



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

PROPUESTA DE LOCALIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
MÍNIMA DE CARGA RÁPIDA EN VÍAS INTERURBANAS CASO
RIOBAMBA-PUYO

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de

INGENIERO/A AUTOMOTRIZ

AUTORES:

BRAYAN FERNANDO JIMENEZ LOPEZ

DIANELIS MARILEXI OCAMPO OCAMPO

Riobamba-Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

PROPUESTA DE LOCALIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
MÍNIMA DE CARGA RÁPIDA EN VÍAS INTERURBANAS CASO
RIOBAMBA-PUYO.

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de

INGENIERO/A AUTOMOTRIZ

AUTORES: BRAYAN FERNANDO JIMENEZ LOPEZ

DIANELIS MARILEXI OCAMPO OCAMPO

DIRECTOR: Ing. LUIS FERNANDO BUENAÑO MOYANO MSc.

Riobamba-Ecuador

2023

© 2023, **Brayan Fernando Jiménez López, Dianelis Marilexi Ocampo Ocampo.**

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

Nosotros, Brayan Fernando Jiménez López y Dianelis Marilexi Ocampo Ocampo, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo 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, 12 de diciembre de 2023



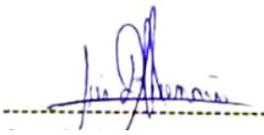
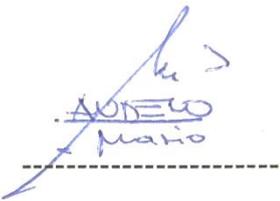
Brayan Fernando Jiménez López
060515392-3



Dianelis Marilexi Ocampo Ocampo
160073621-7

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, **PROPUESTA DE LOCALIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURA MÍNIMA DE CARGA RÁPIDA EN VÍAS INTERURBANAS CASO RIOBAMBA-PUYO**, realizado por el señor y la señorita: **BRAYAN FERNANDO JIMÉNEZ LÓPEZ & DIANELIS MARILEXI OCAMPO OCAMPO**, 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 tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 -----	2023-12-12
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano MSc DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 -----	2023-12-12
Dr. Mario Efraín Audelo Guevara ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 -----	2023-12-12

DEDICATORIA

Al tener días buenos siempre habrá quienes estén cerca pero cuando caes, te sientes vencido o llega un fracaso, los únicos que siempre estén a tu lado serán tus padres, sin importar que tan grave pueda ser.

Y pues el presente trabajo de titulación y la totalidad de mi vida hasta el momento es dedicada a mis padres, quienes jamás me han negado su apoyo o su opinión respecto a la vida, mi padre Ángel Eduardo Jimenez Maigua, el cual es un hombre valiente, luchador y que nunca se da por vencido, siempre siendo un gran guía dando lo mejor de sí, definitivamente un verdadero héroe. Para mi madre Rosa Elvira Lopez Padilla quien, con su inexorable amor, ha sido un refugio cálido, en el cual se puede descansar y sentirse tranquilo, una mujer verdaderamente audaz, que nunca se ha rendido y sé que nunca lo hará a pesar de los problemas o golpes de la vida, es mi fuente de inspiración y admiración para no rendirme, ella representa el verdadero significado de igualdad, fuerza, valentía, cariño y complicidad.

Brayan Jiménez

En la vida, encontramos inspiración en las personas que nos rodean y que nos ayudan en cada etapa de nuestro camino.

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres Vilma y Segundo; cuyo amor, sacrificio y ejemplo han sido mi mayor inspiración, por dar lo mejor de sí mismos para darme una vida mejor y más plena. A mi padre por su valentía y perseverancia, que ha sido un ejemplo inigualable de fortaleza y sabiduría y a mi madre, por su amor y ternura, que ha alimentado mi alma y me ha enseñado a ser un buen ser humano

Dianelis Ocampo

AGRADECIMIENTO

Al final de un camino o una etapa concluida de tu vida, siempre hay que agradecer a quienes te han acompañado en dicho recorrido. Así pues, agradezco a Dios por el don de la vida, por permitirme de disfrutar de tantos momentos bellos u otros no tanto, pero siempre me permite aprender de cada situación, le agradezco de permitirme llegar a este punto de mi vida acompañado de una gran familia como mis padres y hermanos, agradezco por las personas que puso en mi camino tanto como amigos, docentes y allegados.

Me da gusto el poder extender un muy sincero agradecimiento al director del trabajo de titulación Ing. Luis Buenaño y al Dr. Mario Audelo asesor, por su tiempo, sus conocimientos y por mostrarme que siempre se puede mejorar para buscar el camino a la excelencia en todos los aspectos de la vida.

Por último, pero no menos importante, a mis compañeros de vida y de aulas, mis amigos quienes siempre están ahí brindando su apoyo moral, verbal o sentimental, siempre tienen palabras para reanimar el espíritu, provocar carcajadas o simplemente para una conversación tranquila.

A todos ellos un mil gracias por ser parte de mi vida. Aportaron siempre mucho.

Brayan Jiménez

Agradecer a Dios por su inmensurable amor, guía y apoyo en mi vida. Su presencia constante me ha iluminado en los momentos más difíciles y me ha dado la fuerza para enfrentar los desafíos. Estoy convencida de que, sin su intervención y sabiduría, no habría sido posible alcanzar mis sueños anhelados.

A mi director Ing. Luis Buenaño y asesor Dr. Mario Audelo por su tiempo y dedicación brindada en la elaboración de este trabajo de investigación

A mis compañeros y amigos quienes me acompañaron en el transcurso de mi vida universitaria, les agradezco por su inquebrantable apoyo y comprensión. Sus palabras de aliento, sus “acolites” y su amistad han sido un bálsamo en los momentos más desafiantes. Gracias por ser parte fundamental en esta inolvidable travesía

Dianelis Ocampo

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
RESUMEN.....	xv
SUMMARY	xiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del Problema.	2
1.2. Limitaciones y delimitaciones.....	2
1.3. Problema General de Investigación.....	3
1.4. Problemas específicos de investigación.....	3
1.5. Objetivos	3
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.6. Justificación	4
1.6.1. <i>Justificación Teórica</i>	4
1.6.2. <i>Justificación Metodológica</i>	4
1.6.3. <i>Justificación Práctica</i>	4
1.7. Hipótesis.....	5
1.7.1. <i>Hipótesis alternativa</i>	5
1.7.2. <i>Hipótesis nula</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
-----------------------	---

2.1.	Antecedentes de investigación	5
2.2.	Referencias Teóricas	6
2.2.1.	<i>Evolución del vehículo eléctrico</i>	6
2.2.2.	<i>Clasificación de la tecnología vehicular</i>	8
2.2.3.	<i>Vehículo eléctrico de pila de combustible</i>	9
2.2.4.	<i>Baterías para V.E.</i>	10
2.2.5.	<i>Autonomía de los vehículos eléctricos.</i>	14
2.2.6.	<i>Tipos de recarga de un vehículo eléctrico</i>	14
2.2.7.	<i>Vehículos eléctricos con carga rápida</i>	16
2.2.8.	<i>Tipos de conectores</i>	16
2.2.9.	<i>Modos de carga</i>	20
2.2.10.	<i>Definición e importancia de las estaciones de carga.</i>	22
2.2.11.	<i>Metodologías para las ubicaciones de estaciones de carga</i>	22
2.2.12.	<i>Desarrollo del modelo matemático</i>	26
2.2.13.	<i>Ventajas e inconvenientes del uso de vehículos eléctricos frente a los de motor de combustión interna.</i>	28
2.2.14.	<i>Situación internacional sobre V.E.</i>	31
2.2.15.	<i>Situación y normativa nacional sobre los V.E</i>	32

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	33
3.1.	Esquema metodológico	33
3.2.	Enfoque de investigación	36
3.3.	Nivel de Investigación	36
3.4.	Diseño de investigación	36
3.4.1.	<i>Cuasiexperimental.</i>	37
3.4.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	37
3.5.	Tipo de estudio	37

3.5.1. <i>Investigación Documental</i>	37
3.5.2. <i>Investigación de campo</i>	37
3.6. Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	37
3.6.1. <i>Población y Muestra</i>	38
3.6.2. <i>Planificación...</i>	38
3.7. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación.	39
3.7.1. <i>Selección de metodología</i>	39
3.7.2. <i>Recopilación de datos</i>	40
3.7.3. <i>Caracterización y procesamiento de rutas</i>	40
3.7.4. <i>Vehículos eléctricos de carga rápida homologados en el país</i>	45
3.7.5. <i>Cálculo de MDFC y BHCI</i>	47
3.7.6. <i>Probables ubicaciones de las estaciones de carga rápida</i>	54
3.7.7. <i>Modelado del consumo energético y su relación con el BHCI planteado</i>	57
3.7.8. <i>Escenarios de simulación</i>	72

