4	6.660589	0.035267647	5065.9	11.75	6.2332471	8.05461	93.3039	8.63266	15.2574748	0.0655416						
84_5_50	1193.727	9836.756	156.54091	19.076396	19.6590903	136.1816	50	142.9412	32.83954941	0.145945834	9763.91638	30.84117647	31.53433	59.8641	96.0255	62.3419	134.701226	0.0074238						
84_5_75	1193.8	9845.559	300.26	36.5903	37.84	136	75.5	143	56.5215725	0.172772653	9772.64787	54.23333333	55.501813	66.9479	96.1958	68.1780	219.016143	0.00456559						
28_100	414.4211	3400.739	1631.5368	196.82243	70.8105263	45.26316	100	49	81.10855471	0.360366419	3392.17647	228.1823529	81.055904	87.3034	99.3351	87.3601	196.495907	0.00508892						
65_2_25	616.0417	5055.238	3.875	0.4722155	0.241666667	70	25	73.22727	6.347098182	0.0369584	5066.19636	11.20454545	5.9420402	3.80751	93.6182	4.06707	6.53888336	0.1529313						
65_2_50	927.6563	7612.947	255.52188	31.19842	24.8376	105.0938	50.5	110	35.00185	0.106991942	7599.75	42.975	34.20195	70.9605	97.7125	72.6217	232.143651	0.00430777						
65_2_75	931.35	7642.658	484.12	59.959557	47.205	105.15	75	110.9	57.518074	0.143705156	7629	70.1	56.001619	82.0659	97.3635	84.2322	328.489583	0.00304443						
47_2_100	688.7333	5635.334	990.04667	120.64912	71.9333333	76.533333	100	81.625	83.15042125	0.348440603	5844.975	136.8675	80.901674	85.8199	97.2958	87.9398	205.499392	0.0048662						
47_2_25	594.5333	4796.681	26.14	3.4231991	1.71333333	68.533333	24.5	69.2	6.9	0.0285	4788.4	12.7	6.4	24.9362	92.4895	26.9179	60.0598963	0.0165500						
47_2_50	673.8125	5523.905	378.83438	46.165534	28.73125	76.0625	50	80	34.92319769	0.116441422	5523.32308	53.32307692	34.316194	76.5430	98.2619	77.8983	229.56822	0.00435660						
47_2_75	679.5	5575.977	647.32308	78.894119	46.0423077	76.98462	75	80.35294	57.59225882	0.255888628	5557.94118	97.55294118	56.778152	79.9453	98.5864	81.0916	179.9310	0.0055577						
65_2_100	936.0667	7681.963	715.22	87.158177	70.1066667	105.2	100	111.418	82.21243765	0.365478683	7688.76471	100.1941176	80.670889	85.2750	98.1249	86.9045	191.821433	0.0052132						
28_25	399.2273	3276.059	122.55909	14.335302	5.13161816	45.13636	25	47	3.4048	0.0392	3268.5625	26.4188	3.0425	54.5661	96.1481	56.7521	130.32926	0.0076377						
28_50	402.6333	3304.009	649.12667	79.103908	27.38	45.133333	50	47.35294	33.24681888	0.147736236	3294.41176	93.30588235	32.189533	82.3538	96.8199	85.0587	185.330294	0.0053958						
28_75	406.8333	3338.474	1144.4083	139.45985	48.7625	45.083333	75	48	58.605	0.2329	3335.000	160.679	56.117	83.2051	95.7544	86.8943	166.4710	0.0060071						
84_5_100	1204.211	9881.752	445.95789	54.345344	56.2210526	136.9684	100	143.25	71.655005	0.300552472	9808.54749	66.54375	68.350326	78.4607	95.3881	82.2543	187.0590	0.0053459						
10_25	143.05	1173.868	479.83	58.4730668	7.2	16.1	25	16.70588	9.762514118	0.043255061	1172.58824	70.34705882	8.7115243	73.7515	89.2344	82.6491	166.45451	0.0060078						
10_50	145.3235	1192.525	1019.8088	124.276	15.5264706	16.08824	50	17	20.0234	0.1113	1186	142.0381	17.6444	77.5417	88.1190	87.9967	139.457939	0.0071708						
10_75	162.5789	1334.123	1518.6684	185.06805	25.8526316	17.84211	75	19	34.57222733	0.134625169	1354.33333	212.3466667	30.115291	74.7788	87.1083	85.8455	192.034162	0.0052074						

Anexo 11. Toma de Datos Mediante Banco Dinamométrico



Nota. Se muestra en la figura el vehículo en funcionamiento y un sensor el cual toma datos de la rueda para obtener curvas de Par y Potencia del Ev.

Anexo 12. Certificación de Haber Otorgado Información del Aeropuerto Camilo Ponce Enríquez



Catamayo, 22 de agosto de 2022

Oficio: DGAC-SECA-2022-001-E.

Estimado Ing.
Jairo Darío Castillo Calderón
**RESPONSABLE DE LA GESTIÓN ACADÉMICA
INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ - UNL**

En referencia a Oficio Nro. 120-2022 CIA-CIMA FEIRNNR-UNL, de fecha 28 de marzo de 2022, relacionado con el proyecto de tesis cuyo tema versa: **"ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA VÍA INTERURBANA LOJA - AEROPUERTO CAMILO PONCE ENRÍQUEZ DE CATAMAYO"**, previa la obtención de su título profesional.

Certifico que se proporcionó la siguiente información al Sr. Jaime Geovanny Cabrera Abad, con cédula de identidad número 1150166120, estudiante de la carrera Ingeniería en Mecánica Automotriz, de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables, Universidad Nacional de Loja:

- Número de pasajeros diarios que utilizan las aerolíneas de vuelos de los meses febrero y marzo de 2022.
- Número y nombre de aerolíneas del aeropuerto "Ciudad de Catamayo".
- Número de viajes diarios que realizan las aerolíneas en días laborables y fines de semana de ser el caso.
- La carga registrada de los pasajeros en las respectivas aerolíneas de vuelo correspondientes al mes de marzo de 2022.

Particular que informo para los fines pertinentes.

Con sentimientos de consideración y estima.



Juan Oswaldo Correa Guamán
**ADMINISTRADOR AEROPORTUARIO 2, Encargado
DIRECCION GENERAL DE AVIACION CIVIL - AEROPUERTO "CIUDAD DE
CATAMAYO".**

Dirección General de Aviación Civil
Buenos Aires Oe1-53 y Av. 10 de Agosto
Código Postal: 170402 / Quito - Ecuador
Teléfono: 593-2 294-7400
www.aviacioncivil.gob.ec



Anexo 13. Certificación de traducción



Lic. Mónica Guarnizo Torres,
SECRETARIA DE "BRENTWOOD LANGUAGE CENTER"

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del trabajo de titulación denominado "ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA VÍA INTERURBANA LOJA-AEROPUERTO CAMILO PONCE ENRÍQUEZ DE CATAMAYO", del estudiante JAIME GEOVANNY CABRERA ABAD, con cédula de identidad No. 1150166130, egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifica en honor a la verdad y autoriza al interesado hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Loja, 23 de septiembre de 2022

Lic. Mónica Guarnizo Torres
SECRETARIA DE B.L.C.

