



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

PLANIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA MÍNIMA DE
CARGA RÁPIDA EN VÍAS INTERURBANAS CIAUTO -
TABABELA

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

CHRISTOPHER LUIS ABRIL PÉREZ

MARCELO ISRAEL YANZAPANTA ALTAMIRANO

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

PLANIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA MÍNIMA DE
CARGA RÁPIDA EN VÍAS INTERURBANAS CIAUTO -
TABABELA

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: CHRISTOPHER LUIS ABRIL PÉREZ

MARCELO ISRAEL YANZAPANTA ALTAMIRANO

DIRECTOR: Ing. LUIS FERNANDO BUENAÑO MOYANO MSc.

Riobamba – Ecuador

2023

©2023, Christopher Luis Abril Pérez; Marcelo Israel Yanzapanta Altamirano

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Christopher Luis Abril Pérez y Marcelo Israel Yanzapanta Altamirano, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 30 de mayo del 2023



Christopher Luis Abril Pérez
180439749-3



Marcelo Israel Yanzapanta Altamirano
185001391-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **PLANIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA MÍNIMA DE CARGA RÁPIDA EN VÍAS INTERURBANAS CIAUTO – TABABELA**, realizado por los señores: **CHRISTOPHER LUIS ABRIL PÉREZ** y **MARCELO ISRAEL YANZAPANTA ALTAMIRANO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en la virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Javier Milton Solis Santamaria PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-05-30
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano MSc DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-05-30
Ing. Celin Abad Padilla Padilla ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-05-30

DEDICATORIA

Para mi familia que en mis victorias y derrotas nunca me han dejado solo.

Christopher

A Dios, por la vida y la fortaleza que me brindó en los momentos de dificultad. A mis padres, quienes me apoyaron de forma incondicional durante el proceso de formación académica, por enseñarme asumir los retos con valentía y responsabilidad. A mis hermanas, quienes constituyen el centro de mi vida, por ser los ángeles que en medio de las dificultades me demostraron que a pesar de las circunstancias siempre estaremos unidos por el corazón. A mi querida Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarme la oportunidad de formarme en medio de prestigiosos docentes.

Marcelo

AGRADECIMIENTO

A mi padre por formar la persona que soy hoy, a mi madre por siempre buscar lo mejor para mí y a mis hermanos, pilar fundamental en mi vida.

Christopher

Quiero empezar agradeciendo al amigo incondicional, a mi Padre Celestial por acompañarme y levantarme en cada tropiezo, por enseñarme que la Fe no hace que las cosas sean más fáciles, pero hace que sean posibles. Agradezco a mis padres por brindarme una familia y enseñarme a valorar todo cuanto tengo a mi alrededor, a mis hermanas por demostrarme la valentía con la que debemos afrontar la vida, y a todos quienes siempre confiaron en mí. A los Docentes de la Carrera de Ingeniería Automotriz, por convertirse en más que solo un formador profesional, por ser el amigo que reprende y aconseja.

Marcelo

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Limitaciones y Delimitaciones.....	3
1.2.1. <i>Limitaciones</i>	3
1.2.2. <i>Delimitaciones</i>	3
1.3. Problema general de investigación.....	3
1.4. Problemas específicos de investigación.....	3
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
1.6. Justificación.....	4
1.6.1. <i>Justificación teórica</i>	4
1.6.2. <i>Justificación metodológica</i>	5
1.6.3. <i>Justificación practica</i>	5
1.7. Hipótesis.....	6
1.7.1. <i>Hipótesis del proyecto</i>	6
1.7.2. <i>Hipótesis nula</i>	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de investigación.....	7
2.2. Referencias teóricas.....	11
2.2.1. <i>Vehículo eléctrico</i>	11
2.2.2. <i>Estación de carga de vehículos eléctricos</i>	12

2.2.3.	<i>Niveles de carga para vehículos eléctricos</i>	13
2.2.4.	<i>Modos de comunicación entre la estación de carga y el vehículo eléctrico</i>	14
2.2.6.	<i>Fuentes de energía para vehículos eléctricos</i>	16
2.2.7.	<i>Baterías para vehículos eléctricos</i>	16
2.2.8.	<i>Modelado de una batería</i>	17
2.2.9.	<i>SOC en baterías de vehículos eléctricos</i>	18
2.2.10.	<i>Tipos de baterías en vehículos eléctricos</i>	19
2.2.11.	<i>Ultracondensadores para vehículos eléctricos</i>	20
2.2.12.	<i>Metodología para obtener ciclos de conducción</i>	21
2.2.13.	<i>Metodologías para la ubicación de estaciones de carga</i>	23

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	24
3.1.	Enfoque de la investigación	24
3.2.	Nivel de investigación	24
3.3.	Diseño de investigación	25
3.3.1.	<i>Según la manipulación de la variable independiente</i>	25
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	25
3.4.	Tipo de estudio (documental y de campo)	26
3.5.	Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de muestra	26
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	26
3.6.1.	<i>Vehículo eléctrico DFSK SERES 3</i>	27
3.6.2.	<i>Vehículo eléctrico Kia Soul</i>	28
3.6.3.	<i>Parque automotor en la provincia de Pichincha y Tungurahua</i>	29
3.6.4.	<i>Ruta de estudio</i>	31
3.6.5.	Instrumentación y recolección de datos de conducción	31
3.6.5.2.	<i>Datos para recolectar</i>	34
3.6.5.3.	<i>Cronograma de recolección de datos</i>	35
3.6.6.	Métodos para la obtención de parámetros de conducción	36
3.6.6.1.	<i>Cálculo de ganancia de altitud positiva acumulada</i>	37
3.6.6.2.	<i>Dinámica del vehículo</i>	40
3.6.6.3.	<i>Cálculo de potencias y energías</i>	45
3.6.6.4.	<i>Método ponderado</i>	47
3.6.7.	Modelo de simulación para el dimensionamiento de estaciones de carga	48
3.6.7.1.	<i>Modelación dinámica del vehículo</i>	48
3.6.7.2.	<i>Modelación de la potencia de operación del vehículo eléctrico</i>	49

3.6.7.3.	<i>Simulación del estado de carga de la batería (SOC) y consumo vehículo eléctrico ...</i>	51
3.6.8.	<i>Estimación de los puntos de carga</i>	56

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	58
4.1.	Validación del modelo construido en Simulink.....	58
4.1.1.	<i>UDDS</i>	58
4.1.2.	<i>HWFET.....</i>	59
4.1.3.	<i>US06</i>	59
4.1.4.	<i>NEDC</i>	59
4.1.5.	<i>WLTC</i>	60
4.2.	Selección del viaje representativo con el método ponderado.....	61
4.2.1.	<i>Viaje de ida.....</i>	61
4.2.2.	<i>Viaje de regreso.....</i>	65
4.2.3.	<i>Simulación del ciclo representativo ida y regreso</i>	68
4.3.	Alternativas del dimensionamiento de estaciones de carga	70
4.3.1.	Resultados de autonomía en los viajes representativos de ida y regreso	71
4.3.1.1.	<i>Viaje de ida Kia Soul</i>	71
4.3.1.2.	<i>Viaje de regreso Kia Soul.....</i>	72
4.3.1.3.	<i>Viaje de ida SERES 3.....</i>	73
4.3.1.4.	<i>Viaje de regreso SERES 3.....</i>	74
4.3.2.	Dimensionamiento mínimo de estaciones de carga viaje de ida	75
4.3.3.	Dimensionamiento mínimo de estaciones de carga viaje de regreso	76
4.4.	Comprobación de la hipótesis.....	78

CAPÍTULO V

5.	MARCO PROPOSITIVO.....	79
5.1.	Propuesta.....	79
5.2.	Costo referencial de la implementación de una estación de carga rápida.....	79

CONCLUSIONES.....	81
--------------------------	----

RECOMENDACIONES.....	83
-----------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Clasificación del parque automotor en las principales islas de Galápagos	11
Tabla 2-2:	Características del modo de comunicación entre la estación de carga y el vehículo eléctrico	14
Tabla 2-3:	Conectores utilizados para la carga de vehículos eléctricos de acuerdo con el tipo de corriente	15
Tabla 2-4:	Características de la batería que influyen en el diseño y rendimiento de un vehículo eléctrico	17
Tabla 2-5:	Tipos, características y desventajas de baterías para vehículos eléctricos disponibles en el mercado	19
Tabla 2-6:	Ciclos de conducción utilizados para la validación del modelo propuesto	22
Tabla 2-7:	Tipos de metodologías de acuerdo a los datos consideradas para el estudio.....	23
Tabla 3-1:	Intervención en la investigación a través de sus variables independientes y dependientes	25
Tabla 3-2:	Especificaciones técnicas y parámetros dinámicos del vehículo eléctrico DFSK SERES 3	27
Tabla 3-3:	Especificaciones técnicas y parámetros dinámicos vehículo eléctrico Kia Soul	29
Tabla 3-4:	Especificaciones de los equipos de medición utilizados para la recolección de datos de conducción	34
Tabla 3-5:	Estructura del cronograma para el registro de datos en ruta del viaje de ida	35
Tabla 3-6:	Estructura del cronograma para el registro de datos en ruta viaje de regreso ...	36
Tabla 4-1:	Comparación y validación del modelo matemático aplicado en la estimación de estaciones de carga	61
Tabla 4-2:	Selección del viaje representativo de ida entre los viajes realizados.....	62
Tabla 4-3:	Parámetros de conducción obtenidos en el viaje representativo de ida.....	62
Tabla 4-4:	Energías resultantes del viaje representativo de regreso entre viajes realizados	65
Tabla 4-5:	Parámetros de conducción obtenidos en el viaje representativo de regreso	66
Tabla 4-6:	Parámetros de la simulación del ciclo representativo ida y regreso Seres 3	69
Tabla 4-7:	Parámetros utilizados en la simulación de los ciclos representativos ida y vuelta Kia Soul.....	70
Tabla 4-8:	Resultados de la autonomía vehicular mediante simulación del Kia Soul viaje de ida.....	71
Tabla 4-9:	Resultados de la autonomía vehicular mediante simulación Kia Soul viaje de regreso	72
Tabla 4-10:	Resultados de autonomía vehicular mediante simulación SERES 3 viaje de ida	73

Tabla 4-11:	Resultados de la autonomía vehicular mediante simulación SERES 3 viaje de regreso	74
Tabla 4-12:	Coordenadas geográficas de las estaciones de carga viaje de ida	75
Tabla 4-13:	Coordenadas geográficas de las estaciones de carga viaje de regreso.....	76
Tabla 4-14:	Ubicación de las estaciones de carga para el viaje de ida	78
Tabla 4-15:	Ubicación de las estaciones de carga para el viaje de regreso.....	78

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Ubicación potencial de cargadores para el transporte urbano	8
Ilustración 2-2:	Ubicaciones de los puntos de carga rápidos (izquierda) y estándar (derecha) monitoreados	9
Ilustración 2-3:	Categorías de autonomía para vehículos eléctricos con carga rápida	10
Ilustración 2-4:	Configuración de un vehículo eléctrico.....	12
Ilustración 2-5:	Circuito de carga para vehículos eléctricos.....	12
Ilustración 2-6:	Modos de carga de vehículos eléctricos a diferentes niveles	13
Ilustración 2-7:	Diagnóstico del estado de la batería. a) Un contador de culombio. b) Modelo controlado por corriente con filtros u observadores. c) Algoritmo basado en un modelo controlado por voltaje.....	19
Ilustración 2-8:	Célula UC.....	21
Ilustración 2-9:	Configuración de batería y UC.....	21
Ilustración 3-1:	Alcances de un enfoque cuantitativo.....	24
Ilustración 3-2:	Esquema metodológico para la planificación de la infraestructura mínima de carga rápida para vehículos eléctricos	27
Ilustración 3-3:	Venta de vehículos eléctricos por unidades en las principales provincias del Ecuador.....	30
Ilustración 3-4:	Cantidad de vehículos eléctricos por unidades.....	30
Ilustración 3-5:	Ruta CIAUTO–Tababela.....	31
Ilustración 3-6:	Celular utilizado para la toma de datos	32
Ilustración 3-7:	Interfaz Aplicación Torque Pro.....	33
Ilustración 3-8:	Dispositivo VBOX	33
Ilustración 3-9:	Interfaz del registro de datos	34
Ilustración 3-10:	Fuerzas a las que está sometido un vehículo en ruta.....	41
Ilustración 3-11:	Obtención del área frontal del vehículo mediante software	43
Ilustración 3-12:	Valor del área frontal del vehículo	43
Ilustración 3-13:	Velocidad vs coeficiente de resistencia a la rodadura	44
Ilustración 3-14:	Modelo de simulación para el dimensionamiento de estaciones de carga ...	52
Ilustración 3-15:	Entradas dinámicas para la simulación del vehículo.....	52
Ilustración 3-16:	Simulación ciclos de conducción	53
Ilustración 3-17:	Simulación de la rueda	53
Ilustración 3-18:	Simulación de la transmisión	54
Ilustración 3-19:	Simulación del inversor.....	54
Ilustración 3-20:	Simulación de la batería	55

Ilustración 3-21:	Análisis de rendimiento.....	55
Ilustración 3-22:	Distancia mínima entre estaciones de carga rápida.....	56
Ilustración 4-1:	Análisis de rendimiento UDDS.....	58
Ilustración 4-2:	Análisis de rendimiento HWFET.....	59
Ilustración 4-3:	Análisis de rendimiento US06.....	59
Ilustración 4-4:	Análisis de rendimiento NEDC.....	60
Ilustración 4-5:	Análisis de rendimiento WLTC.....	60
Ilustración 4-6:	Perfil de altitud del ciclo representativo de ida.....	63
Ilustración 4-7:	Perfil de velocidad representativo del viaje de ida.....	64
Ilustración 4-8:	Comparativa entre la altitud y la velocidad del viaje de ida.....	64
Ilustración 4-9:	Perfil de altitud del ciclo representativo de regreso.....	67
Ilustración 4-10:	Perfil de velocidad representativo del viaje de regreso.....	67
Ilustración 4-11:	Comparativa entre la altitud y la velocidad del viaje de regreso.....	68
Ilustración 4-12:	Ubicación de las estaciones de carga viaje de ida.....	75
Ilustración 4-13:	Comparación del SOC vs Distancia con respecto al tiempo.....	76
Ilustración 4-14:	Ubicación de la estación de carga viaje de regreso.....	77
Ilustración 4-15:	Comparación del SOC vs Distancia con respecto al tiempo.....	77

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE LA RUTA DE ESTUDIO

ANEXO B: UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CARGA RÁPIDA

RESUMEN

El parque automotor ecuatoriano se encuentra en evolución, el incremento de la cantidad de vehículos en circulación da como necesidad el conectar las ciudades del país con estaciones de carga rápida para el uso adecuado de estos vehículos. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue planificar la infraestructura mínima de carga rápida en la ruta CIAUTO - Tababela mediante la recolección de datos de conducción para establecer los puntos clave de carga de los vehículos eléctricos que sigan ese trayecto. La metodología implementada tuvo un enfoque cualitativo y cuantitativo, se presentó el desarrollo de las pruebas de ruta realizadas y su posterior tratamiento. Datos como: latitud, longitud y velocidad en cada uno de los viajes, con ello fue posible el filtrado de datos para obtener varios ciclos de conducción que logren representar los ensayos a bordo realizados. Mediante esta metodología se logró determinar que la simulación elaborada tiene un margen mínimo de error en comparación con centros de simulación internacionales, lo que permite establecer puntos de carga en criterio de las necesidades y con referencia a los vehículos con más circulación en el Ecuador. En este contexto se concluye que la autonomía de los vehículos eléctricos especificadas por los fabricantes, no está concorde con la realidad y exigencia montañosa del país, por lo cual es necesario realizar simulaciones con los ciclos de conducción de obtenidos en cada una de las carreteras, para así realizar un dimensionamiento óptimo de las estaciones de carga.

Palabras clave: <VEHÍCULOS ELÉCTRICOS> <ESTACIONES DE CARGA> <CICLOS DE CONDUCCIÓN> <CARGA RÁPIDA> <PRUEBAS DE RUTA>.

1262-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

The Ecuadorian automotive fleet continues to evolve, and the increasing number of vehicles in circulation necessitates connecting cities across the country with fast-charging stations to ensure the proper use of these vehicles. Therefore, this research aimed to plan the minimum fast-charging infrastructure along the CIAUTO - Tababela route by collecting driving data, and the key loading points for electric vehicles following that route were established. The implemented methodology had a qualitative and quantitative approach. The conducted route development tests and their subsequent analysis were presented. Data such as latitude, longitude, and speed for each trip were collected. With this information, data filtering was performed to obtain multiple driving cycles that accurately represent the onboard tests conducted. It was determined that the developed simulation has a minimal margin of error compared to international simulation centers through this methodology. This allows for the establishment of charging points based on the needs and preferences of vehicles with higher circulation in Ecuador. In this context, it is concluded that the range of electric vehicles specified by manufacturers is not in line with the reality and mountainous demands of the country. Therefore, it is necessary to perform simulations using the driving cycles obtained on each road to optimize the sizing of charging stations.

Keywords: <ELECTRIC VEHICLES> <CHARGING STATIONS> <DRIVING CYCLES>
<FAST CHARGING> <ROUTE TESTS>.



Lic. Patricia Pilar Moyota Amaguaya
060361101-3

INTRODUCCIÓN

El parque automotor ecuatoriano se encuentra en crecimiento y evolución. Los vehículos eléctricos (VE) son la tendencia global como alternativa sostenible a la contaminación que producen los vehículos de combustión. A nivel mundial las estaciones de carga y sus ubicaciones permiten optimizar el uso y rango de movilidad de esta clase de vehículos.

El Ecuador y su diversidad en regiones experimenta un cambio en su geografía montañosa, por lo cual es oportuno el realizar un ciclo de conducción que será procesado mediante simulación, para así estimar los rangos mínimos de ubicación de estaciones de carga rápida. La toma de datos se realizará con dos dispositivos: celular inteligente con GPS, y un dispositivo dedicado al automovilismo VBOX, son dispositivos con diferentes rangos de precisión que permiten minimizar el error las rutas seleccionadas.

La ruta seleccionada conecta CIAUTO (Tungurahua), empresa dedicada a la importación y ensamble de vehículos, con Tababela (Pichincha), referente del país con el aeropuerto internacional Mariscal Sucre. Carreteras de alta afluencia que conectan las grandes urbes del país y en años próximos serán transitadas por más vehículos eléctricos.

La simulación de un vehículo eléctrico debe considerar todas las fuerzas y energías que involucra su movimiento. Se consideran momentos precisos como pendientes positivas en el consumo de energía y pendientes negativas en la regeneración que el freno puede otorgar. Para validar la simulación se utilizan estudios de laboratorio con vehículos del mercado tratando de obtener el menor error posible. Una vez que se valida el modelo se puede realizar las simulaciones con las especificaciones de cada vehículo en las que tomaremos en cuenta los rendimientos especificados por los fabricantes.

Los resultados obtenidos en la simulación permiten observar la realidad del consumo de un vehículo eléctrico en la geografía montañosa del Ecuador para así estimar lugares específicos para la implementación de las estaciones de carga rápida.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Los altos índices de contaminación ambiental generados por los vehículos con motores de combustión interna han sido el principal detonante para buscar alternativas en el transporte (Díaz, Bahamonde, 2020), por esta razón las grandes ciudades de nuestro país han incentivado a la adquisición de vehículos eléctricos para tratar de aliviar la cantidad de emisiones. Este es un gran paso, sin embargo, no contar con estudios sobre la autonomía de estos generan temor en la gente para adquirirlos pues desconocen si con este tipo de vehículos van a poder llegar a su lugar de destino, caso contrario que hacer para que cumplan esta función (Reyes et al., 2021, pp. 937-958). Es así como nace la iniciativa de la empresa privada Ciudad del Auto (CIAUTO) y la parte pública para buscar una solución a esta problemática. CIAUTO se encuentra a 2577 metros sobre el nivel del mar, este será el punto de partida, el trayecto continuará hacia la Av. Simón Bolívar la cual se encuentra a 2700 [msnm], finalmente se llegará a Tababela ubicado a 2388 [msnm]. Con esto se logra identificar el terreno montañoso de la ruta.

Los fabricantes de vehículos realizan sus pruebas de comportamiento tomando como referencia el nivel del mar, por lo cual la autonomía en nuestra realidad montañoso varía al igual que en los vehículos a combustión interna los cuales sufren una pérdida de potencia debido a la menor cantidad de oxígeno. De forma similar los vehículos eléctricos sufren en su autonomía debido a las inercias que deben romper constantemente, esto genera una reducción de su autonomía razón por la cual se precisa la necesidad de la realización de este estudio bajo las condiciones geográficas establecidas. La electro - movilidad en el campo automotriz es el futuro de la industria por lo cual el orientar estudios en el tema es fundamental en un país en desarrollo como es Ecuador, multinacionales y empresas dedican año tras año millones de dólares en investigación para la creación de vehículos híbridos o eléctricos más eficientes pues las regulaciones nacionales e internacionales obligan al mundo a cambiar los combustibles fósiles por una movilidad sostenible (Uyaguari, 2020, pp. 10-31).

La tracción eléctrica se ha implementado en diferentes áreas del transporte terrestre desde hace más de un siglo solo que no era tan factible su aplicación a la industria de la automoción por las bajas expectativas que presentaban en aquella época. Un vehículo propulsado por un motor de combustión interna no es muy eficiente en comparación a un motor eléctrico que es alimentado por acumuladores a bordo, que se cargan desde una red de distribución interconectada o desde

una red alimentada. La forma de suministrar energía al sistema de tracción eléctrica varía de un vehículo a otro, tanto en el conector que este disponga como al nivel de carga que proporcione la estación (UPME, 2019, pp. 23-206).

En el Ecuador existen cargadores de nivel 1 y nivel 2 los cuales han ganado una mala reputación por el elevado tiempo de carga para poner un vehículo eléctrico en movimiento, por lo cual se ve la necesidad de aplicar electrolinerías de carga rápida capaces de generar un SOC superior al 80 [%] en el menor tiempo posible para poder completar un trayecto largo (Siavichay, 2017, pp. 18-114).

1.2. Limitaciones y delimitaciones

1.2.1. Limitaciones

Las condiciones meteorológicas, tráfico, accidentes automovilísticos y los constantes mantenimientos viales limitaran el estilo de conducción generando ciertas variaciones durante la toma de datos los cuales son esenciales para determinar la ubicación de las estaciones de carga rápida. Se considerarán paradas en algún caso de emergencia.

1.2.2. Delimitaciones

Las pruebas en carretera pretenden determinar la cantidad y ubicación de estaciones de carga rápida. La ruta inicia en la autopista E36 que conecta las ciudades de Ambato y Quito, continuando a la Av. Simón Bolívar y la Ruta Viva que conecta Quito con el aeropuerto Mariscal Sucre en Tababela.

1.3. Problema general de investigación

¿Cuál será la ubicación y la cantidad de estaciones de carga rápida a lo largo del trayecto CIAUTO – Tababela?

1.4. Problemas específicos de investigación

- ¿Cuáles son las metodologías que ayudan a obtener parámetros de conducción?
- ¿Qué cantidad de vehículos eléctricos aproximadamente hay entre las provincias de Pichincha y Tungurahua?
- ¿Cuál es el punto de partida para estimar la ubicación de las estaciones de carga rápida para vehículos eléctricos?

- ¿La autonomía teórica de los vehículos eléctricos permitirá completar un viaje ida y regreso desde CIAUTO hasta Tababela?
- ¿Cómo establecer la localización adecuada de las estaciones de carga rápida?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Planificar la infraestructura mínima de carga rápida en la ruta CIAUTO - Tababela mediante la recolección de datos de conducción para establecer los puntos clave de carga de los vehículos eléctricos que sigan ese trayecto.

1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar una investigación sobre las metodologías que permitan obtener parámetros específicos de conducción mediante revisión bibliográfica para estimar la ubicación inicial de los puntos de carga rápida de vehículos eléctricos.
- Identificar el parque automotor existente en las provincias de Pichincha y Tungurahua por medio de revisión bibliográfica para determinar la cantidad de vehículos eléctricos idóneos que logran circular en vías interurbanas.
- Recolectar datos de conducción en carretera mediante dispositivos electrónicos para tabulación y aplicación en software de simulación.
- Estimar el rango de autonomía de un vehículo eléctrico mediante simulación para poder realizar estimaciones de su comportamiento en la ruta.
- Sugerir la ubicación de estaciones de carga rápida mediante el análisis de los resultados de la simulación para establecer la localización adecuada.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación teórica

A fines de la década de 1970, el foco en los vehículos eléctricos se basó en su capacidad para escapar en cierta medida a la influencia del petróleo, una materia prima que algunos países no poseen y cuyas reservas recuperables son cada vez más limitadas, principalmente en países regionales políticamente inestables. El consumo de petróleo en la industria del transporte ha crecido más rápido que cualquier otra industria en las últimas décadas, lo que ha permitido a la

industria automotriz desarrollar vehículos eléctricos con baterías y motores eléctricos más eficientes que rivalizan con los de los vehículos con motor de combustión. Ante esta nueva realidad que vive nuestra sociedad, pensamos que necesitamos planificar estaciones de carga que nos permitan conectar a nuestro país.

La carretera E35 que conecta la ciudad de Ambato-Quito-Tababela tiene una fluencia de más de 40.000 vehículos por día de los cuales un gran porcentaje son vehículos eléctricos que ya se encuentran ingresando al país, por lo cual vemos beneficio el realizar un estudio con estaciones de carga rápida y dimensionar la cantidad de electrolinerías que necesitarían estas 3 ciudades para abastecer el parque automotor.

1.6.2. Justificación metodológica

El desarrollo de este trabajo está bajo la investigación documental a través de la cual se realizará consultas en documentos como libros, revistas, artículos científicos, tesis, manuales, etc. Se analizará la información para determinar cuáles son las que contribuyan en el desarrollo de este. La utilización de dispositivos electrónicos mejora la precisión en la toma de datos, además que al ser de fácil accesibilidad y uso hacen de estos los indicados para este tipo de investigación, por lo cual utilizaremos un celular que cuente con conexión a bluetooth y GPS incorporado. Además, para corroborar que los datos obtenidos sean correctos que utilizara un equipo llamado VBOX Sport el cual de igual manera registra datos de GPS de manera autónoma. Es así como se va a lograr obtener las mediciones del rendimiento del vehículo en cada una de las pruebas.