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	73
4.1. Modelo de consumo energético calibrado	73
4.2. Resultados de la simulación de la ubicación del BHCI propuesto con el KIA Soul EV	74
4.2.1. <i>Demanda energética de las rutas</i>	74
4.2.2. <i>Resultados Ruta 1</i>	75
4.2.3. <i>Resultados Ruta 2</i>	81
4.3. Ubicaciones definitivas de las estaciones de carga	87
4.3.1. <i>Ubicaciones de las estaciones de carga para la ruta 1</i>	87
4.3.2. <i>Ubicaciones de las estaciones de carga para la ruta 2</i>	88
4.4. Comprobación de la Hipótesis	90

CAPITULO V

5. MARCO PROPOSITIVO	93
5.1. Propuesta de características técnicas de la infraestructura de carga.....	93

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
6.1. Conclusiones	93
6.2. Recomendaciones	93

GLOSARIO

BIBLIOGRAFIA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Valores para Mw según las condiciones climáticas	25
Tabla 2-2:	Valores para margen de flexibilidad.....	26
Tabla 3-1:	Cronograma de actividades del trabajo de investigación	39
Tabla 3-2:	Vehículos eléctricos homologados de carga rápida para Ecuador.....	46
Tabla 3-3:	Venta de vehículos eléctricos 2018-2021	47
Tabla 3-4:	Temperaturas en la ruta 1.	48
Tabla 3-5:	Temperaturas en la ruta 2.	49
Tabla 3-6:	Valores necesarios para el MDFC de la ruta 1 ida	51
Tabla 3-7:	Valores necesarios para el MDFC de la ruta 1 regreso	51
Tabla 3-8:	Valores necesarios para el MDFC de la ruta 2 ida	52
Tabla 3-9:	Valores necesarios para el MDFC de la ruta 2 regreso	52
Tabla 3-10:	Coordenadas geográficas pertenecientes a las estaciones de carga Riobamba-Puyo-Riobamba, Ruta 1.	55
Tabla 3-11:	Coordenadas geográficas pertenecientes a las estaciones de carga Riobamba-Puyo-Riobamba, Ruta 2.	56
Tabla 3-12:	Especificaciones de los vehículos utilizados para la obtención de datos y simulación.....	59
Tabla 3-13:	Diferencias mínimas ponderadas de los registros de ida de la ruta 1	66
Tabla 3-14:	Diferencias mínimas ponderadas de los registros de regreso de la ruta 1	67
Tabla 3-15:	Diferencias mínimas ponderadas de los registros de ida de la ruta 2	67
Tabla 3-16:	Diferencias mínimas ponderadas de los registros de regreso de la ruta 2	68
Tabla 3-17:	Determinación de coeficientes de variación de los parámetros característicos pertenecientes a la Ruta 1.....	68
Tabla 3-18:	Determinación de coeficientes de variación de los parámetros característicos pertenecientes a la Ruta 2.....	69
Tabla 3-19:	Resumen de parámetros de los registros seleccionados	69
Tabla 4-1:	Demanda energética del VE en las rutas 1 y 2	74

Tabla 4-2:	SOC de batería escenario 1 trayecto de ida	76
Tabla 4-3:	SOC de batería escenario 1 trayecto de regreso	76
Tabla 4-4:	SOC de batería escenario 2 trayecto de ida	77
Tabla 4-5:	SOC de batería escenario 2 trayecto de regreso	78
Tabla 4-6:	SOC de batería escenario 3 trayecto de ida	79
Tabla 4-7:	SOC de batería escenario 3 trayecto de regreso	80
Tabla 4-8:	Resultados de la simulación del escenario 1. Riobamba-Puyo.....	81
Tabla 4-9:	Resultados de la simulación del escenario. Puyo-Riobamba.....	82
Tabla 4-10:	Valores obtenidos en la simulación del escenario 2. Riobamba-Puyo	83
Tabla 4-11:	Valores obtenidos en la simulación del escenario 2. Puyo-Riobamba	84
Tabla 4-12:	Resultados de la simulación del escenario 3. Riobamba-Puyo.....	85
Tabla 4-13:	Comparación de la demanda y eficiencia energética de las rutas.....	87
Tabla 4-14:	Ubicaciones definitivas de las estaciones de carga ruta 1	88
Tabla 4-15:	Ubicaciones definitivas de las estaciones de carga ruta 2	89
Tabla 4-16:	Resumen de SOC de llegada y salida de las Estaciones.....	92
Tabla 4-17:	Resumen de SOC de llegada y salida de las Estaciones.....	93
Tabla 5-1:	Características técnicas de la estación de carga rápida.....	94
Tabla 5-2:	Requerimientos civiles mínimos para la estación de carga rápida	94
Tabla 5-3:	Costos de instalación de estaciones de carga rápida.....	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Primer vehículo eléctrico	6
Ilustración 2-2: Estructura básica de un vehículo eléctrico.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 2-3: Configuración del vehículo de pila de combustible;	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 2-4: Distribución de pines de J1772	16
Ilustración 2-5: Distribución de pines del conector IEC 62196-2	17
Ilustración 2-6: Distribución de pines del conector CCS	18
Ilustración 2-7: Conector Tesla utilizado únicamente en EE. UU.	19
Ilustración 2-8: Conector GB/T 20234-3	19
Ilustración 2-9: Conector CHAdeMO	20
Ilustración 2-10: Modo de carga	21
Ilustración 2-11: Evolución del mercado de vehículos alternativos en 2022	32
Ilustración 3-1: Diagrama de flujo de la metodología propuesta para el desarrollo.....	35
Ilustración 3-2: Rutas de estudios: Tramo Riobamba – Puyo-Riobamba.	41
Ilustración 3-3: Gráfica del procedimiento para suavizar las señales de altitud interpoladas .	45
Ilustración 3-4: Ubicación de estaciones de carga Riobamba-Puyo, Puyo-Riobamba, ruta 1.	55
Ilustración 3-5: Ubicación de estaciones de carga Riobamba-Puyo, Puyo-Riobamba, ruta 2.	56
Ilustración 3-6: Curva de 50 [KW] de potencia de carga KIA Soull EV	64
Ilustración 3-7: Ciclos de conducción representativos Ruta 1 (a) Ciclo de ida Riobamba-Penipe-Puyo y (b) Ciclo de regreso Puyo- Penipe-Riobamba.....	71
Ilustración 3-8: Ciclos de conducción representativos Ruta 1 (a) Ciclo de ida Riobamba-Penipe-Puyo y (b) Ciclo de regreso Puyo-Pelileo-Riobamba.	72
Ilustración 4-1: Modelo energético reajustado a los nuevos requerimientos de las rutas.	74
Ilustración 4-2: Resultados de la simulación del escenario 1. Ruta 1 ida	76
Ilustración 4-3: Resultados de la simulación del escenario 1. Ruta 1 regreso.....	77
Ilustración 4-4: Resultados de la simulación del escenario 2. Ruta 1 Ida	78
Ilustración 4-5: Resultados de la simulación del escenario 2. Ruta 1 Regreso	79
Ilustración 4-6: Resultados de la simulación del escenario 3. Ruta 1 Ida	80
Ilustración 4-7: Resultados de la simulación del escenario 3. Ruta 1 Regreso	81
Ilustración 4-8: Resultados de la simulación del escenario 1. Ruta 2 ida	82
Ilustración 4-9: Resultados de la simulación del escenario 1. Ruta 2 Regreso	83
Ilustración 4-10: Resultados de la simulación del escenario 2. Ruta 2 ida.....	84

Ilustración 4-11: Resultados de la simulación del escenario 2. Ruta 2 Regreso	85
Ilustración 4-12: Resultados de la simulación del escenario 3. Ruta 2 Ida	86
Ilustración 4-13: Resultados de la simulación del escenario 3. Ruta 2 Regreso	86
Ilustración 4-14: Ubicaciones definitivas de las estaciones de carga ruta 1	88
Ilustración 4-15: Ubicaciones definitivas de las estaciones de carga ruta 2.....	89
Ilustración 4-16: Resultados de la prueba estadística para el	91
Ilustración 4-17: Resultados de la prueba estadística para el	92