1.6.3. Justificación practica

La movilidad eléctrica en el Ecuador se ha convertido en un problema, en casos como “Loja taxis eléctricos” los usuarios tuvieron que regresar a los combustibles fósiles ya sea por falta de apoyo por parte del gobierno en la construcción de estaciones de carga y la falta de repuestos en el caso de daños de estos vehículos (la Hora 2022). Los problemas que se generaron no fueron por la mala configuración del vehículo eléctrico, más bien fue por la falta de información sobre estos pues se generaron excesivos esfuerzos por el estilo de conducción y la falta de información tanto en la autonomía del vehículo como en su forma de carga, como consecuencia la mala reputación de estos vehículos por el bajo rendimiento. Por esta razón el estudio tiene como fin analizar el trayecto en relieve y en base a la efectividad de los vehículos que llegan a Ecuador hacer una estimación de los lugares correctos para implementar estaciones de carga nivel 3 en vías interurbanas (Cabrera et al., 2021, pp. 761-762).

Estudios sobre electromovilidad son muy escasos en nuestro país, y más en el caso de estaciones de carga. Entonces nuestro estudio se ve enfocado en la recolección de datos que serán colocados en un software de simulación para determinar las ubicaciones estratégicas de las estaciones de carga. La utilización de cálculos dinámicos de los vehículos a simular también será considerada para tener un resultado más cercano a la realidad. Además, será necesario la implementación de un modelo matemático para poder evaluar el rendimiento energético de los distintos vehículos eléctricos, con esto se va a lograr estimar de forma más acertada los puntos de ubicación de las estaciones de carga.

Con base en la información de la AEADE con respecto a las ventas de VE, se puede identificar que en el país existen alrededor de 428 vehículos eléctricos en circulación adecuados para viajes interurbanos de un total de 832 vehículos eléctricos (AEADE, 2018, pp. 80-82; 2020, pp. 141-143; 2021, pp. 121-127). Es una cantidad mínima tomando en cuenta que el Ecuador es un país en vías de desarrollo, con mira al futuro se debería preparar la infraestructura de nuestro país ya que el crecimiento exponencial de estos vehículos en el mundo apunta a ser el futuro sustentable de la ingeniería automotriz. Con aspiraciones a que este segmento del parque automotor siga creciendo se debe prever el dimensionamiento de electrolineras en las principales arterias del país. La autopista E35 que conecta la capital de los ecuatorianos tiene un promedio de 22.000 autos en circulación por día, conectándose con la Av. Simón Bolívar que de igual manera es altamente transitada por quiteños y forasteros de paso, nos permite conectarnos a la ruta viva con dirección a Tababela.

El punto de partida para el trazo de la ruta es CIAUTO, es una empresa ecuatoriana que se dedica al ensamblaje de vehículos que con mira al futuro requiere la evaluación de las estaciones de carga rápida de las principales vías del Ecuador, para que sus modelos puedan realizar estos tipos de viajes por lo cual recurren a la academia para realizar este tipo de investigación.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis del proyecto

El análisis del consumo energético mediante simulación en la ruta CIAUTO - Tababela permite establecer una localización de la infraestructura de carga rápida a lo largo de esta vía interurbana.

1.7.2. Hipótesis nula

El análisis del consumo energético mediante simulación en la ruta CIAUTO - Tababela no permite establecer una localización de la infraestructura de carga rápida a lo largo de esta vía interurbana.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

La importancia del capítulo II recae en la redacción del marco teórico, este a su vez cuenta con el apartado de los antecedentes de investigación en el cual se detallan estudios similares al trabajo que se efectúa. Es así que es necesario mostrar información de como se ha tratado de implementar estaciones de carga para vehículos eléctricos dentro del país. Por su parte, las referencias teóricas permitirán definir cada una de las variables individuales que se consideran necesarias para la comprensión del trabajo.

2.1. Antecedentes de investigación

La carretera Troncal de la Sierra E35 es una arteria vial que conecta la mayor parte de la cordillera andina que atraviesa nuestro país en la cual no existe un estudio de planeación para la implementación de la infraestructura mínima de carga rápida para vehículos eléctricos, tomando como referencia casos de estudio en otros países podemos analizar los resultados que se obtienen según la región en la que o se implementaron las estaciones de carga.

La unidad de planeación minero-energética (UPME) en su estudio del 2019 en Colombia determina que la infraestructura de las estaciones de carga rápida debe ser capaz de satisfacer las necesidades energéticas de los viajeros de larga distancia entre ciudades o pueblos. La falta de estaciones de carga rápida en las carreteras nacionales limita el uso de los vehículos eléctricos (electric vehicles) para viajes de larga distancia y se limita al uso urbano. Dada la importancia y relevancia de incentivar el uso de electric vehicles (EVs por sus siglas en inglés) en largas distancias, grandes mercados como China, Europa y Estados Unidos han redoblado esfuerzos para instalar estaciones de carga rápida en las carreteras nacionales. Para el cálculo de distancia entre electrolinerías se utiliza la autonomía mínima de los EVs que circulan las carreteras, el factor por temperatura, el factor de flexibilidad y el factor de simultaneidad. Se deberán tomar en cuenta condiciones climáticas que pueden llegar a afectar la autonomía de las baterías (UPME, 2019, pp. 23-206).

UPME después de realizar un análisis de densidad poblacional, llega a determinar la Ilustración 2-1, aquí se detalla la ubicación potencial de las estaciones de carga para el transporte urbano. Son muchos los factores que determinan los lugares donde irán ubicadas estas estaciones tales como: realidad montañosa, totalidad poblacional, cantidad de transportes urbanos que cubren la zona, la electrificación, etc.

Hay que tomar en cuenta que el monitoreo en Irlanda se realiza de las 711 estaciones existentes, lo que no pasa en nuestro país (Morrissey, Weldon y O'Mahony, 2016, pp. 257-270). De ahí nace la necesidad de incentivar a la población para optar por medios de movilización amigables con el medio ambiente, reemplazando así los combustibles fósiles y lograr contribuir en la reducción de emisiones contaminantes.

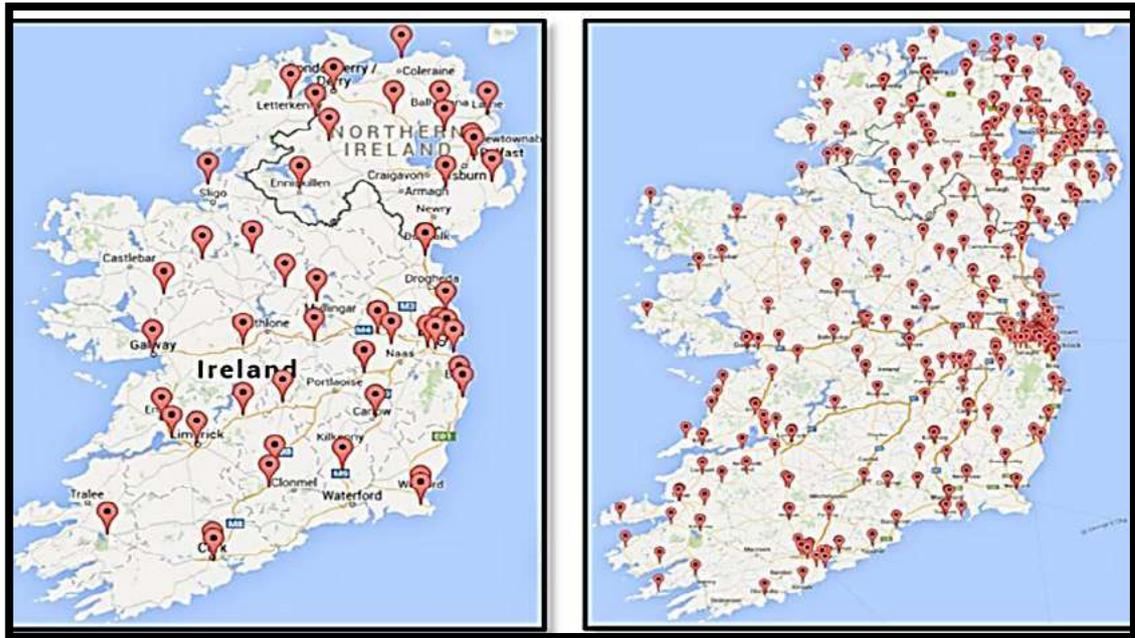


Ilustración 2-2: Ubicaciones de los puntos de carga rápidos (izquierda) y estándar (derecha) monitoreados

Fuente: (Morrissey, Weldon y O'Mahony, 2016, p. 259).

En el estudio de Antonio Santos se calculan la distancia mínima en España para infraestructura de carga en vías interurbanas, estas pueden ser de dos tipos como le lo muestra en la Ilustración 2-2. En el estudio determinaron que la distancia mínima es obtenida a partir de la autonomía mínima de un vehículo vendido en el país, multiplicada por factores que afectan la autonomía como temperatura, tipo de conducción, tipo de terreno, velocidad promedio, etc. Para simplificar el modelado centrándonos en vehículos relacionados, podemos dividir los vehículos eléctricos disponibles en tres categorías.

En primer lugar, la Clase I de gama alta incluye series de producción limitada y modelos exclusivos con conducción autónoma igual o superior a 300 kilómetros [km]. En segundo lugar, los coches urbanos de carga rápida pertenecen a la categoría II con una autonomía inferior a los 100 [km] y aunque se pueden realizar trayectos interurbanos de larga distancia, no se pueden utilizar para más de dos estaciones de carga (<300 kilómetros). En tercer y último lugar, los

principales modelos de vehículos eléctricos forman parte de la tercera categoría, con las unidades de producción y tasas de adopción de usuarios más altas (Colmenar-Santos et al., 2014, pp. 1207-1229).

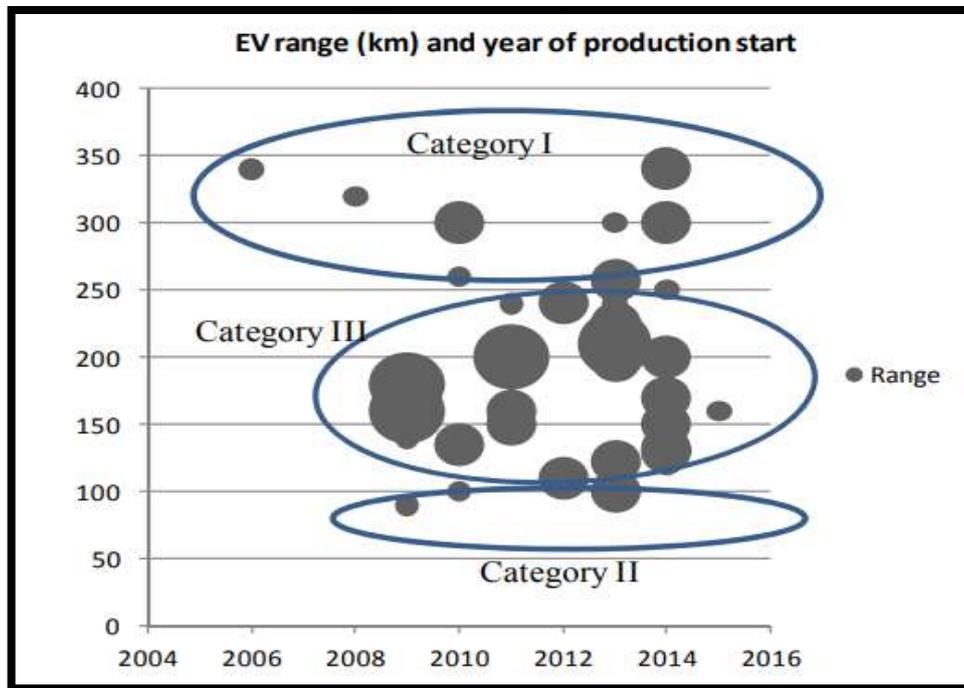


Ilustración 2-3: Categorías de autonomía para vehículos eléctricos con carga rápida

Fuente: (Colmenar Santos et al., 2014, p. 1213)

Son varias las diferencias en los parámetros que se toman en cuenta en los diferentes artículos abarcando desde las características de los vehículos eléctricos que se fabrican en la actualidad hasta el consumo que representan una vez ya implementadas este tipo de estaciones en países ya establecidos como electros móviles y abordando el tema por completo parámetros que son necesarios a tomarse en cuenta para el cálculo del dimensionamiento mínimo para las estaciones.

Uno de los objetivos globales de desarrollo sostenible recomienda limitar las emisiones de dióxido de carbono para evitar un aumento en la temperatura global para fines de siglo. En este contexto, es fundamental utilizar energías renovables en lugar de combustibles fósiles para generar electricidad, principalmente en el sector del transporte. Partiendo de esta premisa, la industria del automóvil ha desarrollado en los últimos años vehículos eléctricos más eficientes y económicos, lo que les ha permitido ser ampliamente utilizados. Sin embargo, todavía existen algunas limitaciones como los requisitos de infraestructura para la carga de baterías, ya sea carga lenta a nivel doméstico o carga rápida y ultrarrápida a nivel comercial.

Con base en la generación de electricidad de Galápagos, la demanda de vehículos y la información de demanda de electricidad realizaron la simulación de Monte Carlo, teniendo en cuenta la

probabilidad de tiempo de carga del vehículo eléctrico, encontrando el porcentaje de carga de la batería y una curva de carga de los vehículos adecuada para la isla. Por lo tanto, considerando Galápagos como una provincia relativamente pequeña, el estudio identificó las necesidades necesarias y la ubicación de las estaciones de carga se hizo teniendo en cuenta la distancia del centro densamente poblado a los lugares de mayor afluencia de turistas y teniendo en cuenta la autonomía de los vehículos eléctricos de modelo inferior (Mera, Otero y Calle, 2021, pp. 143-152).

Tabla 2-1: Clasificación del parque automotor en las principales islas de Galápagos

Isla	Total	SUV a gasolina	Automóviles a gasolina	Automóviles eléctricos	Esuv
Santa Cruz	484	203	138	116	27
San Cristóbal	54	23	15	13	3
Isabela	4	2	1	1	0

Fuente: (Mera, Otero y Calle, 2021, p. 148)

2.2. Referencias teóricas

Es necesario definir cada una de las variables que forman parte de un vehículo eléctrico, esto incluye su creación, rendimiento, su configuración, fuentes de energía, tipos de conectores para su carga y que instrumentos la proporciona, etc. De igual manera a que se conoce como estación de carga, los niveles, modos de comunicación, el estado de carga y finalmente, las metodologías a través de las cuales se logran obtener ciclos de conducción y ubicación de puntos de recarga.

2.2.1. Vehículo eléctrico

Fue uno de los primeros vehículos en ser desarrollados, incluso mucho antes de aquellos con motor ciclo Otto y Diesel. El sistema básico que mueve a un vehículo eléctrico se constituye de la generación y acumulación de energía eléctrica como se lo puede observar en la Ilustración 2-4, para ello se requiere de acumuladores electroquímicos (baterías) que son los encargados de mantener la corriente eléctrica. Las baterías han limitado la masividad de los vehículos eléctricos por sus elevados costes de fabricación, peso, tiempo de recarga, escasa vida útil y autonomía. Sin embargo, el sistema de propulsión en vehículos eléctricos es más eficiente en comparación a los motores de combustión interna pues la energía liberada por las baterías es del 46 [%], con una eficiencia entre 10–30 [%], superior respecto a los vehículos que utilizan combustibles fósiles (UPME, 2019, pp. 23-206).

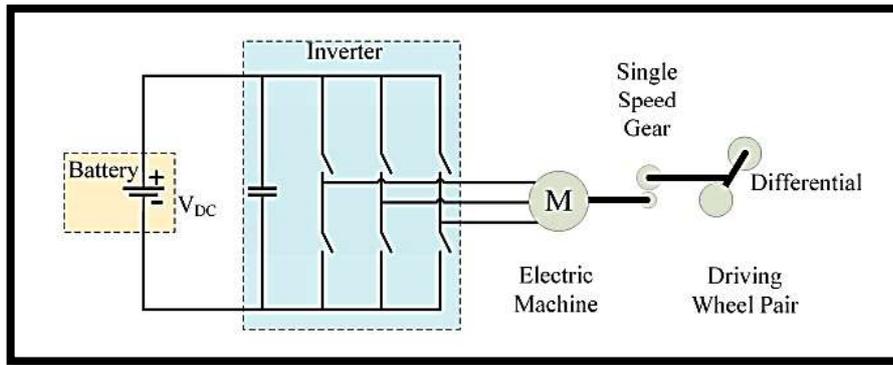


Ilustración 2-4: Configuración de un vehículo eléctrico

Fuente: (Un-Noor et al., 2017, p. 4).

2.2.2. Estación de carga de vehículos eléctricos

También recibe el nombre de electrolinería o estación de carga ecológica, cumple la función de proveer electricidad para la carga de las baterías de los vehículos eléctricos e híbridos enchufables como se lo observa en la Ilustración 2-5. En el mercado hay la presencia de estaciones de carga lenta y rápida, las primeras son más comunes en domicilios mientras que las otras se disponen en carreteras. Las estaciones de carga lenta tardarán, por otra parte, a aquellas rápidas no les llevan más de unos 10 minutos una carga completa a través de dispensadores rápidos de electricidad o estaciones de recambio de baterías (Alegre, 2017, pp. 24-280).

Al no contar con una norma ecuatoriana que regule estas electrolinerías, es necesario buscar una norma que muestre los valores de tensión de alimentación en corriente alterna y continua que pueden brindar. Según la norma UNE-EN 61851-1:2001 los equipos para la carga de vehículos eléctricos proporcionarían hasta 690 voltios en Corriente Alterna (AC por sus siglas en inglés) y hasta 1000 voltios en Corriente Continua (DC por sus siglas en inglés) (AENOR, 2002, pp. 7-8).

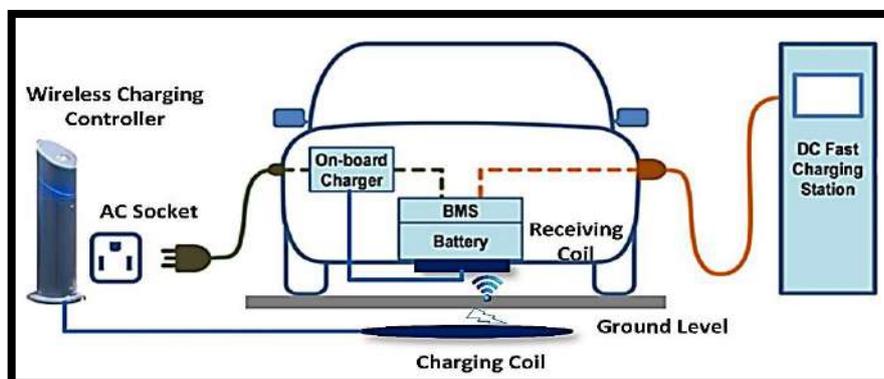


Ilustración 2-5: Circuito de carga para vehículos eléctricos

Fuente: (Mastoi et al. 2022, p.11511).

2.2.3. Niveles de carga para vehículos eléctricos

El nivel de carga depende del tipo de conexión entre el equipo de recarga y el vehículo eléctrico, se puede apreciar en la Ilustración 2-6 la forma en la que se realiza. Es así como, conociendo la potencia, la corriente de circulación y el tiempo de recarga se tienen distintos niveles. Aquellos que son de corriente alterna son más lentos en comparación a los de corriente continua, esto se da por el voltaje y la corriente que ingresan estas estaciones de carga al vehículo eléctrico (Mastoi et al., 2022, pp. 11505-11526). Entre los principales niveles de carga están:

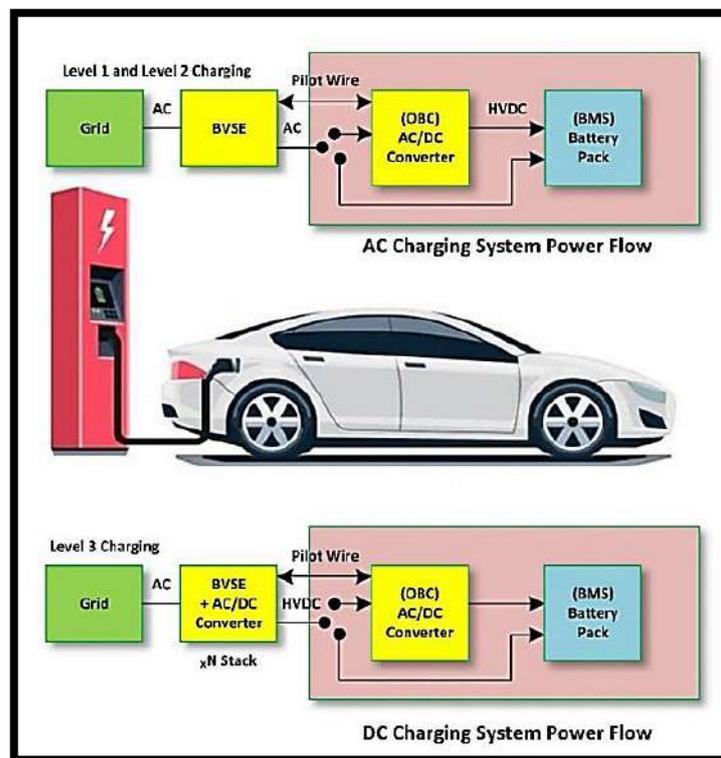


Ilustración 2-6: Modos de carga de vehículos eléctricos a diferentes niveles

Fuente: (Mastoi et al., 2022, p.11509)

- **Carga de nivel 1**

Es del tipo lenta o convencional. Ideal para cargar el vehículo eléctrico desde la comodidad del hogar, esto gracias a que está al mismo nivel que la red domiciliaria que trabaja a 120 voltios [V]. Al ser monofásica la intensidad que circula a través de esta es de 16 amperios [A] y el voltaje de 230 voltios, es decir que la potencia eléctrica que va a entregar será de aproximadamente 3,7 kilovatios [kW]. El proceso de carga tendrá una duración de alrededor de unas 8 horas, lo ideal es emplear este tipo de carga en la noche pues es cuando menos demanda energética se registra (Mastoi et al., 2022, pp. 11505-11526).

- **Carga de nivel 2**

Es una carga semi – rápida. Es usada en lugares públicos y residenciales, los vehículos eléctricos se cargarán a través de una fuente de alimentación de AC monofásica que emplea un máximo de 40 [A] y 240 [V] para instalaciones domiciliarias. Para instalaciones comerciales el flujo de corriente máximo será de 80 amperios y 400 voltios de alimentación de AC trifásica. La potencia eléctrica de este nivel de carga tendrá un aproximado de 7,3 [kW] con el cual del proceso de carga del vehículo eléctrico sería de alrededor de unas 4 horas (Mastoi et al., 2022, pp. 11505-11526).

- **Carga de nivel 3**

El método de carga más rápido para vehículos eléctricos. Está disponible en áreas públicas y comerciales pues emplea una mayor intensidad eléctrica y entrega la energía en corriente continua. Sin embargo, no son universalmente compatibles por lo cual es necesario que los vehículos cuenten con un adaptador para conectarse a esta estación. El vehículo eléctrico se conecta a la red de AC a través de un cargador externo que realiza la conversión AC/DC, los voltajes de carga oscilan entre los 200–600 [V] y una potencia de entre 36–240 [kW]. El tiempo de carga suele estar de 15–20 minutos con carga rápida en DC (Mastoi et al., 2022, pp. 11505-11526).

2.2.4. *Modos de comunicación entre la estación de carga y el vehículo eléctrico*

Cuando se habla de modos de comunicación se hace referencia al nivel de comunicación que existe entre el vehículo eléctrico, la estación de carga y el control que se tenga sobre el proceso de carga. Esto es esencial para controlar el estado de carga, detenerla en el momento indicado, iniciarla o incluso enviar electricidad a la red. A continuación, se detalla cada uno de los distintos modos de comunicación en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2: Características del modo de comunicación entre la estación de carga y el vehículo eléctrico

	Características
Modo 1	No existe comunicación con la red, este se aplica a una toma de corriente convencional con conector Schuko.
Modo 2	El grado de comunicación con la red es bajo, el cable tiene un dispositivo intermedio de control piloto que sirve para verificar que la conexión que se genera del vehículo a la red de carga sea correcta. Se sigue utilizando un conector Schuko.
Modo 3	Existe un grado de comunicación elevado con la red. Tanto los dispositivos de control como las protecciones están dentro de la estación de carga y el cable tiene un hilo piloto de comunicación integrado. Utiliza conectores SAE J1772, Mennekes, Combinado o Scame.
Modo 4	Tiene un elevado grado de comunicación con la red. Existe un conversor a corriente continua por lo que es aplicado solo para carga rápida. El conector utilizado es el CHAdeMO.

Fuente: (UPME, 2019, pp. 23-206)

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

2.2.5. Tipos de conectores para vehículos eléctricos

Cuando se habla de conector se hace referencia al enchufe requerido para la conexión de la recarga. Existe una gran cantidad de conectores para la carga de vehículos eléctricos que dependen del fabricante como se lo observa en la Tabla 2-3, sin embargo, mantienen el mismo principio al permitir brindar carga desde la estación hacia el vehículo. Entre los conectores más comunes para cargar vehículos eléctricos están:

Tabla 2-3: Conectores utilizados para la carga de vehículos eléctricos de acuerdo con el tipo de corriente

Tipo	Características	Ilustración
Schuko	<ul style="list-style-type: none"> -Conector de uso domiciliario -Entrega una intensidad de 10–16 [A] -Maneja corriente alterna monofásica -Potencia de 2,3 [kW] -Ideal para vehículos eléctricos pequeños 	
SAE J1772	<ul style="list-style-type: none"> -Conector tipo 1 adoptado por la SAE -Carga el vehículo con alimentación de AC monofásica -Su tensión va de 120–240 [V] y una corriente hasta de 80 [A] -Lo utilizan norteamericanos y japoneses 	
Mennekes	<ul style="list-style-type: none"> -Conector tipo 2 -Carga el vehículo eléctrico con alimentación de AC y DC -Maneja tensión nominal monofásica de 230 V con una corriente de 80 [A] -Para conexión trifásica va de 400 [V] a 63 [A] -Entrega una potencia de hasta 43 [kW] para las dos conexiones -Empleado en Reino Unido, Alemania e Italia 	
GB/T	<ul style="list-style-type: none"> -Conector de carga en DC -Tiene su origen en China 	

	<ul style="list-style-type: none"> -Ideal para cargar baterías de alta y baja tensión -Conector más utilizado a nivel mundial -Puede entregar una corriente de 250 [A] con un voltaje de 750 [V] 	
Combo	<ul style="list-style-type: none"> - Combinaciones CCS 1 y 2 -Combina la carga lenta (AC) y rápida (DC) -Manejan voltajes desde los 200–1000 [V] hasta 350 [A] 	
CHAdemo	<ul style="list-style-type: none"> -Para carga rápida entre 200-400 [kW] en DC -Diseñado por fabricantes -En la actualidad lo ocupan vehículos europeos y norteamericanos 	
TESLA	<ul style="list-style-type: none"> -Es exclusivo de vehículos Tesla -Ideal para carga en AC y DC a través del mismo conector -Dispone una potencia de 120 [kW] 	

Fuente: (Mastoi et al., 2022, pp. 11505-11526)

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

2.2.6. Fuentes de energía para vehículos eléctricos

La elección de las fuentes idóneas se realiza mediante ciertos criterios, entre los más importantes destacan la densidad de energía y la densidad de potencia. Además, deberá incluir una carga rápida, un ciclo de vida y servicio extensos, bajo costo y de fácil mantenimiento. Es necesario contar con energía específica alta para aquellas conducciones de largo alcance, en tanto la potencia específica alta será requerida para conducciones de corto alcance. Por esta razón, las baterías y los ultra condensadores son los elementos ideales para el almacenamiento de energía (el Halim et al., 2022, pp. 2041-2061).

2.2.7. Baterías para vehículos eléctricos

Cuando se habla de baterías se hace referencia a una de las principales fuentes de energía para vehículos eléctricos, su rendimiento será estimado a partir de la temperatura y el voltaje que tolere

según el fabricante. En su estructura va a contar con dos electrodos (ánodo y catodo) separados por un electrolito que podrá ser de distintos tipos, durante el funcionamiento de la batería van a generar reacciones químicas distintas en cada uno de sus electrodos (Alegre, 2017, pp. 24-280).

2.2.8. Modelado de una batería

Sus características se definen según la cantidad de energía que logre almacenar, la corriente máxima que pueda entregar durante la descarga y la profundidad de descarga que pueda sostener (Alegre, 2017, pp. 24-280). Entonces, para que se realice una correcta elección de la batería a utilizar en el vehículo eléctrico las necesidades del fabricante como las características deberán coincidir. Hay características de la batería que limitan al fabricante del vehículo eléctrico, estas se pueden apreciar en la Tabla 2-4:

Tabla 2-4: Características de la batería que influyen en el diseño y rendimiento de un vehículo eléctrico

Característica	Definición
Capacidad	Medida que muestra la cantidad de energía que la batería logra almacenar. Por ejemplo, la energía que se extraiga de una batería cargada al 100 [%] dependerá de factores como la temperatura, la velocidad de descarga, el tipo y la edad de la batería.
Amperios-hora (Ah)	Corriente a la que puede descargarse una batería, se lo mide respecto a una velocidad constante durante cierto periodo de tiempo específico.
Capacidad de reserva	Muestra la cantidad de tiempo en minutos (min) que una batería produzca un nivel de descarga. Por ejemplo, 30 minutos a 20 amperios de capacidad de reserva da a entender que una batería cargada completamente puede generar 20 [A] durante 30 min.
Capacidad [kWh]	Es una medida de la energía requerida para cargar en su totalidad una batería agotada. En sí, el rendimiento varía de acuerdo con la tasa de descarga/recarga, la edad, la historia del ciclo y la temperatura.
Voltaje	Una batería se compone de dos o más celdas con cables, el voltaje de la batería se obtiene al multiplicar el voltaje por la cantidad de celdas.
Profundidad de ciclo	La profundidad de ciclo en el tipo plomo-ácido muestra que estas pueden descargarse de manera rutinaria entre 15-20 [%] de su capacidad, lo que representa una profundidad de descarga (del 85-80 [%]). Esto reduce la vida de la batería.
Peso/Volumen	La capacidad de energía y potencia están dadas por el peso o volumen. Lo importante es la energía específica/energía y las densidades de

	potencia/energía. Esto determina la cantidad de energía que proporcionara cierto peso o volumen.
Densidad de energía / Energía específica	Es la cantidad de energía que puede ser extraída de una batería por unidad de peso o volumen. Aquellas baterías de ciclo profundo proporcionan el potencial para densidades de energía más elevado que aquellas de ciclo no profundo, esto debido a la posibilidad de extraer más energía de la batería.
Densidad de potencia / Energía específica	Cuantifica la potencia que se puede extraer de una batería por unidad de peso o volumen. Para entenderlo, la densidad de energía se lo puede comparar con el tamaño del depósito de combustible y la densidad de potencia con el valor del octanaje del combustible.
Temperatura de funcionamiento	El mejor rendimiento de las baterías se limita a cierto rango de temperatura. En las del tipo plomo–ácido, su rango óptimo de trabajo se encuentra entre 29–35 [°C] y su vida útil va a reducirse cuando sobrepase los 52 [°C].
Sulfatación	En baterías de plomo–ácido un bajo SOC hace que los cristales de plomo que se tienden a formar durante la descarga sean muy grandes que no se disuelvan. La sulfatación se genera cuando la batería ha trabajado con un bajo SOC durante un largo periodo de tiempo.
Auto - descarga	Cuando una batería no se encuentra trabajando, tiende a descargarse con el paso del tiempo. En baterías recargables se tiene mayor auto-descarga en comparación a las baterías no recargables.

Fuente: (Alegre, 2017, pp. 24-280)

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

2.2.9. SOC en baterías de vehículos eléctricos

La estimación del estado de carga de una batería o state of charge (SOC) por sus siglas en ingles se define como la capacidad descargable restante [Q] relativa a la capacidad de una batería completamente cargada [C]. Hay distintos métodos a través de los cuales se puede obtener este valor como se lo muestra en la Ilustración 2-7.

Uno de los métodos utilizados para la obtención del SOC se basa en mediar corriente que circula a través de la batería y usarla en un contador de Coulomb (contador amperios – hora), la corriente medida (I_{exp}) está integrada en el tiempo, generando una señal proporcional al SOC. Esta calibrado en estados llenos y vacíos definidos, que se identifican por la tensión medida (V_{exp}). La imprecisión durante la medición de corriente y la derivada del SOC relacionada durante ciclos poco profundos, donde no se alcanzan los puntos de calibración hacen que no sea un método efectivo en comparación a otros (Braun et al., 2022, pp. 1-3).

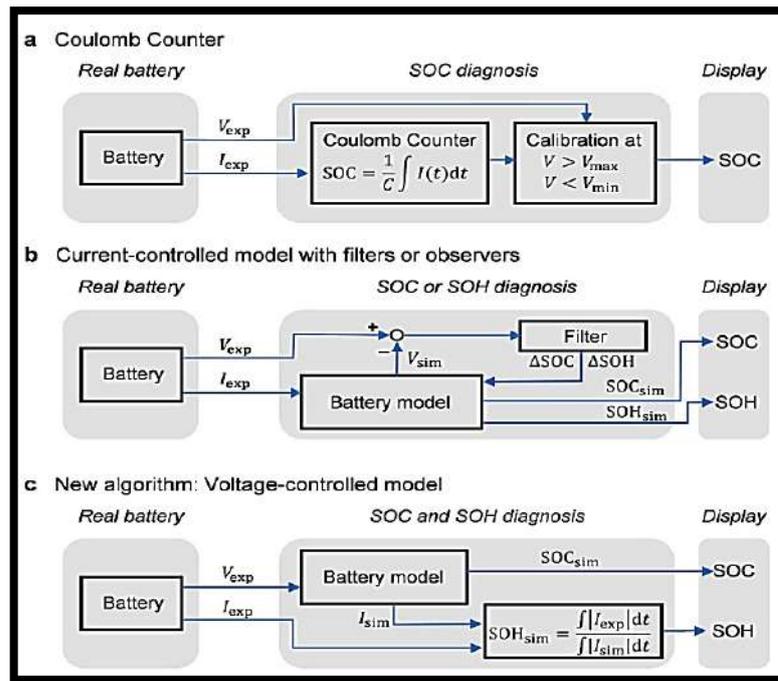


Ilustración 2-7: Diagnóstico del estado de la batería. a) Un contador de culombio. b) Modelo controlado por corriente con filtros u observadores. c) Algoritmo basado en un modelo controlado por voltaje
Fuente: (Braun et al., 2022, p.2)

2.2.10. Tipos de baterías en vehículos eléctricos

Hoy en día los fabricantes de vehículos eléctricos tienen a su disposición varios tipos de baterías que se diferencian según los elementos que forman su estructura. Cada tipo de batería tendrá sus ventajas y desventajas, a continuación, se muestra en la Tabla 2-5 la clasificación de las baterías más utilizadas con sus respectivas características.

Tabla 2-5: Tipos, características y desventajas de baterías para vehículos eléctricos disponibles en el mercado

Tipo de batería	Características	Desventajas
Plomo – Ácido	-Asequibles -Económicas -Tiene alrededor de 50 años en el mercado	-Limitada a un máximo de 20 [%] de su capacidad - Baja densidad de energía y potencia -Corta vida útil -Pesadas
Níquel – metal – Hidruro (NiMH)	-Resistente a sobrecargas y bajas descargas	-Baja densidad de potencia y energía - Las altas corrientes de carga la limitan a 200–300 ciclos de vida útil

	<ul style="list-style-type: none"> -Su densidad energética es el doble de las de plomo-ácido -De fácil reciclaje -Tiene un ciclo de vida extenso -Resistente a las sobrecargas y bajas descargar -Toleran un rango de temperatura elevado -Seguras para trabajar en alta tensión 	-Alto efecto memoria
Ion – Litio	<ul style="list-style-type: none"> -Doble densidad de energía en comparación a las de NiMH -Gran rendimiento a altas temperaturas -Capacidad de ser reciclada -Tiene un mínimo efecto memoria -Alta potencia y densidad de energía -Su vida útil bordea los 1000 ciclos -Son económicas 	<ul style="list-style-type: none"> -Costosas -La carga es lenta
Níquel - Zinc	<ul style="list-style-type: none"> -Elevada densidad de energía y potencia -Bajo costo -Ciclos de trabajo extendidos Trabaja en un rango de temperatura entre los 10–50 [°C] 	-No puede ser empleado en vehículos por la generación rápida de dendritas
Níquel – Cadmio	<ul style="list-style-type: none"> -Tiene larga vida útil -Tolera descargas profundas -Puede ser reciclada 	<ul style="list-style-type: none"> -El cadmio debe ser tratado de forma adecuada para no contaminar el medioambiente -Costoso para ser empleado en el campo automotriz

Fuente: (el Halim et al., 2022, pp. 2041-2061)

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

2.2.11. Ultracondensadores para vehículos eléctricos

Su estructura está compuesta por dos electrodos separados mediante un líquido rico en iones del tipo dieléctrico. Los Ultracondensadores (UC) tienen un ciclo de vida más extenso al de las baterías porque no existe reacción química entre los electrodos, se lo puede observar en la Ilustración 2-8. Sin embargo, esto genera una menor densidad de energía, sin embargo, tienen una baja resistencia interna, lo cual implica una alta eficiencia. Si estos son cargados a un SOC bajo,

el resultado será una corriente de salida alta debido a que el voltaje terminal de los UC es proporcional al SOC.

Los vehículos eléctricos experimentan una tasa de descarga de la batería impredecible por las condiciones de arranque y parada a las que se enfrentan, esto hará que se requiera de una gran potencia. Esta potencia es unas dieciséis veces la potencia normal requerida, es allí cuando destacan los UC al entregar potencias altas en cortos periodos de tiempo. Finalmente, mediante estudios se pudo determinar que los ultracondensadores son elementos idóneos para almacenar la energía de freno regenerativo, dando como resultado una fuente de energía más eficiente y de gran confiabilidad por lo cual son utilizados con mayor preferencia en el transporte pesado (Un-Noor et al., 2017, pp. 1-27).

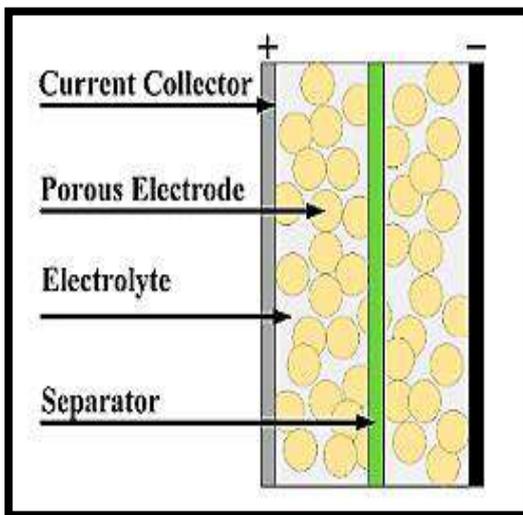


Ilustración 2-8: Célula UC

Fuente: (el Halim et al., 2022, p.25)

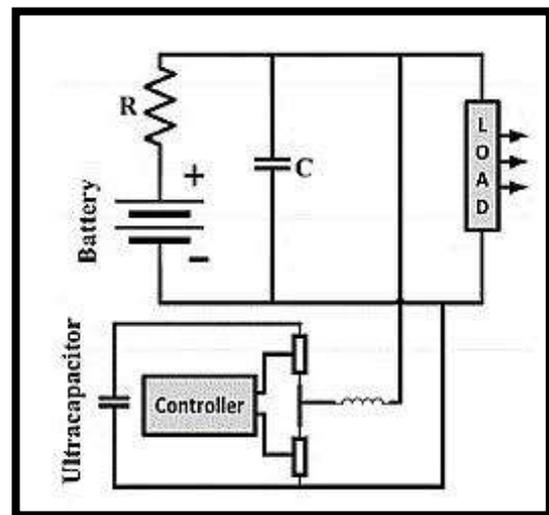


Ilustración 2-9: Configuración de batería y UC

Fuente:(el Halim et al., 2022, p.25)

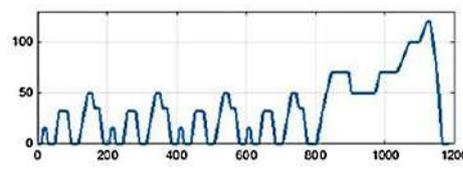
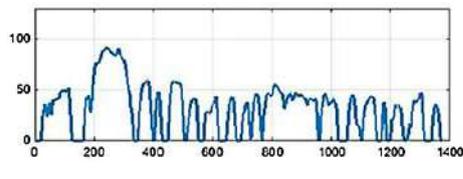
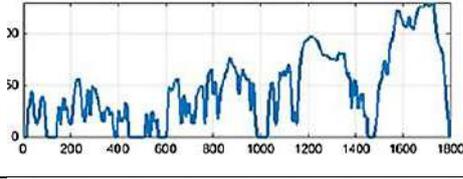
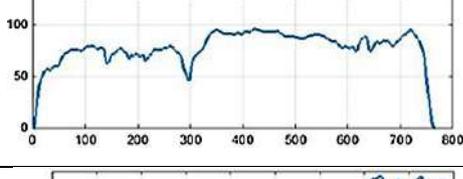
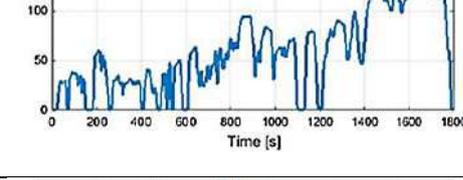
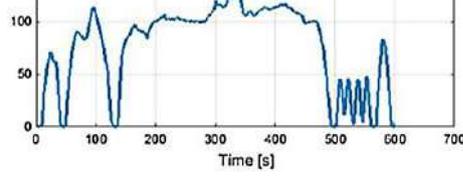
2.2.12. Metodología para obtener ciclos de conducción

Ante la necesidad de obtener ciclos de conducción se requiere de una metodología ideal que permita seguir un orden adecuado durante este proceso. La instrumentación es la primera, aquí se da la elección correcta de los dispositivos electrónicos, se continua con la selección de vías, la recolección y análisis de resultados, finalmente, el resultado será el ciclo de conducción que será definido a continuación (Restrepo, Carranza y Tibaquira, 2007, pp. 230-234).

- **Ciclo de conducción**

Es una secuencia de datos de velocidad y tiempo, representan los modelos de manejo vehicular que se han realizado en cierto sector ya sea urbano, rural o en carretera. Los datos de velocidad obtenidos se los comparan con el tiempo empleado en completar dicho trayecto bajo diferentes condiciones de circulación. Por esta razón, los ciclos de conducción van a ser del tipo estacionario y transitorio como se lo muestra en la Tabla 2-6, a continuación, se detallan sus características (Dávalos Figueroa, 2017, pp. 3-7).

Tabla 2-6: Ciclos de conducción utilizados para la validación del modelo propuesto

Ciclos de conducción estandarizados utilizados para la validación del modelo		
NEDC		Nuevo Ciclo Europeo de Conducción. Es un ciclo altamente estilizado que se usa para darle aprobación al parque automotor europeo de vehículos livianos con las condiciones de conducción reales en ruta (Hurtado, 2014, pp. 9-20).
UDDS		Conducción urbana en dinamómetro (en Inglés, UDDS) ciclo construido en la ciudad de los Ángeles en Estados Unidos. Utiliza 3 etapas: arranque en frío, estabilización, arranque en caliente (Hurtado, 2014, pp. 9-20).
WLTC		Se compone de cuatro zonas de velocidad: una representativa de conducción urbana, una conducción suburbana, una conducción extraurbana y una zona de carretera (Romain, [sin fecha]).
HWFET		El ciclo de ensayo Highway Fuel Economy Cycle (HWFEC) es utilizado para evaluar el consumo de combustible durante el ciclo de conducción en carretera (Romain, [sin fecha]).
WMTC		Ciclos legislativos de motocicletas WMTC (World Motorcycle Test Cycles) (Pérez y Quito, 2018, pp. 2-22).
US06		Es un ciclo regulador que se refiere a las trazas de velocidad estándar utilizadas en el consumo de combustible o en las pruebas de emisiones para fines de certificación en entornos de laboratorio controlados (Pérez y Quito, 2018, pp. 2-22).

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

2.2.13. Metodologías para la ubicación de estaciones de carga

La ubicación de estaciones de carga rápida dependerá de las variables que se encuentran dentro de la problemática. La gran cantidad de datos que se involucren en la resolución hace que estos problemas no puedan ser resueltos por métodos clásicos de optimización y sean resueltos de forma computacional por su gran capacidad (Cabrera, 2020, pp. 11-20). De ahí surgen dos tipos de metodologías comunes para la estimación de estaciones de carga, dependiendo del tipo de estudio como se lo muestra en la Tabla 2-7.

Tabla 2-7: Tipos de metodologías de acuerdo a los datos consideradas para el estudio

Métodos heurísticos	Métodos exactos
Incluye algoritmos que permiten encontrar soluciones rápidas a problemas que incluyan sistemas de ecuaciones al ser fáciles de utilizar. Son aplicados en la resolución de problemas que incluyan sistemas de ecuaciones grandes (Zhao y Lu, 2019, pp. 1-4). Sin embargo, varían mucho dependiendo de los parámetros fijados lo cual no genera confianza por su bajo nivel de optimización.	Se encargan de resolver problemas que incluyen sistemas de ecuaciones con mayor precisión. Esto se debe a que incluyen fórmulas matemáticas, técnicas que reducen los problemas dando una solución global y utiliza softwares de simulación como MATLAB. Es extenso por lo cual se utiliza en circunstancias concretas que tengan datos específicos.

Fuente: (Cabrera, 2020, pp. 11-20)

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El capítulo III hacer referencia al marco metodológico, tiene como objetivo presentar el desarrollo de las pruebas de ruta realizadas y su posterior tratamiento. Datos como: latitud, longitud y velocidad en cada uno de los viajes, con ello será posible el filtrado de datos para obtener varios ciclos de conducción que logren representar los ensayos a bordo realizados. Es necesario para ello definir el método de investigación, los programas para la recolección de datos, instrumentos, la cantidad de viajes, el análisis de datos y finalmente, se llegará al ciclo de conducción.

3.1. Enfoque de la investigación

El estudio tiene un enfoque cuantitativo porque se va a medir un fenómeno que en este caso es la dinámica del vehículo, se utiliza estadística porque se va a obtener los ciclos de conducción y se va a probar la hipótesis. Por otra parte, la masa del vehículo, la forma de conducción y las pendientes constituyen la causa mientras que el efecto es la energía consumida por el vehículo eléctrico. Además, el estudio es del tipo inductivo pues se está analizando un solo vehículo para encontrar el modelo general de consumo energético para los diferentes vehículos eléctricos en el mercado. Se obtienen datos en tiempo real a lo largo de las distintas pruebas, esto debido a que el propósito de la investigación es analizar el consumo energético de los vehículos eléctricos en la ruta CIAUTO – Tababela para determinar la ubicación y dimensionamiento de las estaciones de carga rápida.

3.2. Nivel de Investigación

Las estrategias de investigación dependen del alcance del estudio. Por lo tanto, el diseño, los procedimientos y otros componentes del proceso variarán en estudios que tengan un alcance exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, pp. 2-20).

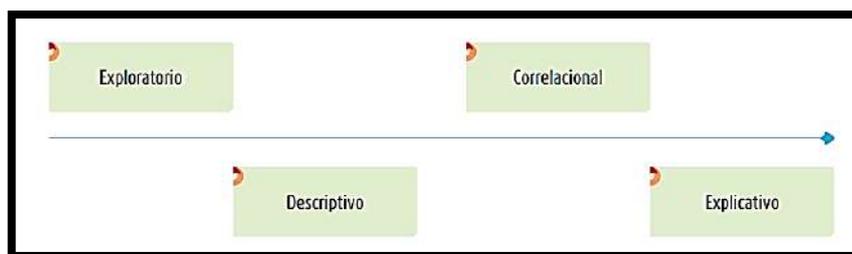


Ilustración 3-1: Alcances de un enfoque cuantitativo

Fuente: (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.90)

La investigación exploratoria ayuda a sentar las bases y, a menudo, precede a la investigación con un alcance descriptivo, correlativo o explicativo. En general, la investigación descriptiva sustenta la investigación correlacional, que a su vez informa la realización de la investigación interpretativa que genera un sentido de comprensión y está altamente estructurada. Una encuesta realizada en un área de conocimiento en particular puede incluir diferentes alcances en diferentes etapas de su desarrollo (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, pp. 2-20). Para este trabajo de investigación serán necesario los 4 niveles de investigación revisados debido a que se requiere de bases estables para comenzar con la recolección de datos que permitirá estructurar el dimensionamiento de estaciones de carga rápida

3.3. Diseño de investigación

La hipótesis planteada permite identificar la variable dependiente y la variable independiente del trabajo de investigación.

3.3.1. Según la manipulación de la variable independiente.

Variable independiente: análisis del consumo energético mediante simulación. La variable independiente no será manipulada.

Variable dependiente: localización de la infraestructura de carga rápida a lo largo de la vía interurbana.

3.3.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo

Tabla 3-1: Intervención en la investigación a través de sus variables independientes y dependientes

Variable independiente	Análisis del consumo energético mediante simulación	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud • Latitud • Altitud • Velocidad • Dinámica del vehículo 	[°] [°] [msnm] [km/h] [N]
Variable dependiente	Localización de la infraestructura de carga rápida a lo largo de la vía interurbana	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia entre estaciones de carga 	[km]

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

3.4. Tipo de estudio (documental y de campo)

El presente trabajo de investigación se realizará con un estudio documental y de campo.

- **Trabajo documental:** se realiza investigación bibliográfica para la obtención de datos del vehículo eléctrico, se buscará la metodología con todo lo que implica la construcción de los parámetros de conducción y para darle relevancia a la investigación se argumentará con datos de la AEADE la cantidad de vehículos eléctricos en circulación en las provincias de Pichincha y Tungurahua.
- **Trabajo de campo:** la recolección de datos se hará en las carreteras: E36, Simón Bolívar, Ruta Viva. Se respetará los límites de velocidad.

3.5. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de muestra

El trabajo de investigación sobre la planificación de la infraestructura mínima de carga rápida para vehículos eléctricos está destinado a aquellas personas que circulan a lo largo de la ruta CIAUTO– Tababela, lo cual involucra a las ciudades de Ambato y Quito. Para ello, será necesario realizar una cierta cantidad de viajes sobre esta ruta, esto con la finalidad de obtener datos de conducción que permitan identificar las condiciones bajo las cuales se realizan los viajes.

Se toma como punto de referencia inicial a la empresa ensambladora de vehículos CIAUTO ya que se nos puso a total disposición el vehículo eléctrico SERES 3, el cual se pretende introducir al mercado y se requiere saber su comportamiento en carretera. Sin embargo, al mencionar que las condiciones son mínimas se toma como otro punto de referencia el vehículo eléctrico Kia Soul, esto debido a que es uno de los más vendidos en el país y su rango de autonomía en carretera es el más bajo. Se busca satisfacer las necesidades de aquellas personas que cuenten con un vehículo eléctrico y pretendan circular por esta ruta.

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

Es necesario seguir un proceso ordenado durante la aplicación de los métodos, técnicas y elección de instrumentos para la investigación como se lo muestra en la Ilustración 3-2. Esto con el fin de dar a conocer cuál fue el proceso aplicado en cada uno de los apartados. Este proceso puede ser realizado en cualquier tipo de vehículo, esto debido a que el software de simulación permite cambiar sus parámetros característicos (áreas, Cd, peso, capacidad, etc.). Por esta razón, se utilizan los vehículos eléctricos SERES 3 y Kia Soul.



Ilustración 3-2: Esquema metodológico para la planificación de la infraestructura mínima de carga rápida para vehículos eléctricos

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

3.6.1. Vehículo eléctrico DFSK SERES 3

Conocer las especificaciones del vehículo permite analizar cada una de las variables que se tomarán en cuenta durante el proceso de simulación, factores importantes tales como sus parámetros dinámicos (C_d , área frontal), capacidad de la batería, peso y el radio dinámico como se lo muestra en la Tabla 3-2, estos factores son independientes en cada vehículo. Es necesario ajustar el modelo matemático con las características de cada vehículo.

Tabla 3-2: Especificaciones técnicas y parámetros dinámicos del vehículo eléctrico DFSK SERES 3

DFSK eléctrico E3	Características
Parámetros dinámicos	
Coefficiente de arrastre (C_d)	0,35
Área frontal	2,22
Dimensiones	
Largo (mm)	4385
Altura (mm)	1850

Distancia entre Ejes (mm)	1650
Peso en orden de Marcha (MOM) / Peso Máx. Aut. (PMA) kgs	175 / 2065
Motor / Baterías	
Motor	Eléctrico 100%
Potencia Máxima (kW/CV)	120 / 163
Par Máximo (N.m)	300
Velocidad Máxima (km/h)	160
Baterías	Litio Ternario
Capacidad de la Batería (kWh)	53,61
Autonomía NEDC / WLTP en ciudad (km)	405 / 329
Tiempo de Carga (H)	Carga rápida 30 min. (20% - 80%). Carga Normal 8 h.
Transmisión	
Cambio	Automático
Carrocería	
Suspensión	Tracción delantera
Dirección	Control Electrónico
Rueda	255 / 55 R18
Seguridad	
Cinturón de seguridad ELR (3)	*
Airbag Frontal Doble (2)	*
Airbags laterales (2)	*
Airbags laterales de cortina (2)	*
Sistema de Antibloqueo de frenos (ABS + EBD) (EBA + BAS + BA)	*
Control de estabilidad y tracción (ESP + ESC) (TCS + ASR + TEC)	*

Fuente: (DFSK, 2021)

3.6.2. Vehículo eléctrico Kia Soul

El Kia Soul es uno de los vehículos eléctricos con mayor presencia en el país, esto debido a que fueron los primeros en ser introducidos al medio, es necesario conocer sus especificaciones técnicas como se lo muestra en la Tabla 3-3. Al ser uno de los vehículos eléctricos con menor capacidad de batería e ideal para rutas en carretera el trabajo debe estar enfocado a cubrir las necesidades de todas aquellas personas que cuentan con vehículos eléctricos similares.