RESUMEN

La dependencia de los derivados del petróleo para la transportabilidad terrestre ha obligado principalmente a la industria automotriz a apostar por las nuevas tecnologías que son los vehículos eléctricos como alternativa para la mitigación a los problemas de contaminación, sin embargo, su masificación se ve limitada por requerimientos de infraestructura de carga. El presente trabajo de investigación propone establecer la localización de la infraestructura mínima de carga rápida en vías interurbanas; específicamente en la ruta Riobamba-Puyo, para ello la metodología implementada tiene un enfoque cualitativo y cuantitativo basándose en la aplicación del método de la distancia máxima entre estaciones de carga y la realización de un modelo matemático que permite mediante el comportamiento del estado de carga de la batería y la distancia recorrida ajustar la ubicación de las estaciones de carga. Una vez que se ha aplicado el método y el modelo en el caso de estudio Riobamba-Puyo, se demuestra que la estrategia utilizada es capaz de determinar las ubicaciones más idóneas para el recorrido, además de establecer que el número de infraestructuras básicas de recarga en las vías seleccionadas y su ubicación son suficientes para permitir que el vehículo eléctrico analizado complete la ruta. En tal sentido se concluye que, analizando los ciclos de conducción representativos, junto con parámetros básicos de localización se puede determinar y ajustar tanto el número de estaciones de carga como su ubicación, además de obtener el consumo energético del vehículo por cada trayecto basados en la modelación matemática.

Palabras clave: <VEHÍCULOS ELÉCTRICOS>, <INFRAESTRUCTURA DE CARGA RÁPIDA>, <CICLOS DE CONDUCCIÓN>, <MODELO DE CONSUMO ENERGÉTICO>, <ESTACIONES DE CARGA>

0131-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

The dependence on petroleum derivatives for land transportation has forced the automotive industry to bet on new technologies such as electric vehicles as an alternative to mitigate pollution problems. However, their massification is limited by charging infrastructure requirements. This research work proposes to establish the location of the minimum fast charging infrastructure in interurban roads; specifically in Riobamba-Puyo route, for this the methodology implemented has a qualitative and quantitative approach based on the application of maximum distance method between charging stations and the realization of a mathematical model that allows through the behavior of the state of battery charge and the distance traveled to adjust the location of the charging stations. Once the method and the model have been applied in Riobamba-Puyo case study, it is shown that the strategy used can determine the most suitable locations for the route. In addition, establishing that the number of basic charging infrastructures on the selected roads and their location are sufficient to allow the electric vehicle analyzed to complete the route. In this sense, it is concluded that by analyzing the representative driving cycles, together with basic location parameters, it is possible to determine and adjust both the number of charging stations and their location, in addition to obtaining the energy consumption of the vehicle for each route based on mathematical modeling.

Keywords: <ELECTRIC VEHICLES>, <FAST CHARGING INFRASTRUCTURE>, <DRIVING CYCLES >, <ENERGY CONSUMPTION MODEL>, <CHARGING STATIONS>.



Lic. Sandra Paulina Porrás Pumalema Mgs.

C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que abruma a la humanidad es sin duda la contaminación ambiental. El aumento del consumo de combustibles fósiles por la industria automotriz ha sido y es el principal agente contaminador, sin embargo, los gobiernos y la misma industria automotriz, han mostrado interés en nuevas tecnologías que ayudan a mitigar dicha problemática (Vásquez Bernal, 2019, p.3)

Como alternativa, el sector automotriz ha desarrollado nuevas tecnologías que permiten usar fuentes alternas de energía como es la electricidad. (Narvaez, 2017, p.9) Es aquí donde los vehículos eléctricos se muestran como una solución global para la movilidad, enfatizando que en los últimos años se ha desarrollado vehículos eléctricos más eficientes y económicos con la finalidad de que la mayoría de los usuarios opten por esta nueva opción. (Otero, Mera y Calle, 2021, p.2)

No obstante, un vehículo eléctrico a la par de presentar muchos beneficios como es un buen par motor y un buen torque a la hora de arrancar el vehículo, también presenta severas desventajas las cuales le impiden avanzar como se espera por el beneficio de la población, pues su principal desventaja son los niveles de autonomía de las baterías ya que si bien existen vehículos de autonomías altas, pero con un peso excesivo de baterías y con mayor costo, hay otros de menor peso pero su autonomía se reduce a varias decenas de km, limitando así la capacidad de los VE para competir con los vehículos de combustión interna. A pesar de estos inconvenientes, los fabricantes siguen lanzando iniciativas y convenios con gobiernos nacionales para impulsar la electrificación pudiendo mencionar el aumento de los puntos de recarga para los VE actuales. (Restrepo y Tobón, 2018)

Por tal motivo, la infraestructura de carga para vehículos eléctricos es un aspecto particularmente importante, considerando la escasez de instalaciones y la falta de estudios sobre la ubicación de las estaciones mínimas de carga rápida en zonas interurbanas. De manera que el presente trabajo de investigación propone establecer ubicaciones tentativas para las infraestructuras de carga mediante un modelo matemático, además de considerar factores geográficos y ambientales para el análisis

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

El uso de los derivados del petróleo se ha convertido en la principal fuente de energía para la industria automotriz. Las entidades gubernamentales y particularmente el sector automotriz han mostrado interés en nuevas tecnologías como medio de ayuda para la mitigación a los problemas de contaminación asociados con la quema de combustibles fósiles. Uno de los avances tecnológicos más destacables en el transporte es el desarrollo de los vehículos eléctricos (V.E). En los últimos años, los V.E han conseguido posesionarse como una alternativa de movilidad sostenible que contribuye a reducir la dependencia de combustibles y sobre todas las emisiones de gases contaminantes. (Vásquez Bernal, 2019, p.3)

Pese a sus beneficios, existen obstáculos fundamentales que retrasan la adopción de los sistemas de sistemas de V.E como son: i) Limitado rango de autonomía, ii) Tiempo requerido de recarga y iii) Falta de infraestructura de carga eléctrica. Esta última restricción genera un temor por parte del conductor a tener un nivel insuficiente de carga para llegar a un destino. Es por todo esto que, tanto a nivel nacional como local, la infraestructura de carga para V.E es un punto de mayor relevancia, considerando la falta de instalaciones y de estudios o modelos de ubicación para la instalación de estaciones de carga rápida en zonas interurbanas (Vásquez Bernal, 2019, p.14)

1.2. Limitaciones y delimitaciones

El alcance del presente trabajo de investigación tiene un enfoque dirigido al estudio y análisis de las ubicaciones de estaciones de carga rápida para vehículos eléctricos, mediante las aplicaciones de técnicas documentales por medio de información disponible en distintos sitios web, artículos, trabajos de investigación, etc. Se establece las condiciones de funcionamiento que puede tener un vehículo eléctrico en viajes extensos en los cuales pudiese llegar a necesitar de una recarga de baterías y se establece factores (geográficos, climáticos, eléctricos y de simulación), además de criterios logísticos que influyen en el estudio de las ubicaciones de las infraestructuras de carga en las rutas de estudio, específicamente en las vías principales que conectan las ciudades de Riobamba-Puyo.

1.3. Problema General de Investigación

¿Cómo determinar la ubicación de infraestructura mínima de carga rápida en el caso de la vía interurbana Riobamba – Puyo, basado en parámetros de geolocalización y velocidad del vehículo generados durante la conducción?

1.4. Problemas específicos de investigación

¿Cuáles deberían ser las variables y condiciones apropiadas para establecer la ruta más eficiente según la evaluación energética de los ciclos de conducción y se pueda determinar la ubicación adecuada de las estaciones de carga para que un vehículo eléctrico tenga su mayor eficiencia durante el recorrido?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Proponer la localización de infraestructura mínima de carga rápida en vías interurbanas caso Riobamba-Puyo, mediante recolección de datos tales como velocidad y geolocalización durante la conducción para mediante simulación establecer los puntos estratégicos de carga para vehículos eléctricos.

1.5.2. Objetivos Específicos

Indagar sobre los parámetros necesarios en la localización de estaciones de carga mediante revisión bibliográfica de documentos científicos para buscar estrategias que permitan instalar estaciones de carga rápida.

Recolectar los datos en vehículos que recorran los trayectos Riobamba – Puyo, mediante el uso de aplicaciones GPS, para obtener los ciclos de conducción representativos.

Determinar la ruta que represente la menor demanda energética para un V.E en el traslado Riobamba – Puyo, mediante la evaluación energética de los ciclos de conducción para posteriormente determinar la localización de las infraestructuras de carga.

Proponer las ubicaciones de las estaciones de carga rápida basados en los resultados de la simulación y en la autonomía de un vehículo eléctrico para una correcta implementación de las estaciones.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación Teórica

El presente trabajo de investigación pretende generar una fuente fiable de información tanto para la ingeniería como para la población en general que necesite ampliar su conocimiento acerca de la autonomía que un vehículo eléctrico puede ofrecer en una ruta de conducción muy utilizada por el sector turístico del país

1.6.2. Justificación Metodológica

La metodología a desarrollar se basa en la generación, calibración y aplicación de un análisis técnico en un caso determinado que permite definir la ubicación de las infraestructuras mínimas de carga rápida para vehículos eléctricos basados en modelos matemáticos y simulación de datos; siguiendo un proceso universal además de ordenado que se indaga por medio de metodologías de investigación tanto cuantitativas como inductivas, revisando trabajos de investigación similares como artículos, tesis, revistas científicas de los cuales se obtiene la información validada, además de generar un nivel alto en la confiabilidad y eficacia del método que permitirá llegar a determinar las distintas ubicaciones de los puntos de reabastecimiento en las rutas seleccionadas para el caso de estudio.

La presente investigación está basada en la metodología para la ubicación de estaciones de carga rápida en las rutas interurbanas seleccionadas.

1.6.3. Justificación Práctica

El realizar el estudio de las ubicaciones para las estaciones de carga estratégicas es de suma importancia ya que se analizarán los parámetros de autonomía, eficiencia, tiempo, velocidad basados en la dinámica del vehículo y en el relieve de las vías en las que se tienen en las rutas del país. Tomando en cuenta que no existen estudios previos sobre las ubicaciones de estaciones de carga direccionadas al sector oriental del país.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis alternativa

La ubicación de las estaciones de carga rápida en la ruta Riobamba – Puyo permiten que un vehículo eléctrico (V.E) pueda realizar un viaje de ida y vuelta tomando en cuenta los parámetros de autonomía y eficiencia.

1.7.2. Hipótesis nula

La ubicación de las estaciones de carga rápida en la ruta Riobamba – Puyo no permiten que un vehículo eléctrico (V.E) pueda realizar un viaje de ida y vuelta tomando en cuenta los parámetros de autonomía y eficiencia.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

Según el documento elaborado por Paute Torres y Sempertegui Moscoso (2020) se emplea la adquisición de datos mediante equipos de geolocalización para posteriormente realizar la implementación y calibración del modelo matemático el cual permite llegar a un nivel aproximado del consumo de la energía en las baterías de los VE basándose en el comportamiento dinámico que tiene un vehículo durante un recorrido en carretera. Se un modelo cuasiestacionario-hacia atrás.

El trabajo de titulación de Vásquez Bernal (2019) propone el proceso analítico jerárquico (AHP) el mismo que es desarrollado en cuatro fases: estructuración y representación jerárquica del problema, comparación por pares, priorización-síntesis y análisis de sensibilidad, siendo capaz de determinar las ubicaciones más aptas para las infraestructuras.

En el documento elaborado por Jaramillo y Uchuari (2021) utilizan peculiaridades destacadas que se requiere para la implementación de estaciones como: demanda de energía eléctrica, tipos de vehículos que circulan a nivel nacional, además del plan de movilidad y planificación territorial,

fenómenos naturales y dimensiones. Para esto es necesario tomar en cuenta los valores de consumo de la ciudad, para finalmente seleccionar las áreas de implementación de las electrolíneas.

2.2. Referencias Teóricas

2.2.1. Evolución del vehículo eléctrico

Aunque hoy en día el vehículo eléctrico pareciera una verdadera revolución en la movilidad; la verdad es que al igual que los vehículos híbridos esta tecnología ya fue desarrollada muchos años atrás incluso antes de la existencia de los motores de combustión, solo que, al paso del tiempo, la contaminación y las nuevas regulaciones han orillado a los fabricantes de vehículos a retomar tecnologías olvidadas en el tiempo.

Para que un vehículo pueda impulsarse necesitaba de un motor y pues el precursor de los motores eléctricos fue Michael Faraday quien descubrió la inducción y creó el motor eléctrico de rotación electromagnética, esto consta como al punto de partida para la creación de los vehículos eléctricos. (Sociedad de técnicos de automoción, 2011, p.19) Según la ilustración 2-1 de Vázquez Casillas se muestra el primer vehículo impulsado por motores de rotación electromagnética.



Ilustración 2-1: Primer vehículo eléctrico

Fuente: Vázquez Casillas, 2018, p.25

Al primer inventor que se le atribuye el vehículo eléctrico es Robert Anderson ya que entre 1832 y 1839 diseñó y construyó un carruaje el cual era impulsado por un motor eléctrico y contaba con baterías no recargables lo cual claramente era una desventaja frente a los demás motores, tiempo después, se diseñó una locomotora eléctrica por el inventor Robert Davinson la cual era lenta,

pero serviría como punto de partida para los trenes y tranvías.

Para el año 1884 en Inglaterra se desarrollaron varios modelos de vehículos eléctricos creados por Thomas Parker, sus modelos eran producidos en masa en Inglaterra ya que podían circular legalmente en las carreteras de dicho país. (Paute y Sempertegui, 2020, p.31)

En Estados Unidos también se estaba avanzando con la investigación en los vehículos eléctricos y en 1894 el ingeniero mecánico William Morrison diseñó su primera camioneta la cual podía circular a 23 km/h. tiempo después establece una alianza estratégica con el químico Pedro Salom y crean a finales del siglo su vehículo eléctrico llamado “Electrobat” el cual solía ser usado como taxi por la compañía Morris & Salom Electric Carriage and Wagon Company, este nuevo vehículo alcanzaba velocidades de hasta 32 km/h con una autonomía de 40 km, hablando de porcentajes totales de venta en Estados Unidos se vendía un 38% de vehículos eléctricos respecto a los de combustión.

Thomas Edison realizó una gran contribución a la evolución de los vehículos eléctricos con la invención de la batería recargable de hierro-níquel lo cual constituía un gran avance en la limitada autonomía que tenían los vehículos eléctricos. (Vázquez Casillas, 2018, p.26)

Ferdinand Porsche para el año 1898 presentó su primer vehículo eléctrico el “Egger-Lohner Model C.2 Phaeton” más comúnmente conocido como el Porsche P1, las características de este vehículo eran una potencia de 2.2 a 3.2 kW con una velocidad de 37 km/hora y una increíble autonomía de 80 km, una auténtica locura para ese momento. Pero si de autos eléctricos que hicieron historia se habla; pues hay que mencionar a “La Jamais Contente” ya que en Francia en el año de 1899 fue el primer vehículo eléctrico en superar los 100 km/hora.

Estos fueron los años de mayor apogeo de la movilidad eléctrica, pero cuando se estaba alcanzando el punto más elevado surge el empresario Henry Ford con su vehículo a combustión, el Ford Modelo T con una mayor autonomía, un motor más potente, ofreciendo una mayor facilidad de manejo y sobre todo un precio reducido ya que fue el primer modelo que se empezó a fabricar en masa, así los vehículos eléctricos empezaron a desaparecer poco a poco y con la llegada de la primera guerra mundial se olvidaron completamente de un vehículo con mencionada tecnología. (Paute y Sempertegui, 2020, p.33)

Debido a los problemas de escasez de petróleo y la mayor preocupación por la contaminación que producen los vehículos a combustión, se les dio una nueva oportunidad a los vehículos eléctricos

ya que cada vez más estados, regiones y países creaban normas que pedían la disminución de contaminación. Así cada vez más fabricantes a nivel mundial obligados a investigar nuevas formas de electromovilidad desarrollaron nuevas baterías, motores eléctricos, formas de recargas baterías y así los V.E se presentan como una alternativa para el transporte del futuro como un transporte amigable con el medio ambiente y seguro. Aunque su rápida evolución se ve frenada por factores económicos, técnicos y sociales; no hay duda de que los vehículos híbridos y eléctricos serán parte esencial de la vida humana para el futuro.