Tabla 3-3: Especificaciones técnicas y parámetros dinámicos del vehículo eléctrico Kia Soul

Kia Soul EV	Características
Parámetros dinámicos	
Coeficiente de arrastre (Cd)	0,34
Área frontal	2,39
Dimensiones	
Largo (mm)	4140
Altura (mm)	1800
Distancia entre Ejes (mm)	2570
Peso en orden de Marcha (MOM) / Peso Máx. Aut. (PMA) Kgs	1492 / 1960
Motor / Baterías	
Motor	Eléctrico 100 [%]
Potencia Máxima (KW/CV)	81,3 / 111
Par Máximo (N.m)	285
Velocidad Máxima (Km/h)	145
Baterías	Iones de litio
Voltaje	360 [v]
Capacidad de la Batería (kWh)	27
Autonomía NEDC / EPA	212 / 150 [km]
Transmisión	
Cambio	Automático
Carrocería	
Suspensión	Tracción delantera
Dirección	Control Electrónico
Rueda	205 / 60 R16

Fuente: (automobile catalog, 2015)

3.6.3. Parque automotor en la provincia de Pichincha y Tungurahua

Es necesario conocer la cantidad de vehículos eléctricos que existe tanto en la provincia de Tungurahua como en la provincia de Pichincha, esto debido a que el inicio de los viajes es en CIAUTO hasta que se logre llegar al aeropuerto en Tababela. Estos datos serán obtenidos de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), pues al promover el ingreso de nuevas tecnologías automotrices contarán con una base de datos sobre la cantidad de vehículos eléctricos que se han comercializado en el país.

En la Ilustración 3-3 se puede observar una clasificación de las ventas de vehículos eléctricos realizadas desde el año 2017 hasta el año 2021 en las provincias de Tungurahua y Pichincha respectivamente. Al analizar minuciosamente la provincia y el año en conjunto con la cantidad de

vehículos Pichincha siempre es superior a Tungurahua en venta de vehículos. El año 2021 es aquel que muestra una total diferencia de adquisición de vehículos entre estas dos provincias. Es notorio que la prov. De Pichincha, al tener una mayor extensión territorial en comparación a Tungurahua va a contar con una mayor cantidad de vehículos eléctricos, otro factor será el reducir la cantidad de gases contaminantes y el fácil acceso a estos.

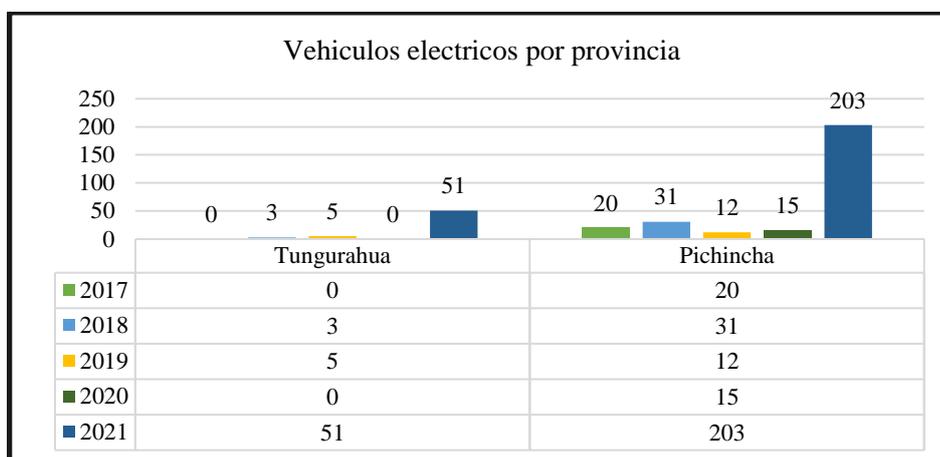


Ilustración 3-3: Venta de vehículos eléctricos por unidades en las principales provincias del Ecuador

Fuente: (AEADE, 2020, pp. 141-143; 2021, pp. 121-127)

En la Ilustración 3-4 se muestra la totalidad de vehículos eléctricos en el país desde el año 2017 hasta el 2021 ya sea por marca y modelo. Según datos proporcionados por la AEADE es notorio la preferencia del vehículo eléctrico Kia Soul (surcoreano) por parte de los usuarios ya sea por la economía del vehículo o las prestaciones que ofrece, no por muy debajo se encuentran los vehículos eléctricos de la marca Dayang (china) que se han ido posicionando en el mercado ecuatoriano por su bajo costo.

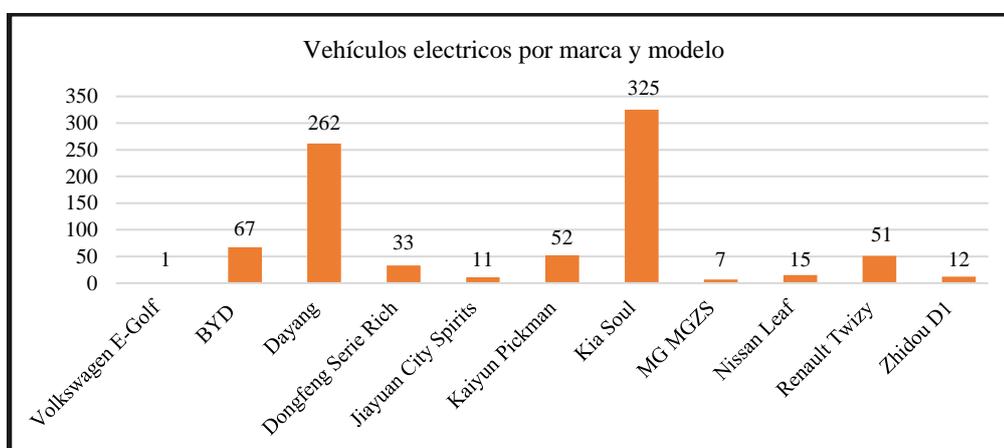


Ilustración 3-4: Cantidad de vehículos eléctricos por unidades

Fuente: (AEADE, 2020, pp. 141-143; 2021, pp. 121-127)

3.6.4. Ruta de estudio

La ruta propuesta se lo puede observar en la Ilustración 3-5, comprende una de las arterias viales más transitadas del país que es la carretera E35, conecta dos grandes ciudades como lo son Ambato y Quito, para luego incorporarnos a la Av. Simón Bolívar que diariamente tiene una afluencia de 60 mil vehículos (el Comercio, 2020). El último tramo de carretera a recorrer será incorporándonos a la Av. Ruta Viva que conecta Quito con los valles aledaños. Tenemos un recorrido total de 305 [km].

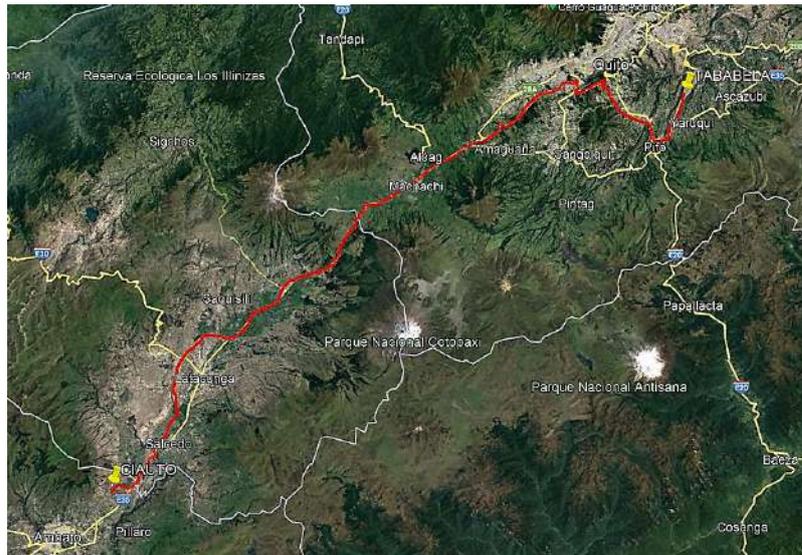


Ilustración 3-5: Ruta CIAUTO–Tababela

Fuente: (Relive B.V., 2022)

3.6.5. Instrumentación y recolección de datos de conducción

Para poder recolectar los datos de conducción se precisa de un teléfono inteligente que cuente con GPS y la aplicación Torque, esto debido a que es necesario el registro de latitud, longitud y velocidad en cada uno de los viajes, también se utiliza un dispositivo Vbox que recolectara los mismos datos con una mejor precisión.

3.6.5.1. Instrumentación

GPS celular

La utilización de dispositivos electrónicos mejora la precisión en la toma de datos, además que al ser de fácil accesibilidad y uso hacen de estos los indicados para este tipo de investigación, por lo cual utilizaremos un celular que cuente con conexión a bluetooth y GPS incorporado que se lo observa en la Ilustración 3-6. El uso de este sistema permitirá obtener valores de posición precisos,

esto se debe a que maneja un rango de erros entre ± 15 metros. El sistema GPS se basa en explotar la información proporcionada por un conjunto de 24 satélites aproximadamente en órbita que se encuentran alrededor de la Tierra (Ferrer, 2017, pp. 1928).



Ilustración 3-6: Celular utilizado para la toma de datos

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

Torque Pro

Para la sincronización de dispositivos es necesario haber instalado la aplicación Torque Pro en nuestro equipo móvil, será la encargada de mostrar en su interfaz información del vehículo en tiempo real como se lo muestra en la Ilustración 3-7, además, es necesario contar con un dispositivo OBD II que será conectado al vehículo de prueba, una vez vinculados y elegidas las opciones de datos requeridos no será necesario seguir manteniendo conectado el dispositivo OBD II. Esto debido a que solo se requiere de datos como longitud, latitud, altitud y velocidad del vehículo los cuales se registraran cuando la aplicación sea puesta en marcha («Shenzhen Chaoyue Technology Development Torque App Instructions», 2022, pp. 1-5).



Ilustración 3-7: Interfaz Aplicación Torque Pro

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

Vbox

El VBOX Sport es un dispositivo que permite analizar instantáneamente rendimiento de manejo, brindando acceso inmediato a los datos de latitud y posiciones satelitales. La duración de la batería es de seis horas y pesa solo 130 g (ALAVA INGENIEROS, 2013, pp. 1-4). No es un dispositivo complejo de utilizar, cuando se encuentra grabando los datos requeridos deberán encenderse unas luces de color verde como se lo muestra en la Ilustración 3-8.



Ilustración 3-8: Dispositivo VBOX

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

Una ventaja de este dispositivo es que se puede analizar múltiples conjuntos de datos simultáneamente en el área de trabajo, lo que garantiza que todos sus datos estén disponibles en una pantalla. Entonces, es necesario conocer las especificaciones del VBOX las cuales están detalladas en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4: Especificaciones de los equipos de medición utilizados para la recolección de datos de conducción

Velocidad		Posición	
Precisión	0,1 [km/h]	2D posición	5 [m] 95 [%] CEP*
Unidades	[km/h] o [MPH]	altura	5 [m]
Datos de subida	20 [Hz]		
Máxima velocidad	1800 [km/h]		
Mínima velocidad	0,1 [km/h]		
Resolución	0,01 [km/h]		
Bóveda		Aceleración	
Resolución	0,01 [°] ± 0,2 [°]	Precisión	0,5 [%]
Precisión		Máximo	4 [g]
		Resolución	0,01 [g]

Fuente: (ALAVA INGENIEROS, 2013, pp. 1-4)

3.6.5.2. Datos para recolectar

Se precisa de 4 datos que se observan en la Ilustración 3-9, para poder construir el ciclo de conducción, estos deben ser configurados en la aplicación Torque pro, los datos necesarios a recolectar son: altitud, latitud, longitud y la velocidad.



Ilustración 3-9: Interfaz del registro de datos

Fuente: («Shenzhen Chaoyue Technology Development Torque App Instructions», 2022).

3.6.5.3. Cronograma de recolección de datos

Es necesario elaborar un registro de cada uno de los viajes realizados para saber las condiciones bajo las cuales han sido obtenidos los ciclos de conducción, tanto en la ida como al regreso lo cual se lo puede apreciar en la Tabla 3-5 y Tabla 3-6 respectivamente. Aquí se detalla la fecha, el número de prueba, la distancia recorrida y el tiempo empleado.

Viajes de ida

Un total de 18 viajes realizados, hay ciertas variaciones en la distancia y el tiempo empleado en cada uno, esto se debe a consideraciones humanas y no a fallas en los dispositivos electrónicos. El registro de los viajes de ida se lo puedo observar en la Tabla 3-5.

Tabla 3-5: Estructura del cronograma para el registro de datos en ruta del viaje de ida

Registro en la ruta CIAUTO-Tababela			
Fecha	Numero de prueba	Distancia [km]	Tiempo [h]
09/09/2022	1	152,871	2,107
22/09/2022	2	152,924	2,161
23/09/2022	3	152,291	2,147
03/11/2022	4	152,924	2,131
04/11/2022	5	152,719	2,121
19/11/2022	6	152,932	2,705
20/11/2022	7	152,748	2,708
26/11/2022	8	152,724	1,955
27/11/2022	9	152,620	1,962
28/11/2022	10	152,450	2,246
03/12/2022	11	152,620	2,321
04/12/2022	12	152,680	2,185
10/12/2022	13	153,500	3,345
11/12/2022	14	152,430	1,974
26/12/2022	15	152,470	2,321
27/12/2022	16	152,500	1,993
28/12/2022	17	152,670	2,280
29/12/2022	18	152,680	3,231

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

Viajes de regreso

El registro para los viajes de ida y regreso es idéntico, con igual número de variables consideradas. Existe diferencia entre los tiempos por factores relacionados a la señalización y tráfico en

carretera. Por lo tanto, la distancia recorrida no es un factor que influye en el tiempo empleado para cada viaje, se puede realizar una comparativa entre las distancias obtenidas en la ruta como se lo muestra en la Tabla 3-6 y notar que el tiempo no es directamente proporcional.

Tabla 3-6: Estructura del cronograma para el registro de datos en ruta del viaje de regreso

Registro en la ruta Tababela- CIAUTO			
Fecha	Numero de prueba	Distancia [km]	Tiempo [h]
09/09/2022	1	151,600	1,960
22/09/2022	2	151,770	1,970
23/09/2022	3	151,840	1,962
03/11/2022	4	151,670	1,937
04/11/2022	5	151,990	1,933
19/11/2022	6	151,630	1,889
20/11/2022	7	151,960	1,689
26/11/2022	8	152,570	1,922
27/11/2022	9	152,180	1,930
28/11/2022	10	152,300	2,360
03/12/2022	11	152,540	2,480
04/12/2022	12	152,380	2,252
10/12/2022	13	153,570	1,818
11/12/2022	14	152,300	1,944
26/12/2022	15	152,370	2,571
27/12/2022	16	152,320	1,892
28/12/2022	17	152,300	2,269
29/12/2022	18	152,180	1,771

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

3.6.6. Métodos para la obtención de parámetros de conducción

Para construir los parámetros de conducción y simularlos en el software es necesario corregir las altitudes obtenidas con los instrumentos de recolección de datos para lo cual se utilizará el cálculo de ganancia de altitud positiva acumulada y GPS Visualizer. Además, se debe tomar en cuenta todas las fuerzas que se oponen al movimiento la cuales se analizaran en la dinámica del vehículo.

Finalmente, el método ponderado permite elegir el ciclo de conducción representativo a través de los parámetros ya encontrados y calculados. A continuación, se detalla en orden cronológico cada uno de los pasos seguidos durante este proceso.

3.6.6.1. Cálculo de ganancia de altitud positiva acumulada

Para lograr realizar el cálculo de la ganancia de altitud positiva acumulativa de un trayecto de RDE es necesario seguir las tres fases del procedimiento:

Examen y verificación fundamental de la calidad de los datos

Es recomendable corregir los datos interpolados si se presenta la siguiente condición:

$$|h_{GPS}(t) - h_{map}(t)| > 40m \quad (1)$$

La corrección de la altitud se aplicará de forma que:

$$h(t) = h_{map}(t) \quad (2)$$

Donde:

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

$h_{GPS}(t)$ = Altitud del vehículo medida con GPS en el punto de datos t [msnm]

$h_{map}(t)$ = Altitud del vehículo según el mapa topográfico en el punto de datos t [msnm]

Fórmulas obtenidas desde (Unión Europea, 2016, pp. 14-22):

Corrección de los datos de altitud instantánea del vehículo

$$|h(t) - h(t - 1)| > \frac{v(t)}{3,6} * \sin 45^\circ \quad (3)$$

La corrección de la altitud se aplicará de forma que:

$$h_{corr}(t) = h_{corr}(t - 1) \quad (4)$$

Donde:

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

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

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

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

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

Una vez finalizado este procedimiento de corrección se cuenta con un conjunto de datos de altitud válidos, mismos que serán utilizados para el cálculo final de la ganancia de altitud positiva acumulativa. Fórmulas obtenidas desde (Unión Europea, 2016, pp. 14-22):

Calculo final de la ganancia de altitud positiva acumulativa

- **Establecimiento de una resolución espacial uniforme**

La distancia total $d_{tot}[m]$ cubierta por el trayecto será determinada al sumar las distancias instantáneas d_i . La distancia instantánea d_i es determinada de la siguiente manera:

$$d_i = \frac{v_i}{3,6} \quad (5)$$

Donde:

d_i = distancia instantánea [m]

v_i = velocidad instantánea [km/h]

La ganancia de altitud acumulativa será calculada a partir de datos mediante una resolución espacial constante de 1m, se debe empezar por la primera medición al inicio de un trayecto $d(0)$. Los puntos de datos discretos con una resolución de 1m se conocen como puntos de ruta y se caracterizan por un valor de distancia específico d (0,1,2,3m) y su altitud $h(d)$ [msnm]

$$h_{int}(d) = h_{corr}(0) + \frac{h_{corr}(1) - h_{corr}(0)}{d_0 - d_1} \times (d - d_0) \quad (6)$$

Donde:

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

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

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

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

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

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

Las fórmulas fueron obtenidas de (Unión Europea, 2016, pp. 14-22):

- **Suavizado adicional de las altitudes**

Los datos de altitud que han sido obtenido respecto a cada punto de la ruta discreto serán suavizados siguiendo un procedimiento de dos fases, d_a y d_e son los puntos de ruta primero y último. La primera ronda de suavizado se aplicará de la siguiente manera:

$$road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d + 200m) - h_{int}(d_a)}{(d + 200m)} \text{ para } d \leq 200m \quad (7)$$

$$road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d + 200m) - h_{int}(d - 200m)}{(d + 200m) - (d - 200m)} \text{ para } 200m < d < (d_e - 200m) \quad (8)$$

$$road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d_e) - h_{int}(d - 200m)}{d_e - (d - 200m)} \text{ para } d \geq (d_e - 200m) \quad (9)$$

$$h_{int,sm,1}(d) = h_{int,sm,1}(d - 1m) + road_{grade,1}(d), d = d_a + 1 a d_e \quad (10)$$

$$h_{int,sm,1}(d_a) = h_{int}(d_a) + road_{grade,1}(d_a) \quad (11)$$

Donde:

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

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

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

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

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

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

Para la segunda ronda de suavizado se deberá aplicar las ecuaciones obtenidas de (Unión Europea, 2016, pp. 14-22):

$$road_{grade,2}(d) = \frac{h_{int,sm,1}(d + 200m) - h_{int,sm,1}(d_a)}{(d + 200m)} \text{ para } d \leq 200m \quad (12)$$

$$road_{grade,2}(d) = \frac{h_{int,sm,1}(d + 200m) - h_{int,sm,1}(d - 200m)}{(d + 200m) - (d - 200m)} \text{ para } 200m < d < (d_e - 200m) \quad (13)$$

$$road_{grade,2}(d) = \frac{h_{int,sm,1}(d_e) - h_{int,sm,1}(d - 200m)}{d_e - (d - 200m)} \text{ para } d \geq (d_e - 200m) \quad (14)$$

Donde:

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

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

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

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

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

• Cálculo del resultado final de altitudes

La ganancia de altitud positiva acumulativa de un trayecto será calculada integrando todas las pendientes positivas de la carretera interpoladas y suavizadas, es decir, $road_{grade,2}(d)$. Es conveniente normalizar el resultado por la distancia total del ensayo d_{tot} y expresarlo en metros de ganancia de altitud acumulativa por cada cien kilómetros de distancia (Unión Europea, 2016, pp. 14-22).

3.6.6.2. Dinámica del vehículo

En el análisis del ciclo de conducción, es importante conocer la dinámica del vehículo, esto debido a que hay factores como el área, tipo de neumáticos, calzada, condiciones climáticas, etc. que generan pérdidas en el rendimiento de un vehículo. La dinámica es el punto de partida para identificar las principales fuerzas que intervienen y se oponen al movimiento del vehículo. Con ello se logra determinar un comportamiento real ya que el vehículo se expone a diferentes condiciones de conducción.

Radio dinámico

El radio de rodadura se puede definir como la distancia entre una línea recta que pasa por el centro del neumático y la intersección del pivote de la rueda y el suelo. El radio de balanceo es positivo si la intersección de los pivotes de las ruedas está en el interior del vehículo en relación con el centro de la huella del neumático. Esto es más común en camiones y vehículos de tracción trasera. Si la intersección mira hacia afuera, estamos hablando de radios negativos. Debe recordarse que el pivote es la línea sobre la cual gira la rueda (Gillespie, 1992).

$$rd = \left(\frac{2 * ancho * altura / 100 + \emptyset \times 25,4}{2000} \right) \times 0,98 \quad (15)$$

Donde:

rd = radio dinámico [m]

\emptyset = diámetro del neumático [in]

Fuerza en la rueda

Los cálculos de la fuerza a las ruedas son el resultado de la suma de cuatro fuerzas que se oponen al movimiento: resistencia al arrastre, resistencia a la inercia, resistencia a la rodadura y resistencia a la pendiente como se muestra en la Ilustración 3-10. Estas fuerzas son parte de los cálculos de energía y potencia del vehículo. La demanda de energía se puede analizar para comprender qué fuentes de energía se intervienen con mayor frecuencia en el ciclo y asignar una ponderación calculada para pulir los resultados (Gillespie, 1992).

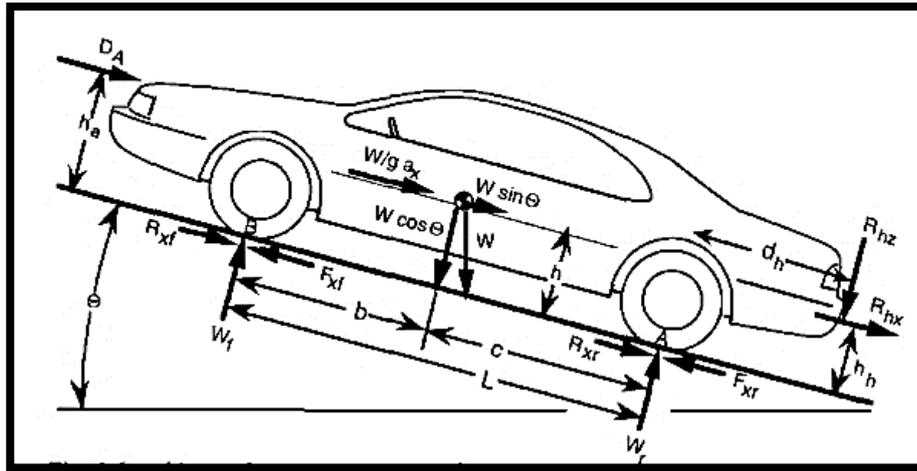


Ilustración 3-10: Fuerzas a las que está sometido un vehículo en ruta

Fuente: (Gillespie, 1992, p. 11).

Estas son las fórmulas que ayudan a representar cada una de las fuerzas que modifican el comportamiento de los vehículos durante la conducción (Gillespie, 1992).

$$F_x = F_d + R_x + R_g + R_i \quad (16)$$

Donde:

F_x = fuerza en la rueda [N]

F_d = resistencia al arrastre [N]

R_x = resistencia a la rodadura [N]

R_g = resistencia a la pendiente [N]

R_i = resistencia a la inercia [N]

$$F_d = \frac{1}{2} \times A_f \times \rho_a \times C_d (V_{(m/s)})^2 \quad (17)$$

Donde:

F_d = resistencia al arrastre [N]

A_f = área frontal [m²]

ρ_a = densidad del aire [kg/m³]

C_d = coeficiente aerodinámico

V = velocidad [m/s]

$$R_x = M \times g \times f_r \times \cos(\theta_n) \quad (18)$$

Donde:

R_x = resistencia a la rodadura [N]

M = masa [kg]

f_r = coeficiente de resistencia a la rodadura

θ_n = pendiente [°]

$$fr = 0,0136 + 0,40 \times 10^{-7} \times V^2 [-] \quad (19)$$

Donde:

V = velocidad [km/h]

$$R_g = M \times g \times \sin(\theta) \quad (20)$$

Donde:

R_g = resistencia a la pendiente [N]

M = masa [kg]

θ_n = pendiente [°]

$$R_i = M \times a \quad (21)$$

Donde:

R_i = resistencia a la inercia [N]

M = masa [kg]

a = aceleración [m/s²]

Coefficiente de arrastre

El coeficiente de arrastre es una medida adimensional. Es la fuerza que impide que el cuerpo avance por el aire. En particular, la componente de dicha fuerza en la dirección de la velocidad relativa del cuerpo con respecto al entorno (Gillespie, 1992).

$$dV_C = \frac{-(F_d + R_x + R_g) \times dt}{M} \quad (22)$$

Donde:

dV_C = coeficiente de arrastre

F_d = resistencia al arrastre [N]

R_x = resistencia a la rodadura [N]

R_g = resistencia a la pendiente [N]

dt = diferencial del tiempo [s]

M = masa del cuerpo [kg]

Área frontal del automóvil

Es necesario contar con el valor del área frontal del vehículo porque es un parámetro necesario para obtener la resistencia y el coeficiente aerodinámicos. Al no contar con este dato en la ficha técnica del vehículo es recomendable realizar el modelado de la sección frontal, en este método se analiza una imagen frontal del vehículo y se modela en un programa de dibujo profesional (SolidWorks). Partimos con una imagen base del vehículo la cual escalamos para que tenga la

distancia que dicta el manual, en este caso de 1580 [mm] entre llantas. Se procede a dibujar el contorno los más cercano posible tratando de mantener las curvas del vehículo.