2.2.2. Clasificación de la tecnología vehicular

Dentro de la clasificación vehicular se encierran todos los vehículos con sus respectivos sistemas de propulsión, partiendo de este principio se tiene que a nivel general los vehículos se dividen en dos grandes grupos, aquellos que cuentan con un motor de combustión interna (ICE) para su propulsión y los vehículos impulsados por uno o varios motores eléctricos, partiendo con los vehículos híbridos, vehículos eléctricos y vehículos de pilas de combustible. (Paute y Sempertegui, 2020, p.34)

2.2.2.1. Vehículo con motores de combustión interna

Los vehículos de combustión interna son los que comúnmente han dominado la movilidad desde sus inicios, este tipo de motores generan energía a partir de la transformación de energía química contenida en un combustible de origen fósil. En la cámara de combustión del motor se produce la quema del combustible dando como resultado una energía mecánica de movimiento, la cual se transmite a las ruedas del vehículo. Tiene como gran ventaja las largas distancias que puede recorrer y se puede reabastecer en las gasolineras en pocos minutos, aunque, el gran problema es la contaminación que producen. (Paute y Sempertegui, 2020, p.35)

2.2.2.2. Vehículo eléctrico de batería

Se conoce a un vehículo eléctrico como aquel que es propulsado por la energía que está almacenada en sus baterías, los motores eléctricos con los que cuenta se usan para la propulsión, los sistemas auxiliares y sistemas de infoentretenimiento, recarga sus baterías mediante estaciones de carga los cuales provienen de la red eléctrica.

En la ilustración 2-2 se muestra a breves rasgos como es la configuración de un vehículo eléctrico

y como la disposición de estos aportan a los beneficios como la no emisión de gases contaminantes, mayor ergonomía, menor contaminación auditiva y una conducción segura, si bien su gran inconveniente ha sido siempre la autonomía y el tiempo para la recarga que toman estos vehículos. (LugEnergy, 2023)

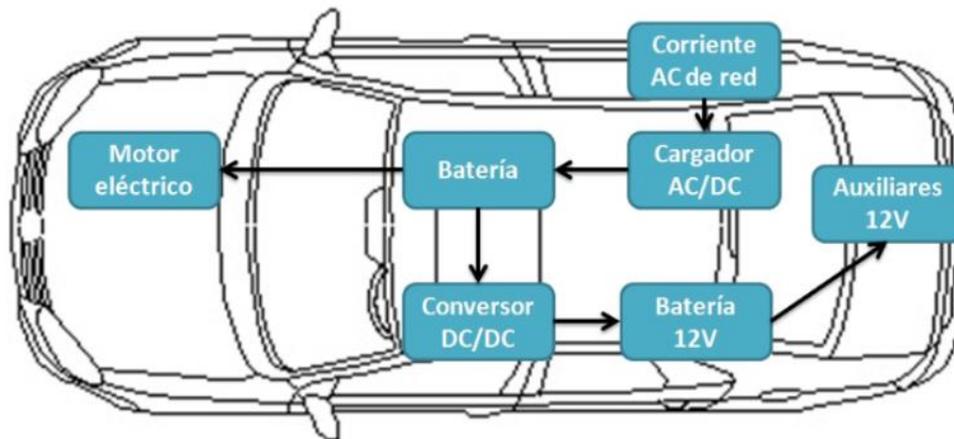


Ilustración 2-2: Estructura básica de un vehículo eléctrico

Fuente: Simonelectric, 2023

2.2.3. Vehículo eléctrico de pila de combustible

Un vehículo de pila de combustible se diferencia de un vehículo eléctrico ya que no almacena la energía en baterías para mantenerla a manera de reserva, si no que se usa una pila de combustible la cual es similar a una central de energía portátil ya que la energía que necesita el vehículo se va generando a medida que exista la demanda de potencia para el vehículo, Estos vehículos se relacionan con un vehículo de combustión ya que procesan el hidrogeno para producir electricidad, parecido a uno de ICE que consume combustible en función de la demanda de potencia. Cabe mencionar que la energía producida en la pila de combustible puede ser consumida mediante demanda de potencia a los motores eléctricos o también se puede almacenar en una batería desde la cual se reparte energía a los motores que tenga el vehículo.

El principio de funcionamiento de estos vehículos se basa en el almacenamiento de hidrogeno a presión en los tanques especificados, para luego ser canalizado hasta la pila de combustible en donde se le añade el oxígeno obtenido desde el ambiente para mediante una reacción química se obtiene electricidad y como producto residual agua, la es expulsada en forma de vapor a la atmosfera nuevamente.

El hidrógeno es un gas altamente volátil lo que lo hace peligroso y la manera de obtenerlo no es del todo sencilla ya que no se encuentra en su estado puro, se puede obtener del agua mediante la electrólisis para su gasificación o mediante el reformado de hidrocarburos, biomasa o por producción biológica de algas o bacterias.

A continuación, se presenta la ilustración 2-3 en donde se identifican los componentes y configuración del vehículo de pila de combustible. (Martín, 2020)

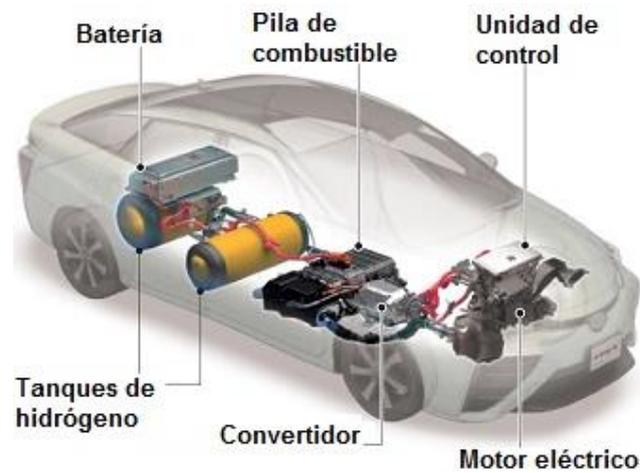


Ilustración 2-3: Configuración del vehículo de pila de combustible

Fuente: Rodríguez, 2023

2.2.4. Baterías para V.E

Si hablamos de los vehículos eléctricos e híbridos resulta inevitable pensar en las baterías para el almacenamiento de energía, ya que es un elemento crucial y muy importante para el funcionamiento de estos vehículos es casi comparable a los combustibles fósiles en los vehículos de motor de combustión, del tipo de batería depende el peso del vehículo, los kilómetros de autonomía, la aceleración, los tiempos de carga e incluso cuantos accesorios se puede incluir en el vehículo. El objetivo principal con el que son diseñadas las baterías de los vehículos eléctricos es igualar la capacidad de rendimiento que tiene un vehículo de combustible fósil, intentando igualar la capacidad de carga, la potencia, costo y otros parámetros, aunque se realizan esfuerzos para conseguir baterías de autonomía extendida aún se tienen muchos parámetros por cumplir y a continuación se detallan aquellos que se toman en cuenta para el desarrollo de una batería.

Energía específica: La energía específica de una batería se mide en Watios hora /Kilogramos [Wh/Kg] y se refiere a la energía que puede acumular la batería respecto a su peso. Este parámetro es importante ya que influye sobre el peso del vehículo, los kilómetros de autonomía que se pueden obtener y obviamente en el costo.

Potencia específica: medida en Watios/ Kilogramos [W/Kg] y se refiere a la potencia de la batería respecto a su peso, para los vehículos eléctricos o híbridos la potencia se ve reflejada en la aceleración y el uso del freno regenerativo ya que se usa una gran potencia para su activación.

Temperatura de operación: Cuando nos referimos a la temperatura en la que debe operar una batería el rango se considera desde los -40°C hasta 60°C . Si una batería trabaja a una alta temperatura se reduce el ciclo de vida, la potencia entregada y el rango de autonomía, la mayoría de las baterías poseen sistemas de refrigeración y sistemas de calefacción.

Ciclo de vida: El ciclo de batería es aquel que se determina según el número de ciclos de carga y descarga que puede ofrecer la batería hasta antes de alcanzar el End Of Life (EOF). “El EOF hace referencia al 80% de la capacidad respecto al inicio de la vida de la batería”. (Waliño, 2020, p.34)

Seguridad: Las baterías para un vehículo híbrido o eléctrico deben tener una alta seguridad ya que almacenan altos voltajes, amperajes y un fallo en esta puede provocar la ruptura de esta y en algunos casos como la de ION-LITIO o Hidrogeno pueden llegar a su inflamación debido a sobrecalentamiento.

Los sistemas de seguridad que los fabricantes emplean son:

- Control de ratios demasiados altos en carga o descarga
- Control de voltajes en cargas, descargas o inversión de voltaje
- Control de cortocircuitos
- Control de la carga en temperaturas fuera de rango o extremas

2.2.4.1. Tipos de baterías para EV-HEV

Batería de Plomo-Acido.

Es la batería más común que existe en el mercado ya que se usa para todos los vehículos para

funciones de acumulación y arranques, tiene un bajo costo, recarga lenta, y toxicidad propia del plomo. (Barros, 2018, p.28)

En estas baterías, el voltaje depende de la concentración de ácido además de afectar el medio ambiente, son las únicas baterías en el mercado que requieren de un mantenimiento externo para mantener los niveles de ácido que provean del voltaje nominal necesario.

Entre los parámetros de esta batería se tiene un voltaje nominal de 2V por celda, una energía específica de 35 Wh/kg, densidad de energía de 70 Wh/l, la potencia específica es de 200W/kg, cuenta con una tasa de autodescarga 1%/día, aproximadamente cuentas con 500 ciclos de vida, y un impacto ambiental alto. (Pardo, 2021, p.11)

Batería de Níquel-Cadmio

A este tipo de baterías no se les reconoce tan fácil en el campo automotriz; ya que el costo de sus componentes es elevado, pierde capacidad de almacenamiento con cada carga y se han presentado riesgo de cáncer a algunos fabricantes que las han usado, están más destinadas al uso de la aviación, o vehículos militares, ya que tienen un buen rendimiento en bajas temperaturas. (Barros, 2018, p.28)

Para los parámetros de esta batería se tiene un voltaje nominal de 1,2V por celda, una energía específica de 56 Wh/kg, densidad de energía de 110 Wh/l, la potencia específica es de 225W/kg, cuenta con una tasa de autodescarga <0.5%/día, aproximadamente cuentas con 600-1200 ciclos de vida, y un impacto ambiental alto. (Pardo, 2021, p.11)

Batería de Sodio-Azufre

Hablando de este tipo de baterías podemos mencionar los altos niveles de energía específica y de densidad energética, es una batería de grandes ventajas, pero su gran impedimento es que opera en temperaturas que rodean los 300 y 350°C y para que un vehículo trate de controlar esa temperatura requiere de energía adicional que en un vehículo eléctrico representa menos autonomía.

Entre los parámetros de esta batería se tiene un voltaje nominal de 2V por celda, una energía específica de 100 Wh/kg, densidad de energía de 150 Wh/l, la potencia específica es de 200W/kg, cuenta con una tasa de autodescarga 0%/día, aproximadamente cuentas con 800 ciclos de vida, y

un impacto ambiental medio. (Pardo, 2021, p.11)

Batería de Níquel- Metal hidruro

Es una batería con mayor capacidad a las de níquel-cadmio, pero su número de recargas es limitado, su rango de funcionamiento oscila entre los 30-40°C, en caso de salirse de ese rango presenta deterioros prematuros por lo que poseen un sistema de control de temperatura y esta batería es usada en la mayoría de los vehículos híbridos como el Toyota Prius. (Barros Henry, 2018, p.29)

Para los parámetros de esta batería se tiene un voltaje nominal de 1,2V por celda, una energía específica de 65 Wh/kg, densidad de energía de 150 Wh/l, la potencia específica es de 20W/kg, cuenta con una tasa de autodescarga - %/día, aproximadamente cuentas con 600-1200 ciclos de vida, y un impacto ambiental bajo. (Pardo, 2021, p.11)

Batería de Ion-Litio (LiCoO₂)

Son unas de las baterías más usadas en los vehículos eléctricos, ya que soportan descargas profundas, están formada por sal de litio y electrodos de litio, cobalto y óxido, esta batería provee de alta energía específica con alta eficiencia energética, los tamaños son un poco más reducidos, no se les puede dar mantenimiento para prolongar su estado de vida, tienen un elevado costo para su producción, son muy frágiles y corren el riesgo de explosión si se llega a sobrecalentar.

Batería de litio ferro fosfato (LiFePO₄)

Este tipo de baterías son una variación de ion litio, pero sin el uso del cobalto, es una batería que cuenta con mejoras en la potencia y la vida útil, tiene como principales desventajas su costo de producción y una densidad energética muy inferior a las de ion-litio común. (Vázquez Casillas, 2018, p.33)

Batería Zinc-Aire

Son baterías que aún se encuentran en ciertas fases de pruebas, pero con más avances su funcionamiento se basa en la extracción del oxígeno de la atmósfera para la generación de corriente eléctrica; como puntos positivos se puede mencionar su alto potencial energético, alta fiabilidad y el triple de energía que una de ion litio con el mismo volumen y mitad de costo. (Barros,

2018, p.32)

2.2.5. Autonomía de los vehículos eléctricos.

Un vehículo eléctrico tiene que vencer aún ciertas dudas que tiene la población sobre su posible autonomía y que tan capaz es de cumplir la misión de trasladarse de un punto A hasta un punto B sin la necesidad de realizar una recarga de la batería.

La mayoría de los vehículos eléctricos en la actualidad tienen una autonomía superior a los 200 km por lo que pueden cumplir viajes largos sin problemas. Además, la autonomía depende de ciertos factores como:

Terreno y estilo de conducción: la topografía del terreno es muy importante para la autonomía ya que de recorrer pendientes en ascenso disminuye los kilómetros que pueda recorrer, además el estilo de conducción es otro factor importante ya que mientras más acelerones diera el conductor más energía va a necesitar disminuyendo así la autonomía.

Peso y sistemas auxiliares: la autonomía y la velocidad de descarga de la batería también dependen del peso con el que se esté moviendo el vehículo ya sea con equipaje o el número de pasajeros, algo similar ocurre con los sistemas auxiliares que tenga el vehículo ya que si se acciona la climatización faros o multimedia se reduce la autonomía

Condiciones climáticas: Aparte de la calefacción o ventilación para el habitáculo en ambientes fríos o calurosos, la batería también necesitará activar sus sistemas ya sea de enfriamiento o calefacción para acondicionar la temperatura ideal de funcionamiento. (KIA, 2018)

2.2.6. Tipos de recarga de un vehículo eléctrico

Existen equipos que se encargan de la recarga, para cada recarga del vehículo se analiza distintos parámetros entre el vehículo y la estación como es la potencia de carga, el tiempo necesario de recarga, velocidad y el protocolo de comunicación para intercambiar información de la recarga, por ultimo y no menos importante se analiza el estado de anclaje entre el conector físico y el vehículo, verificando que esté debidamente conectado. (“Recarga del Vehículo Eléctrico”, [s.f])

2.2.6.1. Recarga lenta- Nivel – 1

Es el modo de recarga más sencilla y accesible, ya que se requiere de cualquier enchufe “doméstico”, este tipo de recarga se lleva a cabo mediante corriente alterna (CA) monofásica a 230 V, 16 A y con 3.6 kW aproximadamente de potencia máxima, así como en las viviendas. Cabe recalcar que el tiempo de carga varía entre 5-8 horas, dependiendo de la batería, sin embargo, existe una variante que usa corriente alterna trifásica a 400 V y 16 A, capaz de llegar a los 11 kW de potencia con tiempos de carga completas en 2 a 3 horas Es propicia para cargas durante la noche debido a la baja demanda de consumo por lo que el precio de kW/h sería menor. (Díez, 2019, p.45)

2.2.6.2. Recarga semi-rápida – Nivel 2

Es utilizada en zonas residenciales, públicas y privadas. Su alimentación es mediante corriente monofásica de 230 V, 32 A y 8-14 kW de potencia, el tiempo de carga puede tardar un tiempo estimado de 1,5 a 3 horas, provocando un control de temperatura y una refrigeración durante la carga para evitar sobrecalentamientos debido al alto nivel de potencia e intensidad necesarias.

Además de una variante de carga con corriente alterna trifásica de 400 V con una intensidad de hasta 63 A y 22 a 43 kW, llegando a recargar en 30 minutos una batería. (Díez, 2019, p.45)

2.2.6.3. Recarga rápida – Nivel 3

Para este nivel de recarga es necesario una infraestructura conocida como estación de carga rápida que principalmente es implementada en zonas abiertas al público, como parqueaderos, centros comerciales o gasolineras ya que debido al costo de la estación se requiere de un capital económico alto y dicha inversión solo se ve justificada por los lugares estratégicos y la recaudación que las estaciones generen, además de la demanda de vehículos eléctricos de la región. (Paute y Sempertegui, 2020, p.44)

Se habla que es un sistema más potente que las anteriores ya que es necesario una corriente continua (CC) de hasta 600 V y 400 A llegando a alcanzar los 240 kW de potencia facultándole a cargar un 80% en un intervalo de tiempo de 5 a 30 minutos. Mediante el uso de corriente alterna trifásica también es posible, con una tensión de 500 V y una intensidad de 250 A, induciendo 220 kW para que en 10 minutos de carga se obtenga un 80% de la capacidad. (Díez, 2019, p.45)

2.2.7. Vehículos eléctricos con carga rápida

Dentro de la gama de vehículos eléctricos que se producen se tienen diferentes tipos de carga los cuales se detallaron anteriormente y para ello también se deben adaptar los vehículos a los tipos de carga, el presente estudio se desarrolla para los vehículos de carga rápida por lo tanto se debe proporcionar información de dichos vehículos.