El software SolidWorks con sus herramientas nos permitirá visualizar el valor del área frontal del vehículo la cual está en la Ilustración 3-11. Para esto es necesario contar con una vista frontal del vehículo, esta será copiada en el área de trabajo del software donde se procederá a dibujar el contorno de la vista, esta incluirá los neumáticos y retrovisores.

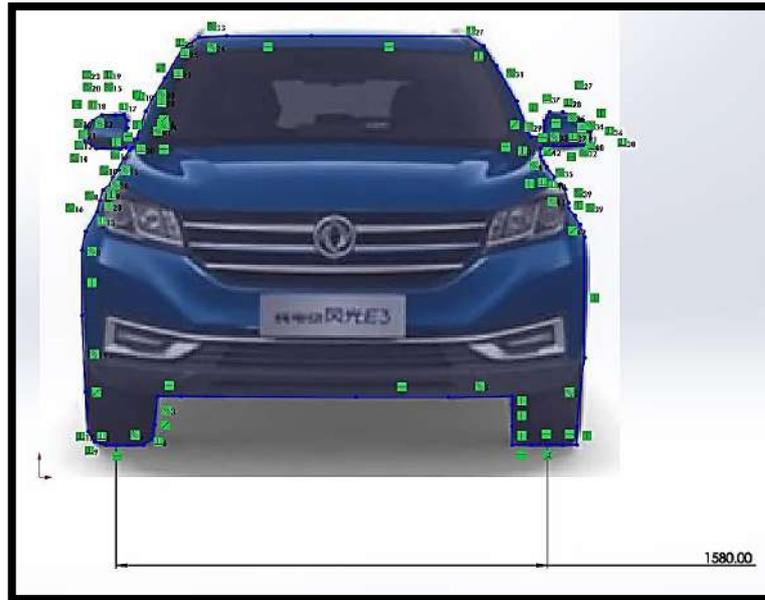


Ilustración 3-11: Obtención del área frontal del vehículo mediante software

Fuente: (SolidWorks, 2022)

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

El área frontal del vehículo es de $22227,63 \text{ mm}^2$ para uso del cálculo utilizaremos su conversión a $2,22 \text{ m}^2$, esto lo podemos apreciar en la Ilustración 3-12, obtenida del software de simulación ya mencionado.

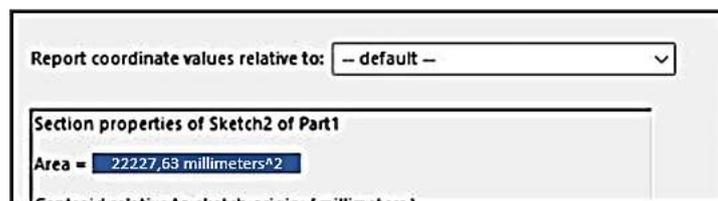


Ilustración 3-12: Valor del área frontal del vehículo

Fuente: (SolidWorks, 2022)

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

Coefficiente de resistencia a la rodadura

Es otro factor en contra del avance del vehículo. En el caso de la resistencia a la rodadura, el coeficiente adimensional que afecta el avance del automóvil en relación con el neumático y el suelo (f_r). La cantidad de variables involucradas en el cálculo del coeficiente de resistencia a la rodadura complica su determinación (Gillespie, 1992). Se tiene en cuenta el tipo de neumáticos y la velocidad del vehículo para determinar dicho valor como se lo observa en la Ilustración 3-13.

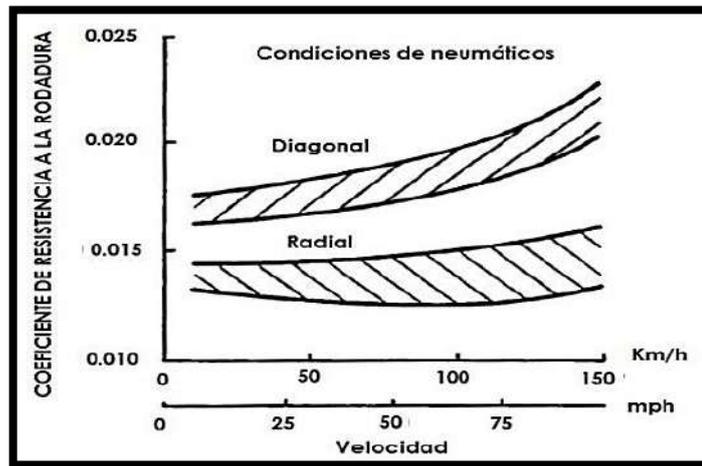


Ilustración 3-13: Velocidad vs coeficiente de resistencia a la rodadura

Fuente: (Wong, 2001)

Densidad del aire

En las condiciones atmosféricas, la densidad del aire es una variable en la que intervienen factores ambientales como la presión, la temperatura y la humedad. Conociendo las condiciones de operación en un sitio dado, es factible su uso la cual se deriva de la ley de los gases ideales (Cengel, Boles, 2009).

$$P \times V = m \times R \times T \quad (23)$$

Donde:

P = presión atmosférica [Pa]

V = volumen [m^3]

m = masa [kg]

R = constante universal de los gases [$J/kg \times ^\circ K$]

T = temperatura [$^\circ K$]

La densidad del aire se obtiene simplificando la masa a volumen para calcular la densidad en función de la presión y la constante universal de los gases y la temperatura.

$$\rho_a = \frac{p}{R \times T} \quad (24)$$

Donde:

ρa = densidad atmosférica [Kg/m^3]

p = presión absoluta [kPa]

R = constante universal de los gases [$\text{J}/\text{kg} \times ^\circ\text{K}$]

T = temperatura [$^\circ\text{K}$]

3.6.6.3. Cálculo de potencias y energías

Hay que entender que la potencia es la tasa a la que se usa o produce la energía y se puede medir en cualquier momento porque siempre tiene el mismo valor. La energía es la capacidad de hacer que las cosas se muevan y debe medirse durante un cierto período de tiempo (un segundo, una hora, un año).

El poder es a la energía lo que la velocidad es al espacio. Es decir, cuanto más rápido se mueve un objeto, más espacio recorre en un período de tiempo. Asimismo, cuanto más energía desarrolla un sistema, más energía puede gastar durante ese tiempo. Entonces la energía de un sistema se puede transformar, pero si no tiene suficiente energía para nuestras necesidades, es inútil. El cálculo de potencias y energías se debe realizar con todas las fuerzas que actúan en la rueda:

$$Fd, Rx, Rg, Ri$$

Potencia de la fuerza de arrastre [kW]

$$Fd = \frac{V \times Fd}{1000} \quad (25)$$

Donde:

V = velocidad

Fd = fuerza de arrastre

Energía de la fuerza de arrastre [kWh]

$$E.Fd = \frac{P.Fd \times \Delta t}{3600} \quad (26)$$

Donde:

$P.Fd$ = potencia de la fuerza de arrastre

Δt = variación del tiempo

Potencia de la resistencia a la rodadura [kW]

$$P.Rx = \frac{V \times Rx}{1000} \quad (27)$$

Donde:

V = velocidad

Rx = resistencia a la rodadura

Energía de la fuerza de rodadura [kWh]

$$E.Rx = \frac{P.Rx \times \Delta t}{3600} \quad (28)$$

Donde:

$P.Rx$ = potencia de la resistencia a la rodadura

Δt = variación de tiempo

Potencia de la resistencia a la pendiente [kW]

$$P.Rg = \frac{V \times Rg}{1000} \quad (29)$$

Donde:

V = velocidad

Rg = resistencia a la rodadura

Energía de la resistencia a la pendiente [kWh]

$$E.Rg = \frac{P.Rg \times \Delta t}{3600} \quad (30)$$

Donde:

$P.Rg$ = potencia de la resistencia a la rodadura

Δt = variación de tiempo

Potencia de la resistencia a la inercia [kW]

$$P.Ri = \frac{V \times Ri}{1000} \quad (31)$$

Donde:

V = velocidad

Ri = resistencia a la inercia

Energía de la resistencia a la inercia [kWh]

$$E. Ri = \frac{P. Ri \times \Delta t}{3600} \quad (32)$$

Donde:

$P. Ri$ = potencia de la resistencia a la inercia

Δt = variación de tiempo

Todos los cálculos de potencia y energía se realizan cada instante con todos los datos obtenidos en los perfiles de altitudes de cada viaje, que nos entrega las pendientes en cada segundo. Se debe tomar en cuenta los datos de pendientes negativas que nos contribuirán con la regeneración de energía

3.6.6.4. Método ponderado

Para cubrir las necesidades del ciclo de conducción, es conveniente utilizar el método directo porque involucra múltiples datos de las curvas experimentales. El principio de selección de ciclos es el siguiente: determinar el ciclo representativo a partir de la media ponderada.

El promedio ponderado es un análisis estadístico que consiste en recopilar datos o muestras para su posterior clasificación y representación por parámetros agregados, es decir, variables características para el análisis de muestras. El siguiente paso es asignar pesos a los parámetros con la función de comparación en función de la media de los parámetros de la muestra. De esta forma, se elige la ruta que más se acerca a la media de las rutas o muestras en sus parámetros de resumen (Dávalos Figueroa, 2017, pp. 3-7).

Los ciclos de conducción resultantes de una muestra de curvas experimentales se obtuvieron comparando la variable representativa más influyente de cada curva experimental con la media de dicha variable en todas las curvas experimentales con pesos preasignados. Para el análisis de la media ponderada se utilizarán cinco variables: resistencia inercial, resistencia a la rodadura, resistencia aerodinámica y resistencia a la pendiente, cada una de ellas multiplicada por la velocidad para obtener el gasto energético de cada elemento para obtener la energía total. Suma de energía en la rueda

Las fórmulas y ecuaciones utilizadas en este trabajo son parte del trabajo (Astudillo Bravo, 2016, pp. 15-18) en: “Obtención de ciclos de conducción para la flota de buses urbanos del cantón Cuenca”. Esto se debe a que estos trabajos tienen un objetivo similar.

La diferencia más pequeña en las medias ponderadas se utiliza para evaluar las muestras y seleccionar la muestra que corresponde a la desviación más pequeña del parámetro de resumen

en el análisis de su media (Astudillo Bravo, 2016, pp. 15-18). Está representado mediante la siguiente ecuación:

$$EC = Arg \left\{ \min_j \left(\sum w_i |P_{ij} - \bar{P}_i| \right) \right\} \quad (33)$$

Con todas las energías obtenidas en cada viaje es posible realizar el método de promedios ponderados para seleccionar la ruta representativa que será la base en el software de simulación.

3.6.7. Modelo de simulación para el dimensionamiento de estaciones de carga

Para la construcción del modelo de simulación se utilizará el software MATLAB, específicamente su apartado de Simulink pues se requiere conocer el comportamiento dinámico de un sistema. Las ecuaciones necesarias para el cálculo de la dinámica del vehículo, la potencia de operación y, el estado de carga de la batería y consumo del vehículo eléctrico deben ser asignadas en la programación de cada uno de los bloques que componen el sistema.

3.6.7.1. Modelación dinámica del vehículo

El consumo energético de un vehículo eléctrico es determinado a partir de ciertas variables tales como: velocidad, aceleración, pendiente, inercia y especificaciones del vehículo (Alegre, 2017, pp. 24-280). Es así como surge la potencia demandada en la rueda en cada instante de tiempo, definida bajo la siguiente expresión:

$$P_x = F_x \times V \quad (34)$$

Donde:

P_x = potencia a la rueda necesaria para romper la inercia del vehículo [W]

F_x = fuerza de tracción [N]

V = velocidad del vehículo [m/s]

Todas las partes dinámicas del vehículo se deben representar en el diagrama para minimizar el error, a continuación, se detalla cada una de las entradas para la simulación del vehículo (Wong, 2001):

$$F_x = \gamma_m \times m \times a + \sum R \quad (35)$$

Donde:

γ_m = factor de masa

m = masa del vehículo [kg]

a = aceleración del vehículo $\frac{dv}{dt}$ [m/s²]

ΣR = fuerzas que se oponen al movimiento [N].

Entre las fuerzas que se oponen al movimiento están la fuerza de arrastre presente en la ecuación (3), la resistencia a la rodadura detallada en la ecuación (4) y la resistencia gravitacional en la ecuación (5). Se tiene la particularidad que el coeficiente de resistencia a la rodadura f_r puede ser estimado con respecto a la velocidad (V) medida en [km/h] a partir de la ecuación (5).

El factor de masa se lo puede obtener de la siguiente manera:

$$\gamma_m = 1,04 + 0,0025 \times \xi_o^2 [-] \quad (36)$$

Donde:

ξ_o = relación de reducción global de la transmisión, incluido la caja y el eje motriz

También se considera:

$$d = \int_0^t v \times dt \quad (37)$$

Donde:

d = distancia recorrida [m]

Utilizando Simulink y cada una de las expresiones matemáticas mencionadas se consigue desarrollar el modelo de simulación. Sus variables de entrada V ; θ ; y ξ_o logrando obtener la distancia total recorrida d , la aceleración a y P_x para cada instante de tiempo.

3.6.7.2. Modelación de la potencia de operación del vehículo eléctrico

Mientras el vehículo eléctrico logre recuperar o reaprovechar la energía a través de su sistema de freno regenerativo, lograra mejorar su autonomía. Entonces, la potencia tractiva de un vehículo eléctrico será positiva cuando el vehículo es impulsado por su motor eléctrico, por otra parte, será considerada negativa durante los periodos de frenado (Gao et al., 2017, pp. 588-600). Cuando se acciona el freno la energía que se encuentra almacenada como energía cinética y energía potencial se empieza a disipar, por lo tanto, los sistemas de reaprovechamiento de energía recuperan parte de dicha energía. Con esta información, se asume que la regeneración de energía del frenado se producirá siempre que la aceleración del vehículo no supere el límite entre frenadas normales y de emergencia. De igual manera cuando la velocidad esté por debajo de un valor especificado pues la regeneración cinética sería casi nula.

Para poder establecer una diferencia entre el estado de carga y descarga es necesario establecer condiciones, según (Gao et al., 2017, pp. 588-600) debe cumplirse que:

$$\forall(P_x > 0) \quad (38)$$

Entonces, se procede a utilizar la siguiente expresión:

$$P_{dch} = P_{acc} + \frac{P_x}{\eta_{wh} \times \eta_{fd} \times \eta_{mot} \times \eta_{bat}} \quad (39)$$

Donde:

P_{dch} = potencia de descarga [W]

P_{acc} = potencia de accesorios del vehículo eléctrico [W]

η_{wh} = eficiencia del neumático [%]

η_{fd} = eficiencia de la transmisión [%]

η_{mot} = eficiencia del motor eléctrico [%]

η_{bat} = eficiencia de la batería [%]

En el caso que el vehículo eléctrico se encuentre a ralentí sin avanzar, es necesario aplicar la siguiente condición:

$$\forall(P_x = 0) \quad (40)$$

En este caso, se establece que:

$$P_{dch} = P_{acc} \quad (41)$$

La siguiente condición:

$$\forall(P_x < 0) \cap \{(a > a_{max}) \cup (V < V_{min})\} \quad (42)$$

Donde:

a_{max} = desaceleración máxima

V_{min} = velocidad mínima

Es utilizada para lograr diferenciar las frenadas rápidas cuando se excede una determinada desaceleración máxima o cuando la velocidad a la que se encuentre circulando sea menor a una velocidad mínima; cuando se cumpla dicha condición se utilizara la ecuación (41) para obtener la potencia de descarga en cada instante de tiempo.

Ahora, un evento de freno regenerativo de produce cuando se cumple la siguiente condición:

$$\forall(P_x < 0) \cap (a < a_{max}) \cap (V > V_{min}) \quad (43)$$

Para lograr determinar la potencia de carga a razón del frenado regenerativo, se utilizará la siguiente expresión según (Travesset-Baro, Rosas-Casals y Jover, 2015, pp. 16-26; Alegre, 2017, pp. 24-280; Fiori, Ahn y Rakha, 2016, pp. 257-268):

$$P_{ch} = |P_x| \times \eta_{wh} \times \eta_{fd} \times \eta_{mot} \times \eta_{bat} - P_{acc} \quad (44)$$

Donde:

P_{ch} = potencia de carga [W]

El resultado de este cálculo será colocado en un bloque de simulación, este llevará el nombre de potencia de operación y será obtenido bajo la siguiente ecuación:

$$P_{ope} = P_{dch} + P_{ch} \quad (45)$$

Donde:

P_{ope} = potencia de operación en cada instante de tiempo [W]

P_{ch} = potencia de carga [W]

P_{dch} = potencia de descarga [W]

3.6.7.3. Simulación del estado de carga de la batería (SOC) y consumo del vehículo eléctrico

Este apartado es necesario para evaluar si un vehículo eléctrico va a lograr realizar o completar un determinado viaje, así que es necesario estimar el comportamiento del estado de carga de la batería a lo largo de la ruta. El rango de operación del SOC debe mantenerse entre 20-95 [%] con la finalidad de salvaguardar la seguridad del sistema del bloque de baterías (Fiori, Ahn y Rakha, 2016, pp. 257-268). Para lograr determinar el SOC de la batería se utilizará la siguiente ecuación:

$$SOC = SOC_{ini} - \frac{\int_0^t (P_{ope}) dt}{C_{bat}} \quad (46)$$

Donde:

SOC = estado de carga de la batería [%]

SOC_{ini} = estado de carga de la batería al inicio del recorrido [%]

C_{bat} = capacidad de la batería [kWh]

P_{ope} = potencia de operación en cada instante de tiempo [W]

Según la información obtenida en (Fiori, Ahn y Rakha, 2016, pp. 257-268) el consumo energético del vehículo eléctrico puede ser determinado mediante la siguiente formula:

$$C_E = \frac{1}{3.600} \times \left(\int_0^t (P_{ope}) dt \right) \times \frac{1}{d} \quad (47)$$

Donde:

C_E = consumo energético $\left[\frac{W}{km} \right]$

P_{ope} = potencia de operación en cada instante de tiempo [W]

Esto deberá ser evaluado con respecto a la distancia total d recorrida durante la simulación.

Finalmente, para obtener la demanda energética para todo el ciclo se requiere la aplicación de la siguiente expresión:

$$D_E = \frac{1}{3'600.000} \times \left(\int_0^t (P_{ope}) dt \right) \quad (48)$$

Donde:

D_E = demanda energética [kWh]

P_{ope} = potencia de operación en cada instante de tiempo [W]

En la Ilustración 3-14 se observa el sistema de simulación completo para el dimensionamiento de las estaciones de carga. El bloque que hace referencia al cálculo dinámico requiere como entrada los datos de conducción de ida y regreso los cuales son proporcionados por una base de datos,

luego se requiere de los parámetros del neumático y de la transmisión. Los datos obtenidos serán las variables de entrada hacia el inversor y de este saldrán variables hacia la batería. Por último, los datos proporcionados por el bloque de la batería como el SOC y la energía consumida ingresarán al análisis de rendimiento cerrando así el modelo de programación.

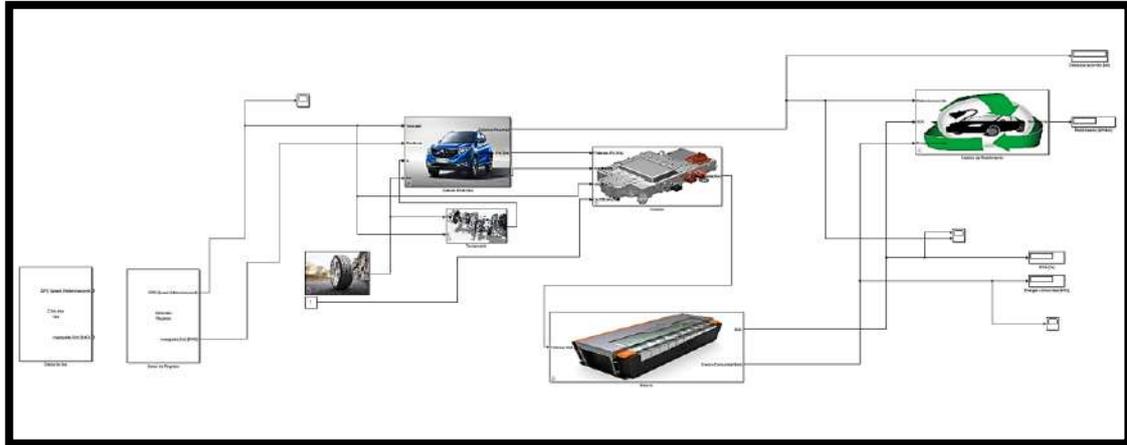


Ilustración 3-14: Modelo de simulación para el dimensionamiento de estaciones de carga

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

- **Calculo dinámico**

Implica cada uno de los factores físicos relacionados con el vehículo, ya sea su área, peso, coeficiente aerodinámico, etc. Variables utilizadas para la validación del modelo, estos parámetros ingresados generaran variables de salida como la distancia recorrida, potencia, etc. Esto se lo aprecia en la Ilustración 3-15.



Ilustración 3-15: Entradas dinámicas para la simulación del vehículo

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

- **Base de datos de la ruta establecida**

Tanto el viaje de ida como el de regreso proporcionaran datos de la velocidad y pendiente como se visualiza en la Ilustración 3-16. Estos datos serán utilizados de acuerdo a la simulación requerida.

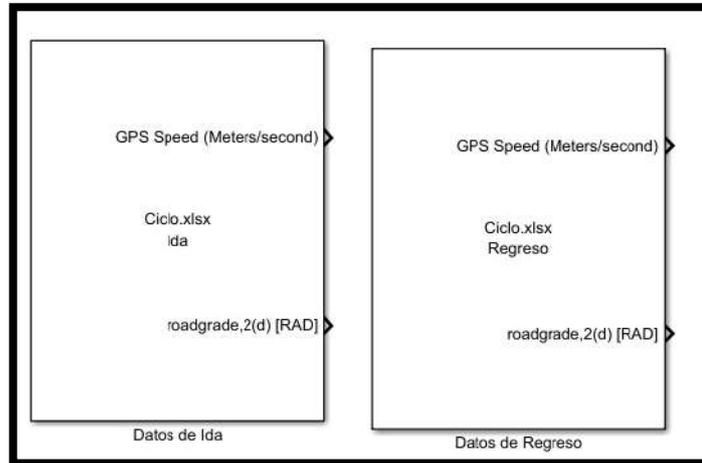


Ilustración 3-16: Simulación ciclos de conducción

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

- **Ruedas**

Dinámicamente todo cuerpo en contacto con otro cuerpo presenta una pérdida por fricción, por esta razón es necesario ingresar el ancho del neumático, su altura y diámetro, está representada por la Ilustración 3-17 y tomada en cuenta para la simulación. El radio dinámico será la variable de salida.



Ilustración 3-17: Simulación de la rueda

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

- **Transmisión**

La Ilustración 3-18 muestra la complejidad de una transmisión, estas no logran llevar el total de la energía a las ruedas por lo cual cuentan con eficiencias de entre el 90-95 [%] dependiendo del vehículo (Fiori, Ahn y Rakha, 2016, pp. 257-268). Por ello, es necesario conocer el valor de las relaciones de transmisión en cada una de las marchas a las que se encuentra.

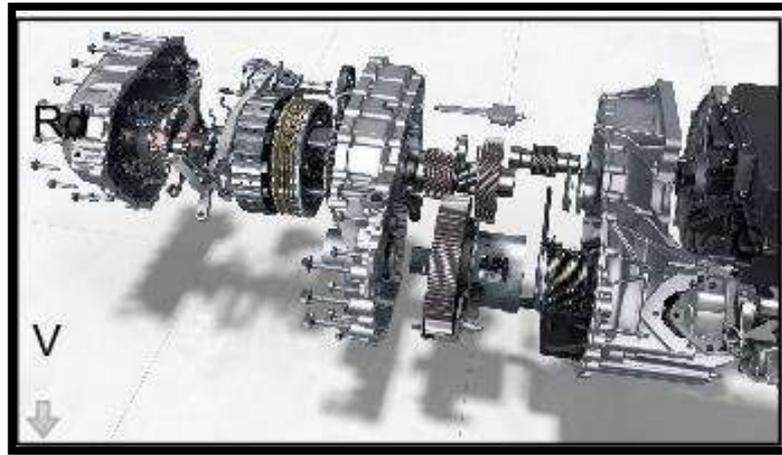


Ilustración 3-18: Simulación de la transmisión

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

- **Inversor**

Al ser un elemento que se encarga de transferir la energía de un lugar a otro es necesario considerar que variables ingresan como se lo muestra en la Ilustración 3-19. Para el cálculo de potencia será necesario ingresar valores correspondientes al rendimiento neumático, de transmisión, motor, batería y accesorios. Además, hay que considerar valores de aceleración máxima y velocidad mínima para la regeneración.

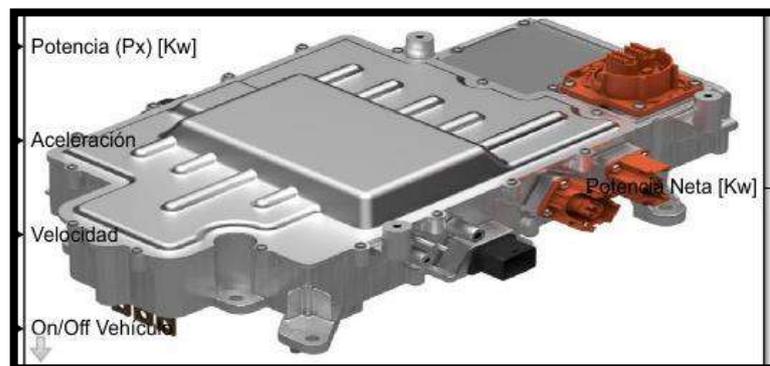


Ilustración 3-19: Simulación del inversor

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

- **Batería**

Las especificaciones del fabricante dictaran la capacidad de una batería la cual no siempre es 100 [%] eficiente, en la Ilustración 3-20 se visualiza la complejidad de este tipo de baterías, en la actualidad los vehículos eléctricos a estudiar están en un rango de autonomía entre 80-92 [%] dependiendo sus componentes (Fiori, Ahn y Rakha, 2016, pp. 257-268). Aquí se debe ingresar el porcentaje de SOC al cual se pretende realizar la simulación y la capacidad de la batería del vehículo eléctrico.



Ilustración 3-20: Simulación de la batería

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

- **Análisis de rendimiento**

Para poder analizar los resultados, se armará en el diagrama el análisis de rendimiento en donde se encuentra los resultados de la simulación. Las variables de entrada (Distancia recorrida, SOC y Energía consumida) serán analizadas y terminarán determinando el rendimiento [kWh] como se muestra en la Ilustración 3-21.