2.2.8. Tipos de conectores

Con el surgimiento de los vehículos eléctricos, los fabricantes han desarrollado alternativas para que el usuario no tenga problemas al momento de cargar las baterías de sus vehículos, sin importar si se encuentran en el trabajo, hogar o de viaje, no obstante, aún no existe un consenso entre los fabricantes sobre cual conector sea universal ya que cada uno desarrolla conectores específicos, por lo que se detalla los conectores más destacados a continuación:

2.2.8.1. Tipo 1 / SAE J1772

Es un estándar originado en Japón adoptado por el mercado tanto americano como el europeo. Consta de 5 pines: uno es conexión de tierra, dos pines para la corriente alterna monofásica y los dos restantes pertenecen a la comunicación. En la Ilustración 2-4 se presenta la distribución de sus pines

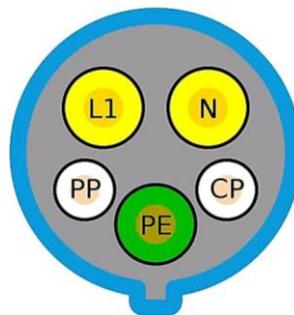


Ilustración 2-4: Distribución de pines de J1772

Fuente: SmartWallboxes, 2022

Siendo L1 el puerto para la línea del positivo, N línea de fase neutro, PP el puerto de proximidad, CP el control piloto y finalmente PE el puerto de tierra. (Restrepo y Tobón, 2018) Admite carga de CA monofásica a 2.3 kW al conectarse a una toma doméstica convencional e incrementa hasta

los 7.4 kW cuando se instala en una estación de carga de mayor velocidad. (SmartWallboxes, 2022)
Entre los modelos de las marcas más destacadas que utilizan este conector son: Toyota Prius, Peugeot Ion, Nissan Leaf, BMW i3, Chevrolet Volt, entre otros.

2.2.8.2. Tipo 2 /Mennekes – IEC 62196-2

Llamado así por la multinacional alemán Mennekes propuesto en el año 2009 como reemplazo del SAE J1772. Su principal peculiaridad es proporcionar CA monofásica y trifásica, dependiendo de su conexión puede darse 16 A para carga lenta o 63 A para rápida. En su disposición de pines apreciada en la Ilustración 2-5 se dispone de 4 pines de alimentación, uno para masa y las 2 últimas de comunicación, dando un total de 7 pines. Siendo línea 1 (L1), línea 2 (L2), línea 3 (L3) y neutro (N) pertenecen a la red eléctrica trifásica y al neutro del flujo eléctrico, puerto de proximidad (PP), control piloto (CP) y pin para tierra (PE). (Restrepo y Tobón, 2018).

Es utilizado como conector de carga oficial en la Unión Europea en vehículos como: Peugeot Ion, Tesla Roadster, Citroën C-Zero y Renault Zoe.

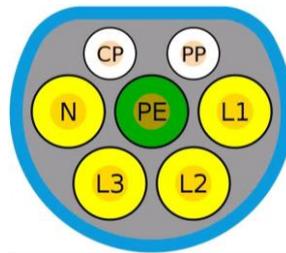


Ilustración 2-5: Distribución de pines

del conector IEC 62196-2

Fuente: SmartWallboxes, 2022

2.2.8.3. Conectores CCS

Debido al interés por los vehículos eléctricos en el mercado, surgió la necesidad de implementar mejoras a los conectores diseñados de manera que los conectores estándares previos sigan siendo utilizables, para esto, se implementó una extensión en los conectores para el paso de corriente continua. El sistema de carga combinada (CCS por sus siglas en inglés) utiliza conectores “combo” permitiendo la carga en CC y CA., mediante la adición de un conductor de CC a los conectores anteriormente mencionados de CA. (SmartWallboxes, 2022)

Esta clase de conectores adopta un método de carga rápida por medio de corriente continua a un elevado voltaje que alcanza a los 600 V con una intensidad de 200 A. Tal y como lo muestra la Ilustración 2-6 se especifica los pines, donde L1, L2 y L3 sirven para el paso de energía, N como en los conectores anteriores pertenece a la línea de la fase neutro, puerto de proximidad (PP), piloto de control (CP), pin de tierra (PE) y los dos últimos pines del conector (DC+, DC-) corresponden a la conexión de corriente continua.

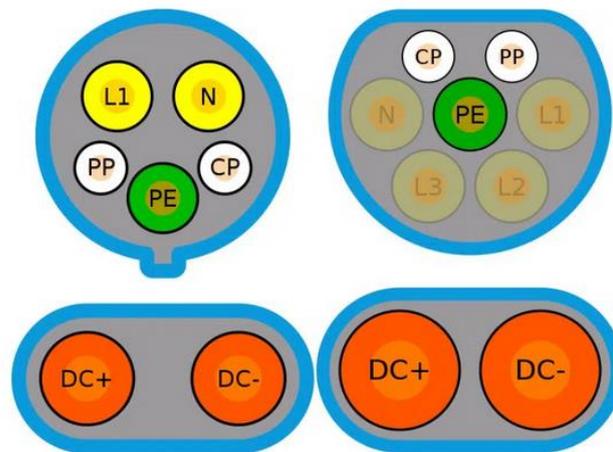


Ilustración 2-6: Distribución de pines del conector CCS

Fuente: SmartWallboxes, 2022

2.2.8.4. Tesla Supercharger

Al ser una de las empresas pioneras en vehículos eléctricos, Tesla diseñó sus propios conectores de carga para utilizarlos en sus vehículos, siendo así que en Europa equipan sus vehículos con conectores tipo 2 o CCS, mientras que en Estados Unidos ocupan su propio puerto de carga. Este terminal es capaz de soportar cargas monofásicas y trifásicas de CA, además, carga de CC de alta velocidad en los puestos de Supercharger de Tesla. (SmartWallboxes, 2022)

Tal y como lo muestra la ilustración 2-7, tiene una configuración análoga a la del conector tipo 2



Ilustración 2-7: Conector Tesla utilizado

únicamente en EE. UU.

Fuente: SmartWallboxes, 2022

2.2.8.5. Puerto chino GB/T 20234.3

Permite realizar cargas monofásicas de CA y CC. Cabe recalcar que fuera del mercado chino es un conector desconocido, está en la facultad de funcionar a 1kV de CC y 250 A, suministrando hasta 250 kW de velocidades de carga. Lo más destacable del puerto son los pines A+ y A-, según las especificaciones funcionan como puertos auxiliares los cuales brindan un bajo voltaje desde el cargador hacia el vehículo eléctrico con motivo de mantener los sistemas secundarios activos.

Otros dos conectores que resultan interesantes son los S+ y S-, estos corresponden al Bus CAN – y Bus CAN + respectivamente. (SmartWallboxes, 2022).