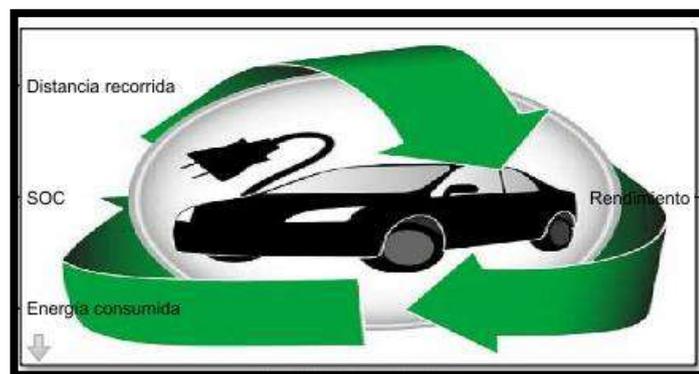


Ilustración 3-21: Análisis de rendimiento

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

3.6.8. Estimación de los puntos de carga

Dada la relevancia de la disponibilidad de instalaciones de carga a lo largo de las principales redes de carreteras para permitir la conducción de EV de larga distancia, los principales mercados como China, la Unión Europea y los Estados Unidos han aumentado significativamente sus ambiciones de instalar instalaciones de carga rápida a lo largo de las carreteras como se observa en la Ilustración 3-22. La distancia entre las estaciones de carga es de entre 45-115 [km]. Es el país con la distancia de estación más corta es China, 45 [km]. Según un estudio realizado en 2014 para determinar la distancia mínima entre estaciones de carga para el vehículo eléctrico (Electric Vehicle Charging Station por sus siglas en ingles EVSE) en las carreteras españolas, se determinó que entre 61,5-67,65 [km] es la distancia óptima, teniendo en cuenta la autonomía del vehículo y algunos otros factores como el clima, Factores como el tipo de conducción, la velocidad media, etc. (International Energy Agency, 2018). Se debe tener en cuenta la realidad de los países a comparar, tanto en geografía como la distancia entre sus ciudades. Se utilizarán como referente para la estimación final de las estaciones de carga.

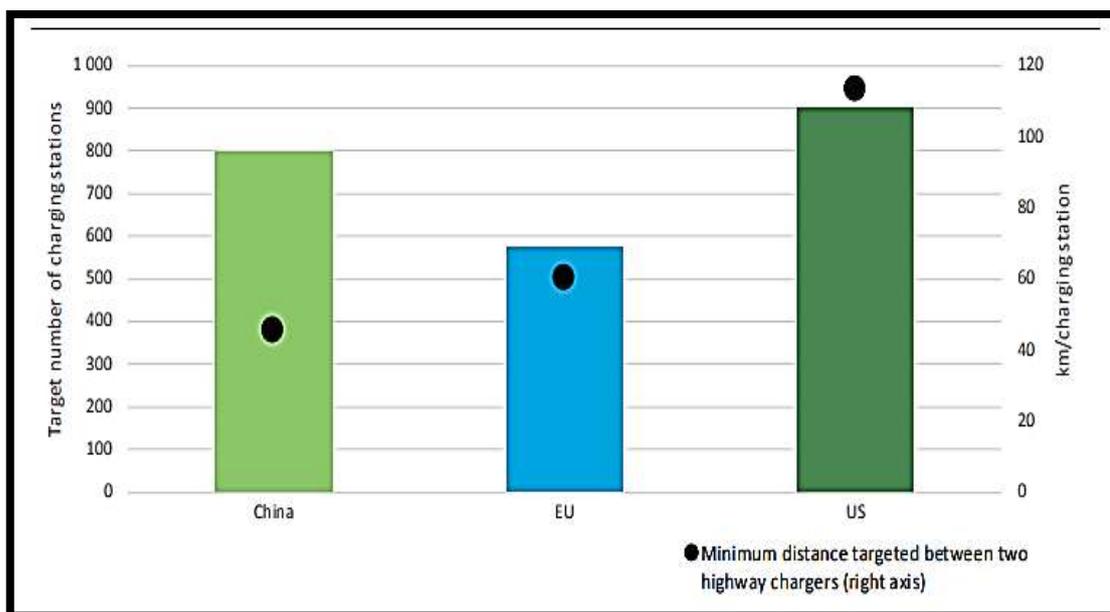


Ilustración 3-22: Distancia mínima entre estaciones de carga rápida

Fuente: (International Energy Agency, 2018)

- China plantea que la distancia óptima entre sus estaciones de carga es de 45 [km], siendo el país con menor distancia en el mundo. Plantean una red de cargadores a nivel de carreteras bastante completo (International Energy Agency, 2018).
- Estados Unidos plantea que la distancia óptima entre sus estaciones de carga es de 115 [km]. California ha revisado su objetivo de despliegue de infraestructura para 2025, junto con su

objetivo de 2030 objetivo de 5 millones de vehículos eléctricos (International Energy Agency, 2018).

- La Unión Europea plantea que la distancia optima entre sus estaciones de carga es de 60 [km]. La Comisión Europea ha solicitado a sus gobiernos miembros que establezcan el despliegue objetivo para 2020, 2025 y 2030 con el fin de igualar el nivel de infraestructura requerido por la Directiva AFI (International Energy Agency, 2018).
- En Colombia el número de puntos de recarga en las carreteras nacionales dependerá de la longitud de la vía y su topografía para determinar la distancia máxima entre puntos de recarga. En las figuras anteriores se establecieron tres casos, que representan gran parte del territorio colombiano, donde las distancias entre centrales eran de 90-110-130 [km] (UPME, 2019, pp. 23-206).

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El capítulo IV tiene la finalidad de mostrar los resultados obtenidos durante el trabajo de investigación. Por lo tanto, los datos obtenidos en las diferentes pruebas se las organizaron en tablas e ilustraciones para su posterior análisis. A continuación, se detalla el estudio que se consideró para validar el modelo de simulación, el tratamiento de los viajes representativos a lo largo de la ruta, la estimación de la cantidad de estaciones de carga y su ubicación.

4.1. Validación del modelo construido en Simulink

Matlab en su extensión de Simulink tiene cargado en sus librerías ciclos estandarizados de conducción los que se utilizaran para simular y verificar la exactitud del modelo matemático. Existen estudios con el Nissan LEAF realizados en laboratorios donde el valor de error en la gama de baja velocidad es 11,87 [%] y en el de gama de alta velocidad es 3,2 [%] según un trabajo citado en (Fiori, Ahn y Rakha, 2016, pp. 257-268). Una vez simulado el vehículo con el modelo construido obtenemos los resultados para cada ciclo como se puede observar en las Ilustraciones 4-1, 4-2, 4-3, 4-4 y 4-5. Cada ciclo tiene sus propias características en las cuales han sido construidas, por ello se ve la necesidad de evaluar cuan apto es el modelo obtenido.

4.1.1. UDDS

Una vez simulado el ciclo estandarizado UDDS de la librería de Simulink con los datos del vehículo Nissan Leaf se obtiene como rendimiento 142,8 [Wh/km] como se puede observar en la Ilustración 4-1.

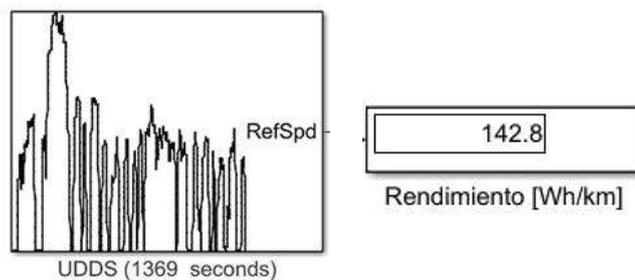


Ilustración 4-1: Análisis de rendimiento UDDS

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

4.1.2. HWFET

Realizada la simulación del ciclo estandarizado HWFET de la librería de Simulink con los datos del vehículo Nissan Leaf se obtiene como rendimiento 154,7 [Wh/km] como se puede observar en la Ilustración 4-2.

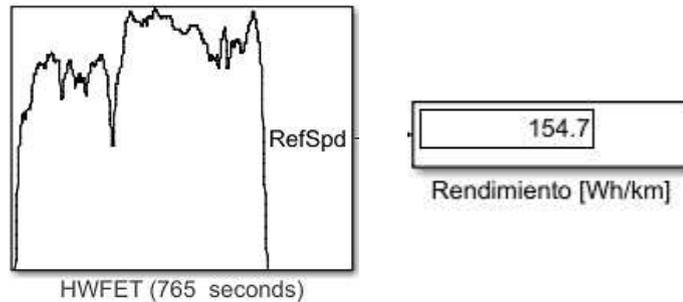


Ilustración 4-2: Análisis de rendimiento HWFET

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

4.1.3. US06

Una vez simulado el ciclo estandarizado US06 de la librería de Simulink con los datos del vehículo Nissan Leaf se obtiene como rendimiento 193,9 [Wh/km] como se puede observar en la Ilustración 4-3.

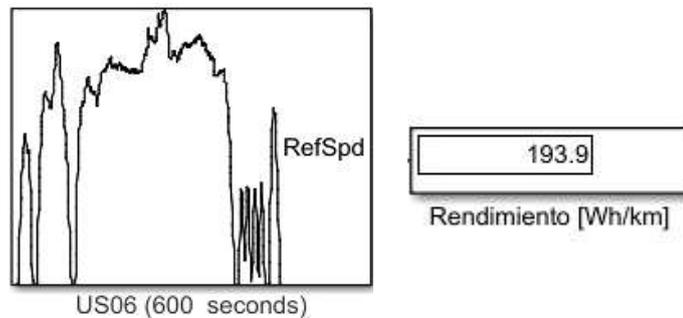


Ilustración 4-3: Análisis de rendimiento US06

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

4.1.4. NEDC

Una vez simulado el ciclo estandarizado NEDC de la librería de Simulink y los datos del vehículo Nissan Leaf se obtiene como rendimiento 153,1 [Wh/km] como se puede observar en la Ilustración 4-4

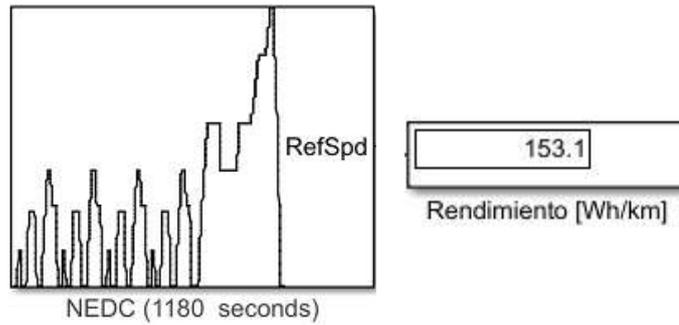


Ilustración 4-4: Análisis de rendimiento NEDC

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

4.1.5. WLTC

Una vez simulado el ciclo estandarizado WLTC de la librería de Simulink con los datos del vehículo Nissan Leaf se obtiene como rendimiento 170,4 [Wh/km] como se puede observar en la Ilustración 4-5.

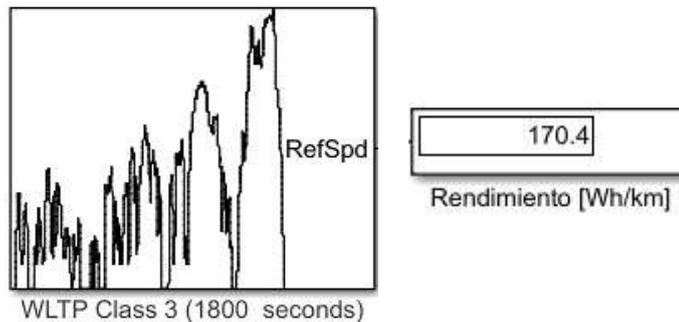


Ilustración 4-5: Análisis de rendimiento WLTC

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

Una vez obtenido los valores de rendimiento es necesario comparar los datos con aquellos resultados de laboratorios (AVTA y VT-CPEM) como se muestra en la Tabla 4-1. Se procedió a calcular el error absoluto de cada uno de los ciclos los cuales se encuentran detallados y finalmente, se realizó un promedio de este error obteniendo un valor del 2,403 [%], el valor obtenido en el modelo propuesto es un promedio entre dos gamas de velocidad, información proporcionada por (Fiori, Ahn y Rakha 2016). Con esto se logra determinar que el modelo propuesto cumple con todos los requerimientos del caso y es idóneo para la estimación de las ubicaciones de las estaciones de carga.

Tabla 4-1: Comparación y validación del modelo matemático aplicado en la estimación de estaciones de carga

VALIDACIÓN DEL MODELO				
	CICLO ESTANDARIZADO NISSAN LEAF	RESULTADOS		ERROR
		AVTA/JRC	MODELO PROPIO	
LABORATORIOS		[Wh/km]	[Wh/km]	[%]
	AVTA			
	UDDS	125,1	142,8	3,678
	HWFET	149,6	154,7	2,112
	US06	199,8	193,9	4,623
	JRC			
	NEDC	156,9	153,1	0,174
	WLTC	178,4	170,4	1,426
	ERROR DE LA SIMULACIÓN			

Fuente: (Fiori, Ahn y Rakha, 2016)

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

4.2. Selección del viaje representativo con el método ponderado

Son 18 los viajes realizados a lo largo de la ruta CIAUTO – Tababela tanto de ida como de regreso, entonces es necesario realizar un proceso final que nos permita elegir de entre todos aquellos viajes aquel que se acerque a la media de los parámetros de la muestra. Esto se lo consigue mediante la aplicación del método ponderado pues se realiza una comparación entre una variable representativa y la media de todas las variables. Por esta razón, será evaluado el porcentaje de participación de las energías de la fuerza de arrastre, fuerza de rodadura, resistencia a la pendiente y la resistencia a la inercia. Este método será aplicado para el viaje de ida y de regreso pues las condiciones bajo los cuales han sido obtenidos los datos de conducción no son los mismos.

4.2.1. Viaje de ida

La Tabla 4-2 es el resultado de la aplicación del método ponderado para la selección del ciclo representativo en los viajes de ida. De un total de 18 bases de datos que han sido obtenidas tanto con la ayuda de la aplicación Torque Pro y VBOX de determina que el viaje 6 es aquel ideal para la simulación.

Tabla 4-2: Selección del viaje representativo de ida entre los viajes realizados

LISTA DE RESULTADOS DE VIAJES						
No	%EFD	%ERX	%Erg	%Eri	E+	Sumatoria
1	11,337	12,197	2,161	74,305	38,340	23,885
2	7,616	9,854	24,425	58,105	40,168	10,934
3	9,832	9,820	21,072	59,276	40,071	12,221
4	8,437	9,474	20,280	61,809	41,196	13,721
5	12,087	12,913	2,795	72,205	36,341	22,639
6	12,389	13,008	29,675	44,928	31,667	2,883
7	11,857	14,912	48,479	24,753	27,906	11,696
8	13,445	14,741	43,903	27,911	29,134	8,961
9	14,883	16,322	37,989	30,806	26,460	6,280
10	14,545	19,089	23,634	28,179	32,723	8,702
11	13,557	14,468	42,289	29,686	30,411	7,699
12	13,023	14,738	41,718	30,521	29,755	7,148
13	14,399	16,303	37,242	32,057	26,802	5,470
14	12,140	13,511	42,982	31,367	30,605	7,157
15	13,555	15,113	42,274	29,058	29,104	8,037
16	13,409	14,723	43,454	28,414	27,500	8,606
17	13,901	15,844	44,110	26,145	28,285	9,952
18	14,051	15,177	34,411	36,361	28,190	2,617

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

En la Tabla 4-3 se visualizan los parámetros característicos del viaje representativo de ida, la distancia total del recorrido será el único dato que guarde similitud con el viaje de regreso, por el contrario, los porcentajes de regeneración, aceleración y desaceleración serán únicos al depender de las condiciones del viaje. Es necesario saber el comportamiento del viaje ya que no siempre van a ser las mismas condiciones, esto debido a las limitaciones generadas.

Tabla 4-3: Parámetros de conducción obtenidos en el viaje representativo de ida

RESUMEN DEL CICLO		
Distancia total	151,652	[km]
V. máxima	30,261	[m/s]
V. promedio	12,593	[m/s]
a. máxima	5,802	[m/s ²]
a. mínima	-4,062	[m/s ²]
Tiempo total	12.042	[s]

a. (+) promedio	0,470	[m/s ²]
a. (-) promedio	-0,462	[m/s ²]
Potencia máxima	179,667	[kw]
τx máxima	3.987,096	[N.m]
Energía positiva total	31,667	[kWh]
Energía negativa total	15,840	[kwh]
% Regeneración	50,020	%
Rendimiento	4,789	[km/kWh]
Detenido	27,958	[%]
V. constante	0,066	[%]
Aceleración	36,486	[%]
Desaceleración	35,489	[%]
TOTAL:	100	[%]
[a*V] (+) promedio	7,136	[m ² /s ³]
[a*V]. máxima	30,261	[m ² /s ³]

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

El perfil de altitud corrobora la realidad montañosa del Ecuador y denota la exigencia a las que va a tener que enfrentarse un vehículo eléctrico. Al hablar de altitud se hace referencia a la distancia vertical de un punto de la superficie terrestre respecto al nivel del mar, en la Ilustración 4-6 se puede observar los distintos cambios en el valor de la altitud por la geografía de nuestro país con respecto al tiempo. La altitud máxima a la cual se ha llegado es de aproximadamente 3500 [msnm], mientras que el tiempo empleado en el viaje es de aproximadamente 12000 [s].

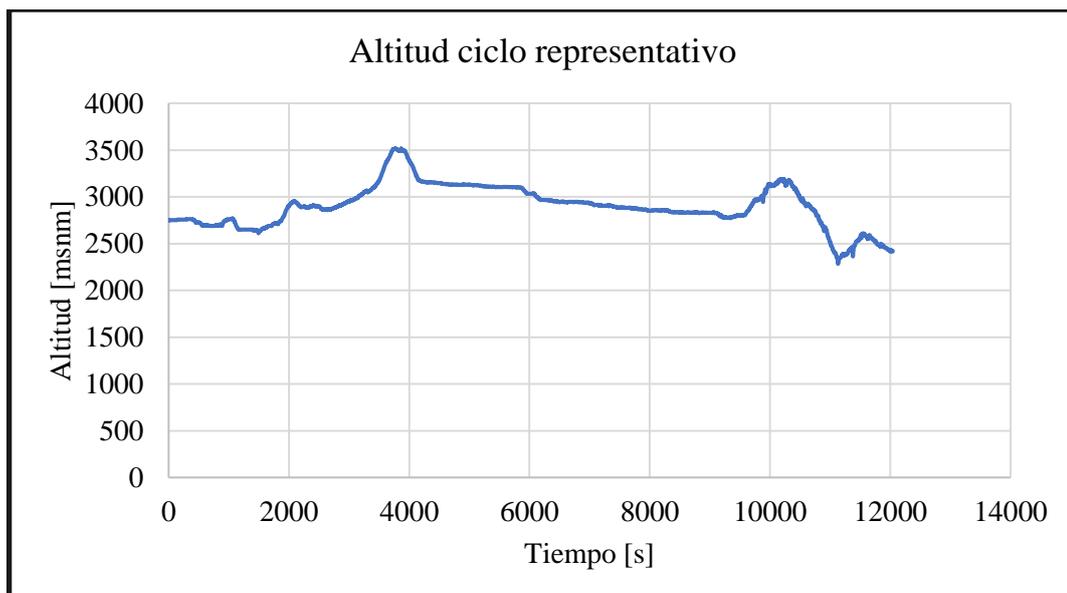


Ilustración 4-6: Perfil de altitud del ciclo representativo de ida

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

El perfil de velocidad obtenido en el viaje representativo de ida es un trayecto con 3,33 horas de viaje como se puede observar en la Ilustración 4-7, son rangos de larga duración a alta velocidad. A lo largo de estos recorridos se mantuvo los límites de velocidad establecidos, esto para hacer que el ciclo sea lo más real. El ciclo de conducción no será agresivo por lo cual era necesario tratar de mantener una velocidad constante, respetando las señaléticas establecidas.

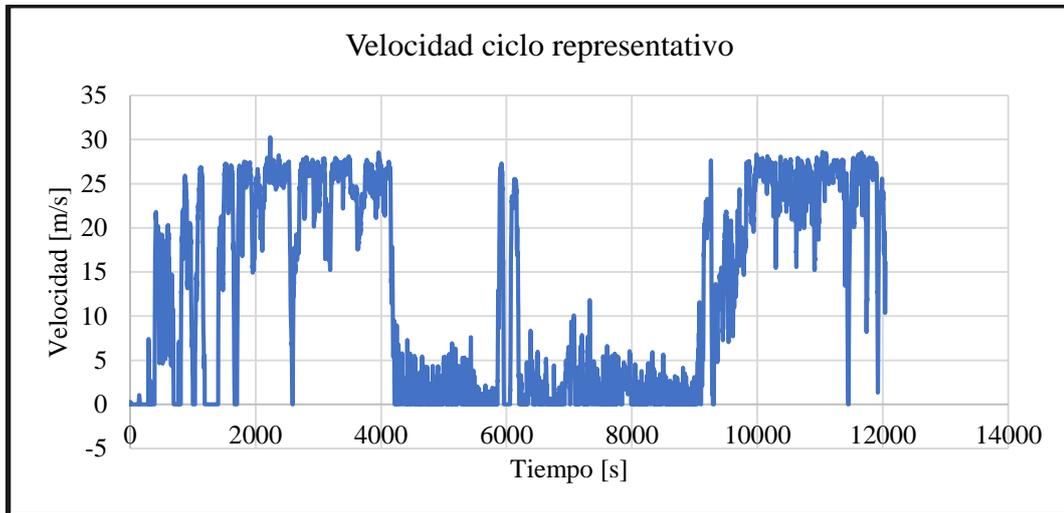


Ilustración 4-7: Perfil de velocidad representativo del viaje de ida

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

Con la Ilustración 4-8 se puede observar los rangos de velocidad a la que un vehículo circula en la carretera. Pasando de 2500 [msnm] a los 3500 [msnm] en un tiempo estimado de 1,1 horas con un rango de velocidad entre los 25-30 [m/s]. Lo demandante de las carreteras en el Ecuador son estos intervalos de recorrido donde la exigencia del auto y su autonomía están comprometidas.

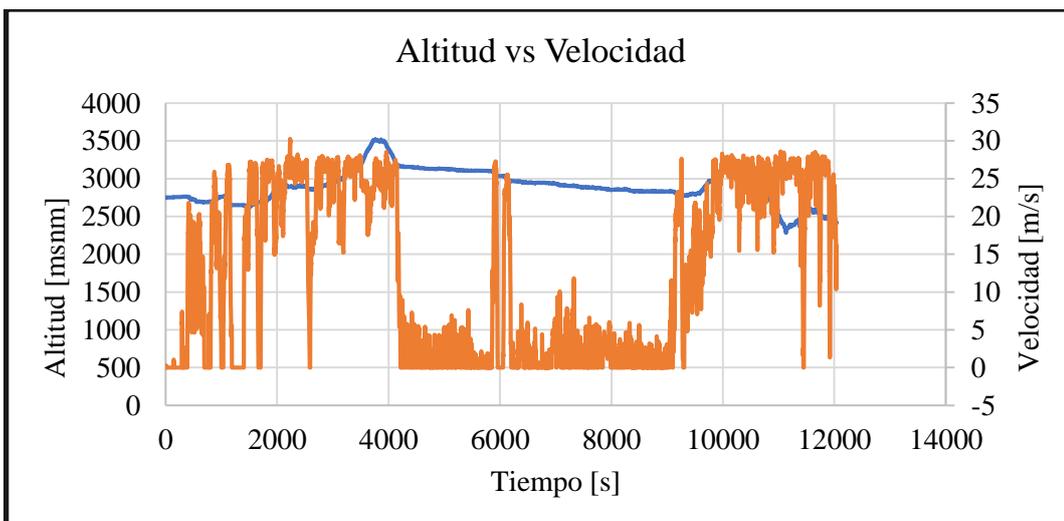


Ilustración 4-8: Comparativa entre la altitud y la velocidad del viaje de ida

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

4.2.2. Viaje de regreso

La Tabla 4-4 es el resultado de la aplicación del método ponderado para la selección del ciclo representativo en los viajes de regreso. De un total de 18 bases de datos que han sido obtenidas tanto con la ayuda de la aplicación Torque pro y VBOX de determina que el viaje 9 es aquel ideal para la simulación.

Tabla 4-4: Energías resultantes del viaje representativo de regreso entre los viajes realizados

LISTA DE RESULTADOS DE VIAJES						
No	%EFD	%ERX	%Erg	%Eri	E+	Sumatoria
1	13,830	13,304	2,976	69,889	35,669	23,331
2	7,443	9,714	25,096	57,747	40,712	12,043
3	9,039	9,284	22,118	59,559	43,206	13,629
4	8,352	9,467	20,109	62,071	42,621	15,358
5	12,760	13,071	2,440	71,728	36,409	24,150
6	16,321	15,994	41,294	26,391	29,074	7,673
7	11,071	14,352	48,965	25,612	29,875	10,202
8	13,053	14,637	42,078	30,232	31,005	5,858
9	13,761	15,462	37,609	33,168	28,240	3,380
10	14,968	15,799	37,852	31,382	28,726	4,354
11	13,981	14,719	41,831	29,469	31,447	6,197
12	14,390	14,673	43,566	27,370	31,128	7,655
13	15,040	15,391	39,617	29,952	29,103	5,471
14	13,136	13,920	43,287	29,657	31,801	6,411
15	13,851	14,621	44,202	27,326	30,240	7,816
16	13,208	15,062	46,156	25,575	29,841	9,147
17	13,901	15,844	44,110	26,145	28,285	8,414
18	13,715	14,217	42,319	29,750	30,687	6,155

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

Un viaje en carretera difícilmente se va a parecer tanto al momento de ida como en su regreso, esto ya que la velocidad y aceleración generadas nunca van a coincidir, sin embargo, es necesario comparar la distancia total del recorrido que podrá variar muy poco. Caso contrario quiere decir que no se ha logrado completar el viaje y no representaría al ciclo de regreso, en la Tabla 4-5 se puede observar que la energía total positiva es inferior al viaje de regreso, lo que implica que fue necesario realizar un esfuerzo mayor por parte del vehículo a lo largo del trayecto, y este viaje tuvo una velocidad constante mayor.

Tabla 4-5: Parámetros de conducción obtenidos en el viaje representativo de regreso

RESUMEN DEL CICLO		
Distancia total	151,933	[km]
V. máxima	28,140	[m/s]
V. promedio	17,879	[m/s]
a. máxima	2,570	[m/s ²]
a. mínima	-4,450	[m/s ²]
Tiempo total	8.497,000	[s]
a. (+) promedio	0,296	[m/s ²]
a. (-) promedio	-0,339	[m/s ²]
Potencia máxima	125,127	[kw]
τ_x máxima	2.054,887	[N.m]
Energía positiva total	28,240	[kWh]
Energía negativa total	9,775	[kwh]
% Regeneración	34,613	%
Rendimiento	5,380	[Km/Kwh]
Detenido	2,012	[%]
V. constante	1,494	[%]
Aceleración	51,683	[%]
Desaceleración	44,811	[%]
TOTAL:	100	[%]
[a*V] (+) promedio	4,626	[m ² /s ³]
[a*V]. máxima	28,140	[m ² /s ³]

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

El perfil de altitud corrobora la realidad montañosa del Ecuador y denota a la exigencia a las que van a tener que acoplarse, existe una diferencia la gráfica de altitud entre el viaje de ida y de regreso que está representada en la Ilustración 4-9, eso no significa que el viaje fue realizado por alguna ruta alterna. Mas bien, estas diferencias son por las condiciones de viaje pues durante el viaje de regreso se tuvo menos contratiempo lo que redujo el tiempo empleado para su realización. Al hablar de altitud se hace referencia a la distancia vertical de un punto de la superficie terrestre respecto al nivel del mar, se pueden observar los distintos cambios en el valor de la altitud por la geografía de nuestro país con respecto al tiempo. La altitud máxima a la cual se ha llegado es de aproximadamente 3500 [msnm], mientras que el tiempo empleado en el viaje es de alrededor de 8300 segundos.

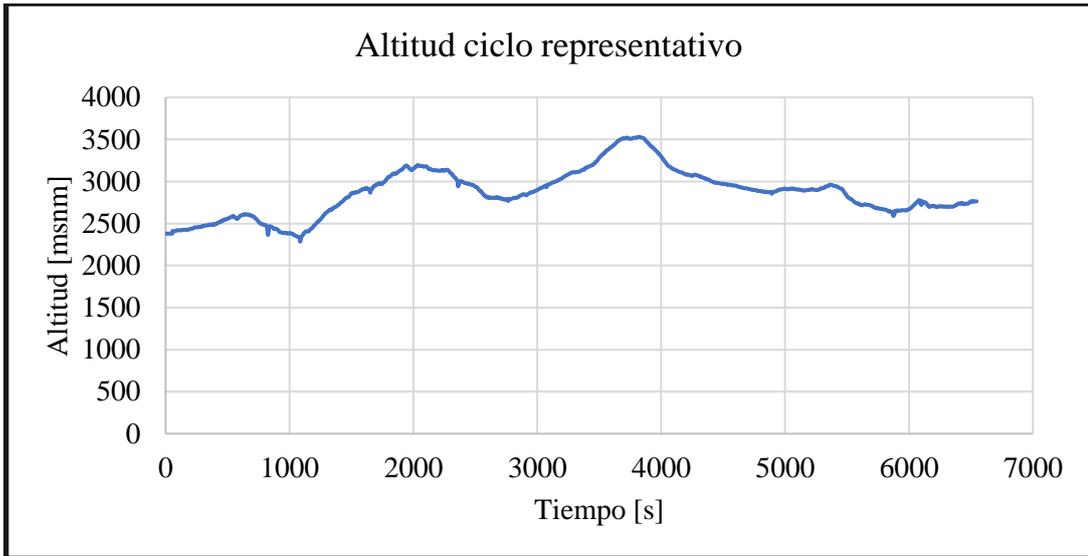


Ilustración 4-9: Perfil de altitud del ciclo representativo de regreso

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

Para el perfil de velocidad obtenido en el viaje representativo de regreso se ha destinado alrededor de dos horas de viaje, como se puede observar en la Ilustración 4-10 son rangos de larga duración a alta velocidad. El tiempo empleado en este viaje de regreso es inferior al de ida, esto se debe a que el viaje fue más constante en cada una de sus variables. El tiempo que permanece el vehículo detenido es mínimo tomando en cuenta las limitaciones del estudio y el respeto a todas las señales de tránsito establecidas en la ruta.

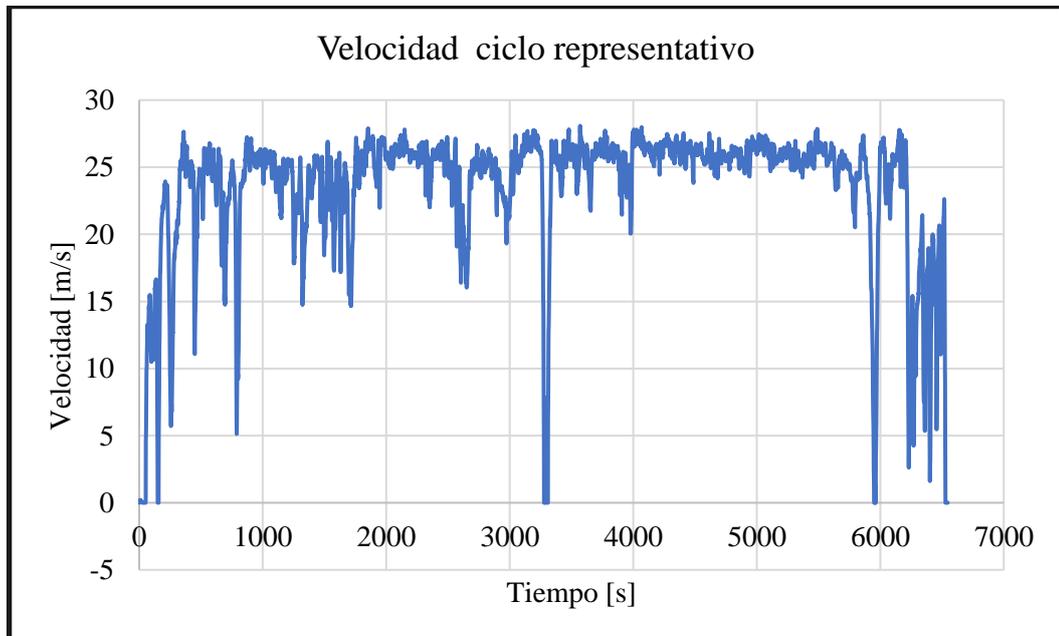


Ilustración 4-10: Perfil de velocidad representativo del viaje de regreso

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

Con la Ilustración 4-11 se puede observar los rangos de velocidad a la que un vehículo circula en la carretera, pasando de 2500 [msnm] a los 3500 [msnm] en un tiempo estimado de 0,9 horas con un rango de velocidad entre los 85-100 [km/h]. Lo demandante de las carreteras en el Ecuador son estos intervalos de recorrido donde la exigencia del auto y su autonomía están comprometidas. Es necesario saber el comportamiento de un ciclo, por esta razón en la Ilustración 4-11 se realiza la representación de la altitud corregida y la velocidad con respecto al tiempo empleado en el ciclo. Se puede observar que el comportamiento en carretera es muy impredecible pues es vehículo puede estar en constante movimiento durante cierto tiempo y cambiar de forma drástica al punto de permanecer estático.

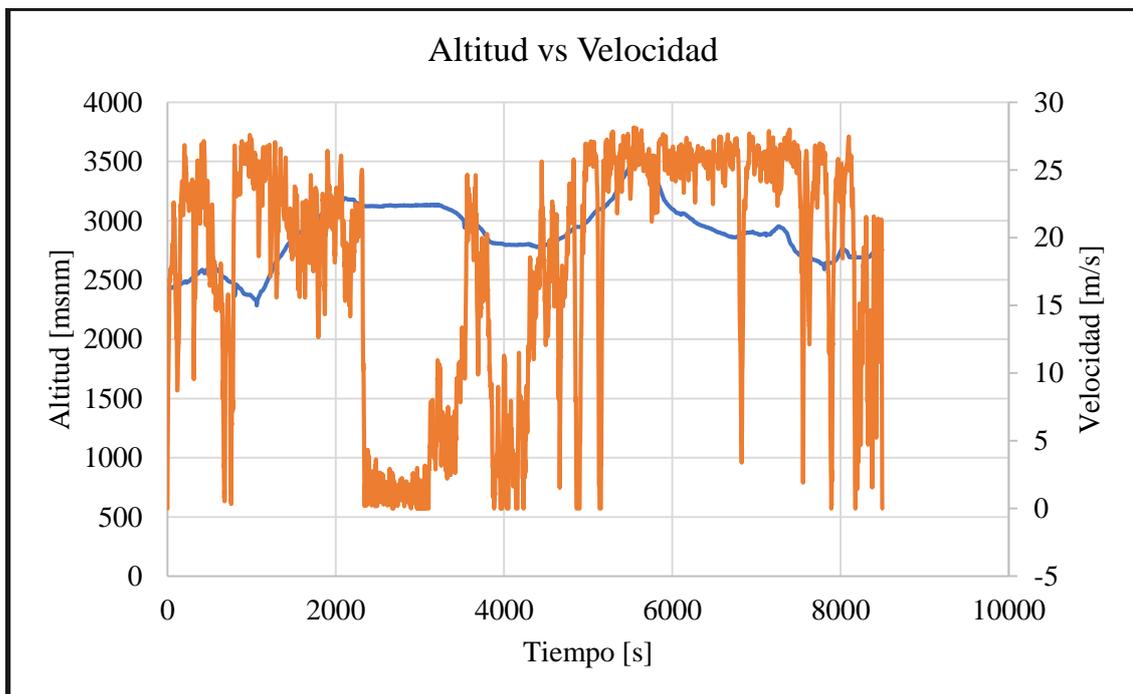


Ilustración 4-11: Comparativa entre la altitud y la velocidad del viaje de regreso

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

4.2.3. Simulación del ciclo representativo ida y regreso

Una vez desarrollado la programación en el software MATLAB (Simulink) es necesario asignar los parámetros bajo los cuales se van a realizar los cálculos, cabe recalcar que la única variación entre los parámetros del viaje de ida y regreso será el ciclo (Datos de velocidad y pendiente). Como el modelo de simulación fue realizado para ser ejecutado a distintos parámetros es necesario asignar los mismo, así que al desear saber el comportamiento de la autonomía del vehículo eléctrico Seres 3 se requiere de los parámetros de funcionamiento de este como se lo puede observar en la Tabla 4-6. De igual manera, con la necesidad de conocer el comportamiento del vehículo eléctrico Kia Soul para la estimación de sus puntos de carga son requeridos sus

parámetros de funcionamiento como se lo muestra en la Tabla 4-7. Hay datos que fueron fáciles de obtener al estar en las especificaciones del vehículo, sin embargo, otros datos tuvieron que ser sacados de artículos científicos en los cuales se muestren valores estandarizados para vehículos eléctricos según (Fiori, Ahn y Rakha, 2016, pp. 257-268).

Tabla 4-6: Parámetros de la simulación del ciclo representativo ida y regreso Seres 3

Vehículo eléctrico Seres 3				
	Valores	Unidades	Fuente	
Batería				
SOC Inicial	50-60-70	[%]	(Abril, Christopher & Yanzapanta, Marcelo, 2023)	
Capacidad de la batería	53,61	[kWh]	(DFSK, 2021)	
Neumático				
Ancho	225	[mm]		
Altura del perfil	55	[%]		
Diámetro inferior	18	[mm]		
Análisis del rendimiento				
Distancia de parada	160	[km]	(Abril, Christopher & Yanzapanta, Marcelo, 2023)	
Cálculo dinámico				
Cd	0,35		(DFSK, 2021; Gillespie, 1992)	
Área frontal del vehículo	2,22	[m ²]		
Densidad del aire	0,875	[kg/m ³]		
Masa	2065	[kg]		
Gravedad	9,81	[m/s ²]		
Transmisión				
Rendimiento del neumático	99	[%]	(Fiori, Ahn y Rakha, 2016, pp. 257-268; Gao et al., 2017, pp. 588-600)	
Rendimiento de la transmisión	92	[%]		
Rendimiento del motor	91	[%]		
Rendimiento de la batería	90	[%]		
Potencia de accesorios	70	[W]		
Aceleración máxima para regeneración	-3	[m/s ²]		
Velocidad mínima de regeneración	5	[m/s ²]		

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

Tabla 4-7: Parámetros utilizados en la simulación de los ciclos representativos ida y vuelta Kia Soul

Vehículo eléctrico Kia Soul				
	Valores	Unidades	Fuente	
Batería				
SOC Inicial	50-60-70	[%]	(Abril, Christopher & Yanzapanta, Marcelo, 2023)	
Capacidad de la batería	27	[kWh]	(automobile catalog, 2015)	
Neumático				
Ancho	205	[mm]		
Altura del perfil	60	[%]		
Diámetro inferior	16	[mm]		
Análisis del rendimiento				
Distancia de parada	160	[km]	(Abril, Christopher & Yanzapanta, Marcelo, 2023)	
Cálculo dinámico				
Cd	0,34		(automobile catalog, 2015; Gillespie, 1992)	
Área frontal del vehículo	2,39	[m ²]		
Densidad del aire	0,875	[kg/m ³]		
Masa	1960	[kg]		
Gravedad	9,81	[m/s ²]		
Transmisión				
Rendimiento del neumático	99	[%]	(Fiori, Ahn y Rakha, 2016, pp. 257-268; Gao et al., 2017, pp. 588-600)	
Rendimiento de la transmisión	92	[%]		
Rendimiento del motor	91	[%]		
Rendimiento de la batería	90	[%]		
Potencia de accesorios	70	[W]		
Aceleración máxima para regeneración	-3	[m/s ²]		
Velocidad mínima de regeneración	5	[m/s ²]		

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

4.3. Alternativas del dimensionamiento de estaciones de carga

Son varias las consideraciones respecto al estado de carga de la batería (SOC) que pueden ser tomados en cuenta para este estudio tales como la distancia a la cual se ubicaran las estaciones de carga y la red eléctrica a lo largo de la ruta, recordando la recomendación de mantener el vehículo

entre 20-95 [%] de rango operacional se procede a asumir tres situaciones como alternativas para el dimensionamiento, la primera cuando se tiene 50 [%] de estado de carga que relacionándola con un vehículo de combustión interna haría referencia a la mitad de la capacidad del tanque y las otras dos cuando se encuentra a un 60-70 [%], lo que implica una mayor capacidad de rendimiento.

No fueron tomados en cuenta valores inferiores y superiores a los límites ya mencionados, esto debido a que se busca establecer las ubicaciones de las estaciones de carga cuando los vehículos eléctricos trabajen bajo condiciones exigentes. Además, el factor humano contempla no tener cargado el vehículo en su totalidad.

4.3.1. Resultados de autonomía en los viajes representativos de ida y regreso

Estos cálculos fueron obtenidos a partir de la simulación del Kia Soul al ser el vehículo con más unidades vendidas en el país y el DFSK SERES 3 al ser un vehículo de nuevo ingreso referente de la empresa CIAUTO. Estos vehículos eléctricos de dos fabricantes diferentes permiten obtener un panorama general del parque automotor que circulan las carreteras ecuatorianas, debido a que sus autonomías son de 27 [kWh] y 53,61 [kWh] respectivamente, lo que supone el doble de autonomía entre cada vehículo.

4.3.1.1. Viaje de ida Kia Soul

En la Tabla 4-8 se puede observar los resultados obtenidos en la simulación para varios panoramas de partida estimando diferentes SOC iniciales. El Kia Soul al ser un vehículo eléctrico de baja autonomía necesita de 3 estaciones para completar el trayecto de ida cuando parte con 60 [%] de SOC, mientras que partiendo con ‘medio tanque’, 50 [%] de SOC, este vehículo no logra completar el recorrido con 3 estaciones. El tercer panorama de 70 [%] de SOC permite dimensionar solo 2 estaciones de carga en la ruta manteniendo el factor de seguridad.

Tabla 4-8: Resultados de la autonomía vehicular mediante simulación del Kia Soul viaje de ida

SOC inicio [%]	Distancia 1 [km]	Distancia 2 [km]	Distancia 3 [km]	SOC final [%]
50	39	61	88	-10
	SOC 1 llegada [%]	SOC 2 llegada [%]	SOC 3 llegada [%]	
	20	20	20	
SOC inicio [%]	Distancia 1 [km]	Distancia 2 [km]	Distancia 3 [km]	SOC final [%]
60	35	75	115	24
	SOC 1 llegada [%]	SOC 2 llegada [%]	SOC 3 llegada [%]	

	24	22	22	
SOC inicio [%]	Distancia 1 [km]	Distancia 2 [km]		SOC final [%]
70	55	100		30
	SOC 1 llegada [%]	SOC 2 llegada [%]		
	23	25		
SOC inicio [%]	Distancia 1 [km]			SOC final [%]
95	90			30
	SOC 1 llegada [%]			
	28			

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

4.3.1.2. Viaje de regreso Kia Soul

En la Tabla 4-9 se puede observar los resultados obtenidos en la simulación para varios panoramas de partida estimando diferentes SOC iniciales. Se puede identificar que en el viaje de regreso en el primer panorama con 50 [%] de SOC el vehículo si logra completar el trayecto excediendo el factor de seguridad, para el segundo panorama de 60 [%] de SOC se estiman 3 estaciones de carga las cuales permiten completar satisfactoriamente la ruta. Como se observa en el tercer panorama se necesitan solo de 2 estaciones de carga para completar el trayecto sin ninguna dificultad.

Tabla 4-9: Resultados de la autonomía vehicular mediante simulación Kia Soul viaje de regreso

SOC inicio [%]	Distancia 1 [km]	Distancia 2 [km]	Distancia 3 [km]	SOC final [%]
50	30	67	84	13
	SOC 1 llegada [%]	SOC 2 llegada [%]	SOC 3 llegada [%]	
	20	20	36	
SOC salida [%]	Distancia 1 [km]	Distancia 2 [km]	Distancia 3 [km]	SOC final [%]
60	35	75	115	30
	SOC 1 llegada [%]	SOC 2 llegada [%]	SOC 3 llegada [%]	
	23	25	36	
SOC salida [%]	Distancia 1 [km]	Distancia 2 [km]		SOC final [%]
70	40	80		30
	SOC 1 llegada [%]	SOC 2 llegada [%]		

	25	25	
SOC salida [%]	Distancia 1 [km]		SOC final [%]
95	70		29
	SOC 1 llegada [%]		
	35		

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

4.3.1.3. Viaje de ida SERES 3

En la Tabla 4-10 se puede observar los resultados obtenidos en la simulación para varios panoramas de partida estimando diferentes SOC iniciales. Este vehículo eléctrico tiene la doble autonomía por lo cual se estima en el primer panorama 2 estaciones de carga y en el segundo y tercer panorama solo 1 estación de carga en ruta, con las cuales se completa el viaje sin ningún problema.

Tabla 4-10: Resultados de la autonomía vehicular mediante simulación SERES 3 viaje de ida

SOC inicio [%]	Distancia 1 [km]	Distancia 2 [km]	SOC final [%]
50	55	100	30
	SOC 1 llegada [%]	SOC 2 llegada [%]	
	24	24	
SOC inicio [%]	Distancia 1 [km]		SOC final [%]
60	100		45
	SOC 1 llegada [%]		
	20		
SOC inicio [%]	Distancia 1 [km]		SOC final [%]
70	100		55
	SOC 1 llegada [%]		
	23		
SOC inicio [%]			SOC final [%]
95			46

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

4.3.1.4. Viaje de regreso SERES 3

En la Tabla 4-11 se puede observar los resultados de la simulación para diferentes SOC iniciales. Este vehículo eléctrico tiene la doble autonomía por lo cual se estima en el primer panorama 2 estaciones de carga, mientras que en el segundo y tercer panorama solo se prevé la ubicación de 1 estación de carga en ruta, con estas consideraciones el vehículo lograra cumplir el viaje sin ningún problema.

Tabla 4-11: Resultados de la autonomía vehicular mediante simulación SERES 3 viaje de regreso

SOC inicio [%]	Distancia 1 [km]	Distancia 2 [km]	SOC final [%]
50	40	80	30
	SOC 1 llegada [%]	SOC 2 llegada [%]	
	25	33	
<hr/>			
SOC inicio [%]	Distancia 1 [km]		SOC final [%]
60	80		22
	SOC 1 llegada [%]		
	20		
<hr/>			
SOC inicio [%]	Distancia 1 [km]		SOC final [%]
70	80		32
	SOC 1 llegada [%]		
	30		
<hr/>			
SOC inicio [%]			SOC final [%]
95			40

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

Después de analizar los resultados obtenidos en las Tablas 4-8, 4-9, 4-10 y 4-11 de las simulaciones observamos lo difícil de la geografía ecuatoriana para la autonomía de los vehículos eléctricos, para los que se estiman 2 estaciones de carga a lo largo de cada ruta. La comparación del dimensionamiento con la realidad de otros países como se observa en la Ilustración 3-22 permite concluir excesivo el colocar más de 2 estaciones de carga ya que se estima un rango de ubicación entre 40-60 [km]. Se debe considerar la poca autonomía del Kia Soul para aplicar restricciones en los viajes con un SOC inicial de 70 [%] mientras que el SERES 3 podrá utilizar

cualquiera de las estaciones simuladas sin ninguna dificultad al salir con un mínimo de 50 [%] de SOC.

4.3.2. Dimensionamiento mínimo de estaciones de carga viaje de ida

En la Ilustración 4-12 se puede observar las dos estaciones de carga rápida lo largo de la ruta CIAUTO-Tababela, mientras que en la Tabla 4-12 se encuentran las coordenadas geográficas que permitirán su correcta ubicación.

Tabla 4-12: Coordenadas geográficas de las estaciones de carga viaje de ida

Primera estación	
Latitud	Longitud
0°43'39.93"	78°36'30.042"
Segunda estación	
Latitud	Longitud
0°22'24.912"	78°31'47.116"

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.



Ilustración 4-12: Ubicación de las estaciones de carga viaje de ida

Fuente: (Google Earth Pro, 2023)

Con la necesidad de observar el comportamiento del vehículo eléctrico a lo largo de la ruta se realiza la Ilustración 4-13, aquí se verifica el comportamiento del estado de carga y la distancia recorrida al ser las variables dependientes, se inicia con un SOC de 70 [%] con lo cual la ubicación de la primera estación de carga será cuando este no baje del 20 [%], se realiza el mismo análisis para la ubicación de la segunda estación de carga. La ruta CIAUTO-Tababela consta de 153 [km] de recorrido, por lo tanto, se estima dos estaciones de carga ubicadas al kilómetro 55 y al kilómetro 100.

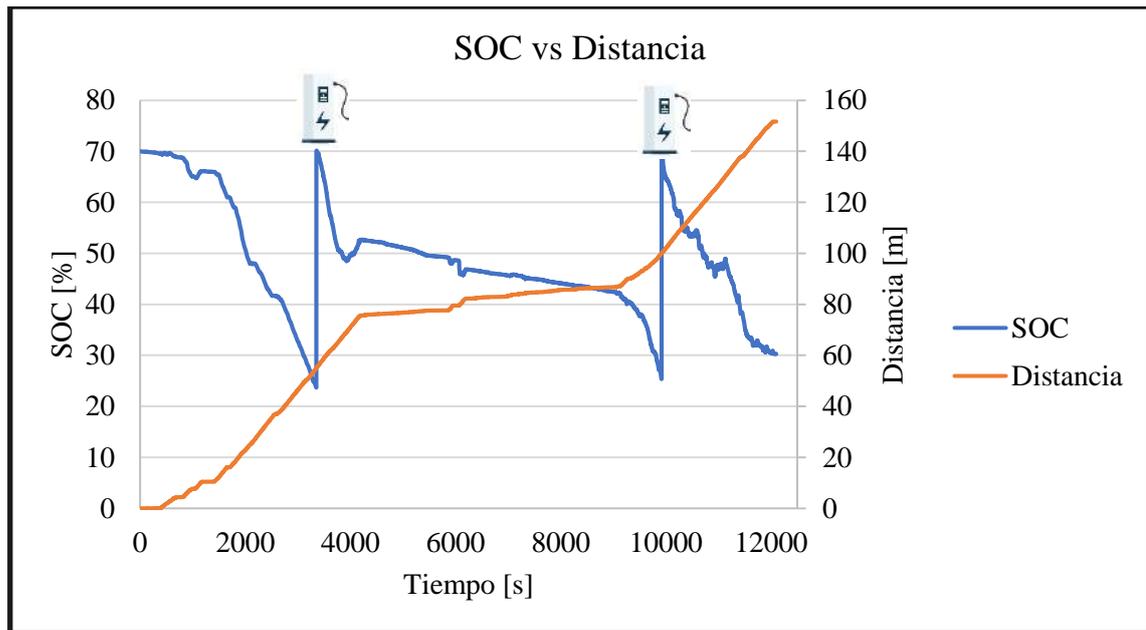


Ilustración 4-13: Comparación del SOC vs Distancia con respecto al tiempo

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

4.3.3. Dimensionamiento mínimo de estaciones de carga viaje de regreso

En la Tabla 4-13 se muestra las coordenadas geográficas para la ubicación de las dos estaciones de carga rápida a lo largo de la ruta Tababela-CIAUTO. La Ilustración 4-14 ayuda a tener una mejor visualización.

Tabla 4-13: Coordenadas geográficas de las estaciones de carga viaje de regreso

Primera estación	
Latitud	Longitud
0°16'9.503"	78°30'27.74"
Segunda estación	
Latitud	Longitud
0°35'25.847"	78°36'2.384"

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.



Ilustración 4-14: Ubicación de la estación de carga viaje de regreso

Fuente: (Google Earth Pro, 2023)

En la Ilustración 4-15 se ve graficada la simulación de consumo energético que tendría un vehículo eléctrico en la ruta CIAUTO-Tababela que consta de 153 [km], se encuentra estimadas dos estaciones de carga ubicadas al kilómetro 40 y al kilómetro 80.

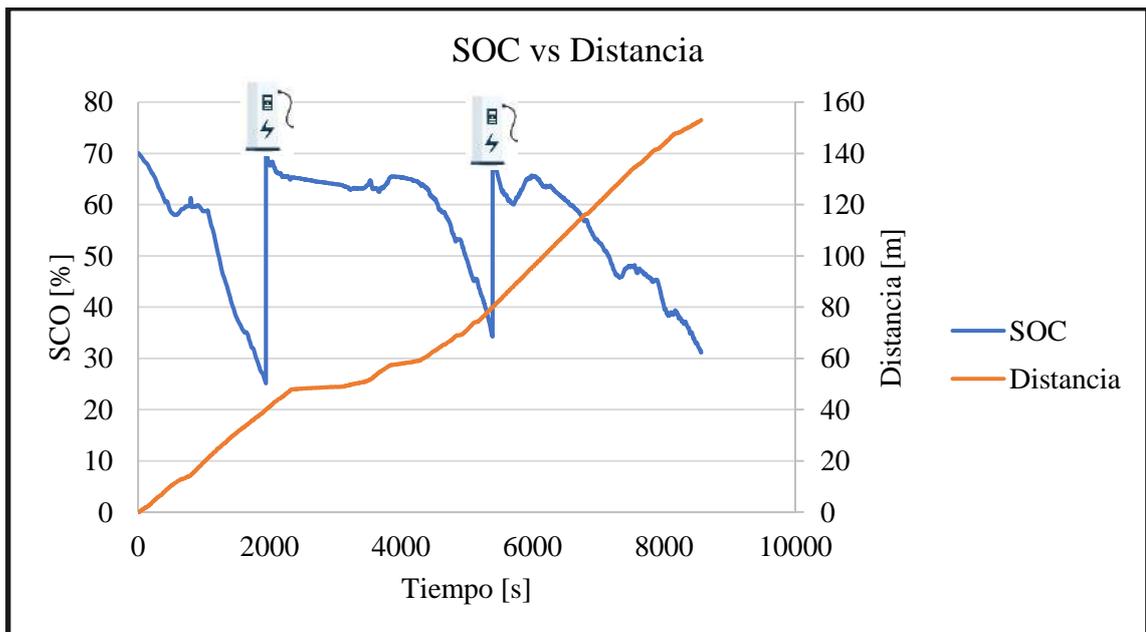


Ilustración 4-15: Comparación del SOC vs Distancia con respecto al tiempo

Fuente: (MATLAB-Simulink, 2023)

4.4. Comprobación de la hipótesis

El análisis del consumo energético mediante simulación en la ruta CIAUTO - Tababela si permite establecer una localización de la infraestructura de carga rápida a lo largo de esta vía interurbana. Sin embargo, se debe considerar la red eléctrica ya que la colocación de este tipo de infraestructuras requiere de altos consumos de energía. Con la simulación se satisface las necesidades de los vehículos estudiados, Seres 3 y Kia Soul pues la ubicación de sus estaciones de carga coincide en los mismos puntos.

En la Tabla 4-14 se muestra la distancia a la cual deben estar ubicadas las estaciones según los datos obtenidos por la simulación. Estas satisfacen a los dos vehículos eléctricos tomados para el estudio, las consideraciones son casi similares, la única variación es el SOC inicial con el cual deben empezar sus viajes.

Tabla 4-14: Ubicación de las estaciones de carga para el viaje de ida

Kia Soul			
SOC inicial [%]	Estación 1 [km]	Estación 2 [km]	SOC final [%]
70	55	100	30
Seres 3			
SOC inicial [%]	Estación 1 [km]	Estación 2 [km]	SOC final [%]
50	55	100	30

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

Para el viaje de regreso de igual manera se requiere de dos estaciones, en la Tabla 4-15 se puede observar la distancia a la cual deben ser ubicadas. Tanto para el viaje de ida como para el de regreso se toman las mismas consideraciones de simulación.

Tabla 4-15: Ubicación de las estaciones de carga para el viaje de regreso

Kia Soul			
SOC inicial [%]	Estación 1 [km]	Estación 2 [km]	SOC final [%]
70	40	80	30
Seres 3			
SOC inicial [%]	Estación 1 [km]	Estación 2 [km]	SOC final [%]
50	40	80	30

Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

CAPÍTULO V

5. MARCO PROPOSITIVO

5.1. Propuesta

La ruta CIAUTO-Tababela con su realidad montañosa permite que exista diferencia entre la autonomía real y la autonomía especificada por los fabricantes para establecer estaciones de carga, sin embargo, el Ecuador es un país diverso que cuenta con varias regiones y múltiples carreteras que conectan el país, las cuales no cuentan con proyectos de dimensionamiento para estaciones de carga. Lo ideal será obtener ciclos de conducción en las regiones costa y oriente para comparar las autonomías de los vehículos eléctricos. Con esto será posible dimensionar el rango de autonomía del vehículo eléctrico en las distintas carreteras del país.

Al país llegan cada año una gran cantidad de vehículos nuevos con diferentes especificaciones y cada vez más eficientes. Se propone realizar simulaciones de cada vehículo para conocer la realidad que afrontaran en la geografía ecuatoriana

Se propone un análisis de la factibilidad eléctrica en las zonas designadas debido al alto consumo de energía que demanda el tener este tipo de estaciones de carga rápida, análisis ambientales de factibilidad ya que al examinar la zona de implantación de estaciones de carga se observa bosques de gran tamaño que dificultarían el acceso eléctrico de subestaciones.

Se propone la construcción de estaciones de carga rápida a lo largo de esta ruta, esto implica que proporcionen carga de nivel 3. Pueden ser públicas o privadas, al proporcionar corriente continua van a requerir de una mayor intensidad eléctrica. El único detalle por considerar es que no son estaciones de carga universales por lo cual los vehículos van a necesitar un adaptador para conectarse a la estación. Los voltajes de carga que proporcionan estos tipos de estaciones están entre los 200-600 [V] y una potencia de 36-240 [kW], esto hace que el tiempo de carga sea mínimo y este alrededor de 15-20 minutos. Tendrá un modo 4 de comunicación, lo implica un elevado grado de comunicación con la red, esto debido a que existe un convertidor a (DC). El conector utilizado para estaciones de carga rápida es el CHAdeMO.

5.2. Costo referencial de la implementación de una estación de carga rápida

Un estudio realizado por (Agenbroad, 2014) sobre cargadores rápido DC públicos a nivel internacional muestra que el costo total de la instalación de una estación de carga rápida con un

cargador (EVSE) sería de entre \$50.000 - \$100.000 por estación. Estos valores están divididos en:

- Cargador (EVSE)
- Transformador de 480 voltios
- Materiales para la instalación (cables, tubería PVC, etc.)
- Otros materiales (Elementos para el montaje, señalización, elementos de seguridad, otros)
- Trabajo del técnico electricista
- Obras laborales (obras civiles como excavaciones, vaciado de concreto)
- Permisos para la instalación de los equipos (Estos pueden variar dependiendo de la ciudad o el país) (UPME, 2019)

CONCLUSIONES

Luego de haber analizado el parque automotor del Ecuador sobre la cantidad de vehículos eléctricos en circulación, se verificó que el Kia Soul tiene mayor presencia en el mercado y puede realizar viajes interurbanos. Su autonomía es de 152 [km], la más baja en comparación a otros vehículos, por lo tanto, la planificación de la infraestructura mínima de carga deberá ser realizada en base a este vehículo.

Los ciclos de conducción son metodologías que permiten obtener parámetros específicos de conducción ya que permiten saber el comportamiento del vehículo a lo largo de una ruta, en el caso de este estudio el consumo energético del vehículo eléctrico. Por otra parte, los métodos heurísticos y exactos ayudarán a estimar la ubicación de las estaciones de carga ya que ayudan en la simulación del modelo de acuerdo a la complejidad de las variables manejadas.

El parque automotor del 2017 con referencia al del 2021 creció de forma significativa en las provincias de Pichincha y Tungurahua, lo que sugiere la construcción de estaciones de carga como una necesidad potencial para que los distintos modelos de vehículos eléctricos que sean adecuados para transitar en vías interurbanas logren cumplir su objetivo. Esto representa un crecimiento del segmento eléctrico en el Ecuador.

La aplicación Torque Pro requiere de un celular para generar la base de datos, es decir que dependerá de este dispositivo móvil, mientras, que el equipo VBOX depende de sí solo. Los valores de latitud, longitud y velocidad encontrados por los dos equipos varían en un solo ámbito pues la aplicación Torque Pro lo calcula cada segundo y el VBOX lo hace cada milisegundo. Por lo tanto, los instrumentos seleccionados para la obtención de datos de conducción dependerán del tipo, complejidad y exactitud de los valores a obtener.

La geografía del Ecuador hace que los vehículos eléctricos requieran de una mayor potencia para recorrer y necesiten ser cargados de forma rápida, por lo que las estaciones de carga estarán ubicadas a una distancia de entre 40-55 [km], un valor muy inferior a Colombia a pesar de encontrarse en la misma región que recomienda ubicarlas a 90-130 [km], el valor sugerido en nuestro país está en los límites que presentan países de la Unión Europea y Estados Unidos de 60-100 [km], y cercano al de China que sugiere una distancia de alrededor de 45 [km].

Considerando que los vehículos eléctricos no están cargados al 100 [%] y pretenden cubrir la ruta CIAUTO – Tababela, conociendo las autonomías reales en carretera se puede determinar que estos vehículos no lograrán completar el viaje. Por lo tanto, existe la necesidad de colocar dos

estaciones de carga rápida en el trayecto de ida tomando como punto de referencia CIAUTO y otras dos para el viaje de regreso cuyo punto de referencia es el aeropuerto Mariscal Sucre ubicado en Tababela.

RECOMENDACIONES

Para conocer la realidad del parque automotor ecuatoriano se debe hacer la revisión bibliográfica en sitios especializados y con actualizaciones constantes, es el caso de la AEADE que realiza publicaciones anuales con recopilaciones de todos los modelos de vehículos matriculados en el Ecuador, con ello será fácil realizar un filtro de los modelos que se necesiten utilizar.

Analizar a profundidad las características de los vehículos eléctricos para saber si estos pueden realizar viajes interurbanos o solo pueden transitar en la ciudad.

Seguir en orden cronológico las metodologías escogidas para la toma de datos y la simulación pertinente, esto hará que el proceso sea más efectivo pues el margen de error será mínimo.

Cerciorarse que los equipos utilizados para la toma de datos se encuentren calibrados y se hayan fijado al vehículo, caso contrario se generaran valores erróneos y no existirá correlación entre los viajes que se realicen.

Efectuar el estudio de la planificación de la infraestructura mínima de carga rápida en otras vías del país.

Realizar un estudio sobre el estado de la red eléctrica a lo largo de la ruta CIAUTO - TABABELA, esto con la finalidad de saber si soportará la carga eléctrica generada por la cantidad de estaciones sugeridas.

BIBLIOGRAFÍA

AEADE, *Anuario 2018*. [en línea]. Quito: [consulta: 24 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.aeade.net/anuario/>.

AEADE, *Anuario 2020*. [en línea]. Quito: [consulta: 24 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.aeade.net/anuario/>.

AEADE, *Anuario 2021*. [en línea]. S.l.: [consulta: 24 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.aeade.net/anuario/>.

AENOR, Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. [en línea]. S.l.: [consulta: 7 noviembre 2022]. Disponible en: https://www.en.aenor.com/_layouts/15/r.aspx?c=N0028197.

AGENBROAD, J., Pulling Back the Veil on EV Charging Station Costs. [en línea]. [consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: <https://rmi.org/pulling-back-veil-ev-charging-station-costs/>.

ALEGRE, M.S., *Modelado del vehículo eléctrico e híbrido paralelo por medio de matlab/simulink y planificación de estaciones de carga mediante sistemas de información geográfica y algoritmos genéticos* [en línea]. TESIS DOCTORAL. Madrid: Universidad Nacional De Educación A Distancia. [consulta: 24 octubre 2022]. Disponible en: <http://e-spacio.uned.es/fez/view/tesisuned:IngInd-Msalegre>.

ASTUDILLO BRAVO, R.F., *Obtención de ciclos de conducción para la flota de buses urbanos del cantón Cuenca* [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 21 diciembre 2022]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6145>.

AUTOMOBILE CATALOG, Kia Soul EV. [en línea]. [consulta: 15 febrero 2023]. Disponible en: https://www.automobile-catalog.com/auta_details1.php#gsc.tab=0.

BRAUN, J.A., BEHMANN, R., SCHMIDER, D. & BESSLER, W.G., State of charge and state of health diagnosis of batteries with voltage-controlled models. *Journal of Power Sources* [en línea], vol. 544, [consulta: 12 noviembre 2022]. ISSN 03787753. DOI 10.1016/j.jpowsour.2022.231828. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85135555777&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=SOC+electric+vehicles&nlo=&nlr=&nls=&sid=ec8e24fbe61fe32a366b36c6559c>

86ad&sot=b&sdt=b&sl=36&s=TITLE-ABS-
KEY%28SOC+electric+vehicles%29&relpos=82&citeCnt=0&searchTerm=.

CABRERA, G., *Metodología para la ubicación óptima de estaciones de carga de vehículos eléctricos en sistemas de distribución de energía eléctrica considerando el comportamiento del usuario y la red eléctrica*. S.l.: s.n. 2020.

CABRERA, M.F., PUCHA, M.V., ESPARZA, D.E. & ALVARADO, J.V., Estudio comparativo del rendimiento de la batería de alta tensión en los vehículos eléctricos marca Kia Soul y Byd pertenecientes a la cooperativa de taxis “ecotaxi” de la ciudad de Loja. *Dominio de las ciencias* [en línea], vol. 7, no. 5, [consulta: 19 julio 2022]. ISSN 2477-8818. DOI <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i5.2281>. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8383849>.

CENGEL, Y. & BOLES, M., *Termodinámica* [en línea]. 6. S.l.: McGraw-Hil. Disponible en: www.FreeLibros.org.

COLMENAR SANTOS, A., DE PALACIO, C., BORGE DIEZ, D. & MONZÓN ALEJANDRO, O., Planning Minimum Interurban Fast Charging Infrastructure for Electric Vehicles: Methodology and Application to Spain. *Energies*, vol. 7, no. 3, ISSN 19961073. DOI 10.3390/en7031207.

COLMENAR-SANTOS, A., DE PALACIO, C., BORGE-DIEZ, D. & MONZÓN-ALEJANDRO, O., Planning minimum interurban fast charging infrastructure for electric vehicles: Methodology and application to Spain. *Energies*, vol. 7, no. 3, ISSN 19961073. DOI 10.3390/en7031207.

DÁVALOS FIGUEROA, D.S., *Obtención de un ciclo típico de conducción para los vehículos de la unión de taxistas del Azuay* [en línea]. Cuenca: Universidad Del Azuay. [consulta: 30 noviembre 2022]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7274>.

DFSK, Seres 3. [en línea]. S.l.: [consulta: 26 enero 2023]. Disponible en: <https://dfsk.es/wp-content/uploads/2021/05/fichaseres3.pdf>.

DÍAZ, V. & BAHAMONDE, C., Informe anual de la calidad de aire año [en línea]. Quito: [consulta: 26 enero 2023]. Disponible en: http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/Informe_Calidad_Aire_2018.pdf.

EL COMERCIO, 60 000 vehículos al día circulan en la reforma geométrica Simón Bolívar – Camino de los Conquistadores. [en línea]. [consulta: 19 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/vehiculos-simon-bolivar-conquistadores-guapulo.html>.

EL HALIM, A.A.E.B.A., BAYOUMI, E.H.E., EL-KHATTAM, W. & IBRAHIM, A.M., Electric vehicles: a review of their components and technologies. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems* [en línea], vol. 13, no. 4, [consulta: 30 octubre 2022]. DOI 10.11591/ijped.v13.i4.pp2041-2061. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85139957370&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=electric+vehicle&nlo=&nlr=&nls=&sid=bf7ccb7c8e769156383a28202802f128&sot=b&sdt=cl&cluster=scofreetoread%2c%22publisherfullgold%22%2c%22bscopubyr%2c%222022%22%2c%22bscosubjabbr%2c%22ENGI%22%2c&sl=31&s=TITLE-ABS-KEY%28electric+vehicle%29&relpos=4&citeCnt=0&searchTerm=>.

FIORI, C., AHN, K. & RAKHA, H.A., Power-based electric vehicle energy consumption model: Model development and validation. *Applied Energy*, vol. 168, ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2016.01.097.

GAO, Z., LIN, Z., LACLAIR, T.J., LIU, C., LI, J.M., BIRKY, A.K. & WARD, J., Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service. *Energy*, vol. 122, ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2017.01.101.

GILLESPIE, T.D., *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. S.l.: s.n. 1992.

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. & BAPTISTA, P., *Metodología de la investigación*. 6ta. S.l.: s.n. 2014.

HURTADO, A., *Desarrollo De Ciclos De Conducción Para El Área Metropolitana Centro Occidente - AMCO* [en línea]. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. [consulta: 2 febrero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/items/68baef7e-8f61-4848-97fd-2fcfe3c769b1>.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Global EV Outlook. [en línea]. S.l.: Disponible en: www.iea.org/t&c/.

LA HORA, Proyecto de taxis eléctricos en Loja fue un fracaso. *La Hora* [en línea]. [consulta: 9 julio 2022]. Disponible en: <https://www.lahora.com.ec/loja/proyecto-taxis-electricos-loja/>.

MASTOI, M.S., ZHUANG, S., MUNIR, H.M., HARIS, M., HASSAN, M., USMAN, M., BUKHARI, S.S.H. & RO, J.S., An in-depth analysis of electric vehicle charging station infrastructure, policy implications, and future trends. *Energy Reports* [en línea], vol. 8, [consulta: 24 octubre 2022]. ISSN 23524847. DOI 10.1016/j.egy.2022.09.011. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722017346>.

MERA, L.A., OTERO, P.E. & CALLE, V.E., Aplicación de la Simulación de Montecarlo para el Análisis de la Implementación de Estaciones de Carga Rápida para Vehículos Eléctricos en la Provincia de Galápagos. *Revista Técnica «energía». No* [en línea], vol. 17, [consulta: 9 noviembre 2022]. ISSN 1390-5074. Disponible en: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/434>.

MORRISSEY, P., WELDON, P. & O'MAHONY, M., Future standard and fast charging infrastructure planning: An analysis of electric vehicle charging behaviour. *Energy Policy* [en línea], vol. 89, [consulta: 7 noviembre 2022]. ISSN 03014215. DOI 10.1016/j.enpol.2015.12.001. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84952880304&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Future+standard+and+fast+charging+infrastructure+planning%3a+An+analysis+of+electric+vehicle+charging+behaviour&sid=43be1550796212d4f20253da200b3cac&sot=b&sdt=b&sl=124&s=TITLE-ABS-KEY%28Future+standard+and+fast+charging+infrastructure+planning%3a+An+analysis+of+electric+vehicle+charging+behaviour%29&relpos=0&citeCnt=220&searchTerm=>.

PÉREZ, P. & QUITO, C., *Determinación de los ciclos de conducción de un vehículo categoría m1 para la ciudad de cuenca* [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 2 febrero 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15032>.

RELIVE B.V., Relive: GPS Correr y Ciclismo. [en línea]. [consulta: 26 enero 2023]. Disponible en: <https://www.relive.cc/?hl=es>.

RESTREPO, A., CARRANZA, Y. & TIBAQUIRA, J., Diseño y aplicación de una metodología para determinar ciclos de conducción vehicular en la ciudad de pereira. *Scientia et Technica Año XIII* [en línea], vol. 37, [consulta: 20 abril 2023]. ISSN 0122-1701. Disponible en: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4071>.

REYES, G.G., GUANUCHE, D.J., PULLES, S.A. & AGUIRRE, M.S., Estudio de la percepción de vehículos eléctricos en la ciudad de Quito. [en línea], vol. 7, no. 5, ISSN 2477-8818. DOI 10.23857/dc.v7i5.2291. Disponible en: <http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/indexhttps://orcid.org/0000-0002-7133-9509>.

ROMAIN, N., *The Different Driving Cycles*. [en línea]. [consulta: 2 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/>.

Shenzhen Chaoyue Technology Development Torque App Instructions. [en línea], 2022. S.l.: [consulta: 7 noviembre 2022]. Disponible en: <https://es.manuals.plus/shenzhen-chaoyue-technology-development/torque-app-manual#axzz7k5Wbi4gC>.

SIAVICHAY, S.E., *Modelado de estaciones de carga rápida para vehículos eléctricos y sus efectos en un sistema de distribución de energía eléctrica* [en línea]. Cuenca: Universidad De Cuenca. [consulta: 13 octubre 2022]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28482>.

TRAVESSET-BARO, O., ROSAS-CASALS, M. & JOVER, E., Transport energy consumption in mountainous roads. A comparative case study for internal combustion engines and electric vehicles in Andorra. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [en línea], vol. 34, [consulta: 5 febrero 2023]. ISSN 13619209. DOI 10.1016/j.trd.2014.09.006. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84910024376&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Transport+energy+consumption+in+mountainous+roads.+A+comparative+case+study+for+internal+combustion+engines+and+electric+vehicles+in+Andorra&sid=2f429a11da299a48156bf78b378f9032&sot=b&sdt=b&sl=155&s=TITLE-ABS-KEY%28Transport+energy+consumption+in+mountainous+roads.+A+comparative+case+stud+y+for+internal+combustion+engines+and+electric+vehicles+in+Andorra%29&relpos=0&citeCnt=51&searchTerm=>.

UNIÓN EUROPEA, REGLAMENTO (UE) 2016 / 646 DE LA COMISIÓN - de 20 de abril de 2016 - por el que se modifica el Reglamento (CE) n.º 692 / 2008 en lo que concierne a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 6). [en línea]. S.l.: [consulta: 26 enero 2023]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0646&from=ES>.

UN-NOOR, F., PADMANABAN, S., MIHET-POPA, L., MOLLAH, M.N. & HOSSAIN, E., *A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges,*

Impacts, and Future Direction of Development [en línea]. 2017. S.l.: MDPI AG. [consulta: 7 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&zone=relatedDocuments&eid=2-s2.0-85027588048&citeCnt=0&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&st1=electric+vehicle&nlo=&nlr=&nls=&sid=bf7ccb7c8e769156383a28202802f128&sot=b&sdt=cl&cluster=scofreetoread%2c%22publisherfullgold%22%2c%22bscopubyr%2c%222022%22%2c%22bscosubjabbr%2c%22ENGI%22%2c&sl=31&s=TITLE-ABS-KEY%28electric+vehicle%29&relpos=0>.

UPME, Establecer Recomendaciones en Materia de Infraestructura de Recarga para la Movilidad Eléctrica en Colombia para los Diferentes Segmentos: Buses, motos, taxis, BRT. [en línea]. Bogotá: [consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en: https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/Consortio_Usaene_sumatoria_producto_3_estaciones_de_cargaVF.pdf.

UYAGUARI, A.V., *Análisis del requerimiento operativo y legal para los vehículos eléctricos en el Distrito Metropolitano de Quito, DMQ* [en línea]. Quito: Universidad Central Del Ecuador. [consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20593>.

WONG, J.Y., *Theory Of Ground Vehicles* [en línea]. Tercera. S.l.: John Wiley. [consulta: 5 febrero 2023]. ISBN 0471354619. Disponible en: http://160592857366.free.fr/joe/ebooks/Automotive%20engineering%20books/Theory_of_ground_vehicles.pdf.

ZHAO, M. & LU, Y., A Heuristic Approach for a Real-World Electric Vehicle Routing Problem. *Algorithms*, vol. 12, no. 2, ISSN 19994893. DOI 10.3390/a12020045.

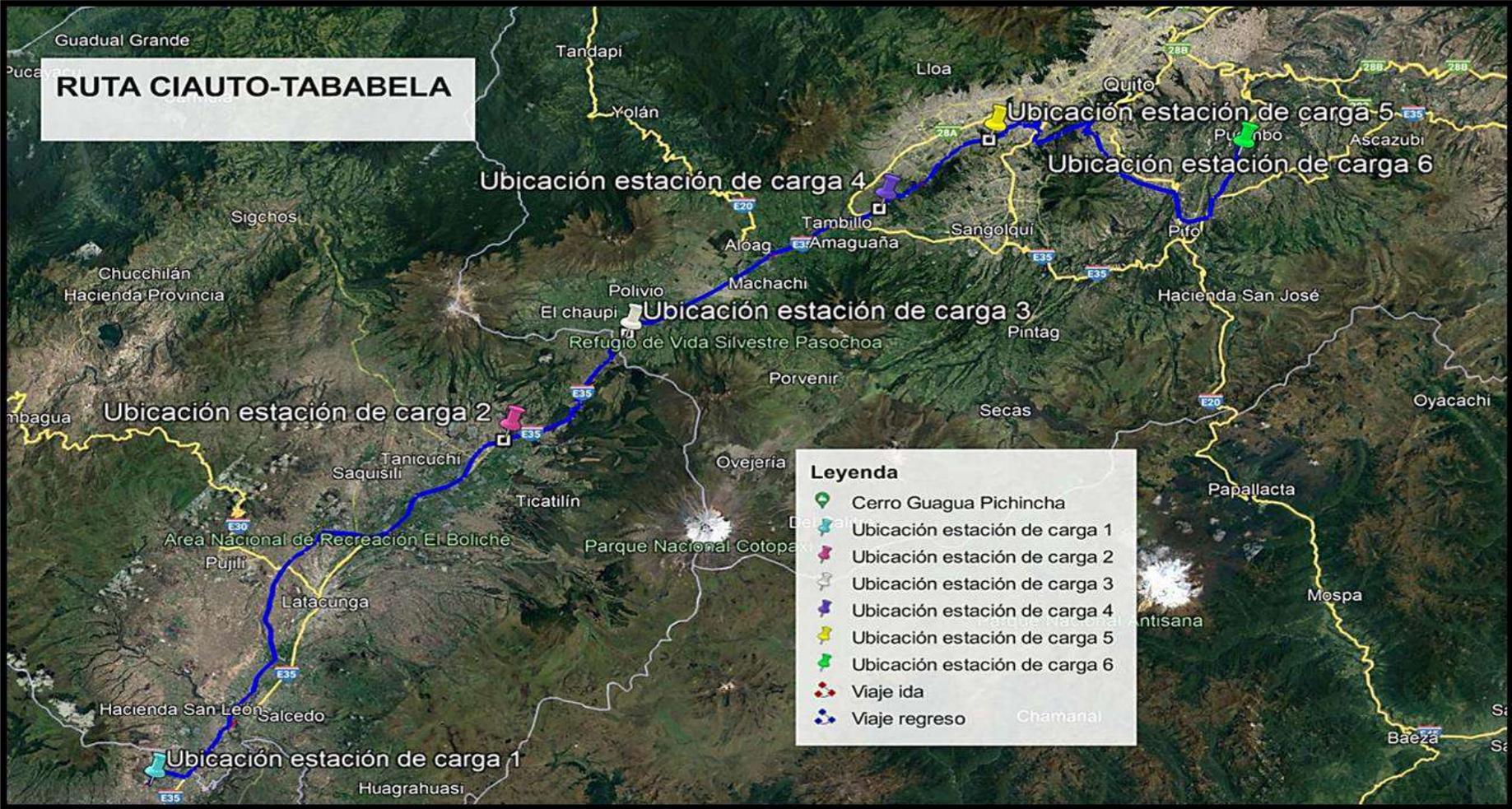
ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE LA RUTA DE ESTUDIO



Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.

ANEXO B: UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CARGA RÁPIDA



Realizado por: Abril C & Yanzapanta M, 2023.