En la ilustración 2-8 se muestra el conector GB/T 20234.3:

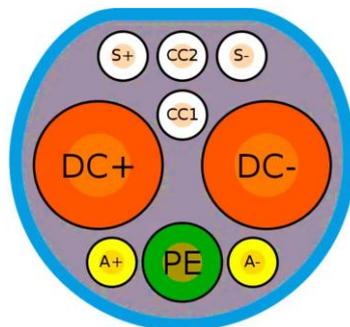


Ilustración 2-8: Conector GB/T 20234-3

Fuente: SmartWallboxes, 2022

2.2.8.6. Puerto CHAdeMO.

Su nombre viene dado por el acrónimo “CHarge de Move” teniendo un significado de “carga para moverse”. Consiste en un conector desarrollado por un grupo de empresas japonesas, en la actualidad el conector permite realizar una carga rápida en CC de hasta 400kW. El puerto está formado por diez pines: dos pines que corresponden a la potencia, 5 de control analógico, 2 de comunicación y uno no asignado, como lo indica la ilustración 2-9. (Paute y Sempertegui, 2020, p.50)

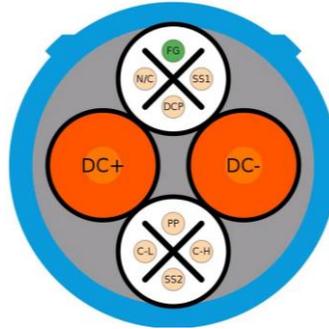


Ilustración 2-9: Conector CHAdeMO

Fuente: SmartWallboxes, 2022

2.2.9. Modos de carga

Hace referencia al nivel de comunicación que existe entre la estación de carga y el VE en turno, según sea el nivel de comunicación se puede programar la carga, también permite hacer pausas durante la recarga en caso de necesitar, informar al conductor el nivel de carga y permite regresar la electricidad de carga a la red. (V2C, 2018)

Se requiere de una fuente de alimentación externa para poder cargar las baterías de los vehículos completamente eléctricos o aquellos híbridos enchufables, según sea el caso necesario para la recarga se generan los cuatro modos de carga como lo indica la ilustración 2-10 con características y usos propio. (LugEnergy, 2020)

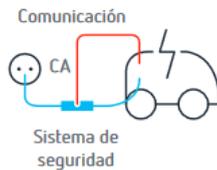
M Modos de recarga

M1 Modo 1



Conexión directa del vehículo a la red
Toma de corriente no dedicada.
Cable simple.
Riesgo de sobrecalentamiento.

M2 Modo 2



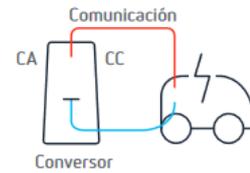
Conexión directa del vehículo a la red
Toma de corriente no dedicada.
Cable con dispositivo de comunicación y supervisión de recarga.

M3 Modo 3



Conexión directa del vehículo a la red
Toma de corriente dedicada con monitorización de carga.
Cable dedicado.

M4 Modo 4



Conexión indirecta del vehículo a la red, a través de cargador externo
Toma externa de corriente directa con monitorización de carga. Cable dedicado.

Ilustración 2-10: Modo de carga

Fuente: Circutor, s.f

2.2.9.1. Modo 1

El cable utilizado es un cable simple, por lo que no existe una comunicación entre la red de carga y el vehículo, esto provocaría un riesgo de calentamiento por lo que simplemente es utilizado en bicicletas eléctricas o patines. (Flores, 2022)

2.2.9.2. Modo 2

Para este modo de carga, es necesario un conectado correcto, debido que el nivel de comunicación es muy bajo (Flores, 2022)

2.2.9.3. Modo 3

El nivel de comunicación de este modo es más alto que el de los anteriores, por lo que se puede encontrar la conversión de CA a CC. Cabe recalcar que este modo es el modo más recomendado para la carga diaria de los vehículos.

2.2.9.4. Modo 4

La recarga se realiza por medio de un cargador externo con monitorización. Esta es aplicada a los cargadores de carga rápida la misma que se realiza en corriente continua. (Flores, 2022)

2.2.10. Definición e importancia de las estaciones de carga.

En términos generales, una estación de carga es una instalación donde se dotan de energía eléctrica ya sea a los vehículos eléctricos o vehículos híbridos enchufables. Durante el proceso, la corriente alterna es transformada a corriente continua permitiendo un buen funcionamiento a las baterías de los vehículos. Estas instalaciones se llaman también electrolineras y son ubicados en lugar públicos y/o privados.

Para la carga de un vehículo el procedimiento es sumamente sencillo, solo es cuestión de extraer el cable del vehículo y conectar al punto de carga, para después esperar hasta que la carga esté completa.

2.2.11. Metodologías para las ubicaciones de estaciones de carga

Dentro de las metodologías para determinar la ubicación de las estaciones de carga se tienen una variedad de procedimientos que basados en distintos parámetros llegan a determinar el número mínimo de estaciones de carga y a qué distancia se las deben ubicar. A continuación, se describen algunas de dichas metodologías que ayudarán en la investigación.

2.2.11.1. Método de ubicación de estaciones de carga entre ciudades

Según el autor Bálint Csonka; este método analiza los viajes largos que se realizan entre ciudades y para lograr determinar una estación de carga se tiene que escoger determinados sitios como posibles candidatos a albergar una estación de carga. Para que un sitio pase de ser candidato a una estación de carga debe tener un nivel de IP (Potencial de instalación) alto. Para determinar el nivel de IP de cada posible candidato a estación de carga se evalúan factores como cuantas estaciones de carga son necesarias en la ruta, cual es la distancia que existe entre dos posibles puntos de carga y no exceder la distancia predefinida, el promedio de rango de la batería del vehículo que se consume entre estaciones, al cumplir estos parámetros se determina la estación de carga, este método da como resultado sitios de estaciones de carga aptos para la instalación. (Csonka y Csiszár, 2018)

2.2.11.2. Método para la ubicación de estación de carga dentro de ciudades

Bálint Csonka también describe otro método para implementar estaciones de carga, pero esta vez

dentro de las ciudades, para poder determinar el número de estaciones de carga se hace énfasis en los vehículos que están parqueados y el número de parqueaderos aptos que existen en la ciudad. Los parámetros que se analizan son el tiempo que los vehículos están parqueados durante el día y también durante la noche, también se debe tener en cuenta la distancia que existe entre cada parqueadero la cual determinaron que será de 250 metros, además se debe tomar en cuenta que cada parqueadero debe proporcionar una elevada capacidad de corriente en AC de 22 KW. (Csonka y Csiszár, 2018)

2.2.11.3. Estimación del número de estaciones de carga en vías rápidas

De igual manera que en los métodos anteriores, se pretende determinar la cantidad y la ubicación de las estaciones de carga entre ciudades tomando en cuenta que deben ser vías rápidas de alto flujo de PEV. Mediante este método se pretende usar ubicaciones que permitan realizar recargas rápidas durante momentos de tráfico en las rutas. El número de estaciones de carga se determina mediante la distancia del recorrido y la densidad de corriente se estimará mediante cuantos conductores circulen por dichas vías y tengan la necesidad de recargar su vehículo. (Buenaño y Torres, 2023)

2.2.11.4. Modelo de Localización de Captura de Flujo

El FLCP o también conocido como localización mediante la captura de flujo es un estudio en el cual se basa en los sitios a lo largo de una ruta en los cuales se puede instalar estaciones de carga siempre y cuando se tomen en cuenta el costo de la instalación, la calidad de servicio, la cantidad de energía y los tipos de infraestructuras que tengan los puntos de carga.

Cada estación de carga debe tener una distancia de cobertura mínima para su ubicación, pero también deben tener en cuenta que tan fácil resulta la instalación, ya que en este modelo se prioriza la demanda de energía a ocupar y que se tenga una infraestructura apta para la recarga. (Buenaño y Torres 2023)

2.2.11.5. Metodología de ubicación en función de la distancia máxima entre cargas

Esta metodología para la ubicación de las estaciones de carga se basa en la distancia máxima que se puede obtener entre las estaciones de carga rápida (MDFC), la distancia máxima entre las estaciones de carga es la que podrá recorrer un vehículo eléctrico cuando tenga un determinado nivel de SOC y desde allí planificar la infraestructura mínima de carga en la ruta. Para la

planificación de una infraestructura de carga los datos se obtienen a partir de los vehículos que pueden aceptar carga rápida y los datos técnicos de los fabricantes, en este método se toman en cuenta las condiciones climáticas que afectan a la conducción en la ruta, el tráfico, la condición de la ruta y el estilo de conducción.

Además, según el autor Luis Buenaño argumenta que los buenos resultados de este método permiten que se considere de bajo costo, de esta manera se promueve la electrificación del parque automotor, y además de que el estado pueda implementar las estaciones de carga como se lo ha hecho en países vecinos como Colombia. (Buenaño y Torres, 2023)

Para avanzar con el desarrollo de esta metodología se tienen que recopilar información de entrada tales como datos del fabricante de los vehículos eléctricos, modelos disponibles para carga rápida, vehículos eléctricos que tengan la capacidad de usar las estaciones de carga, este modelo de ubicación de estaciones de carga depende seriamente de las condiciones climáticas y el relieve de las rutas de conducción. (Buenaño y Torres, 2023)

Para poder calcular la distancia entre estaciones de carga se utiliza la ecuación (2-1) que permite encontrar el MDFC:

$$MDFC = R_M * \left(1 - (M_W + k * M_f)\right) \quad (2-1)$$

Se tiene que:

R_M : se trata del valor de autonomía que ofrece el vehículo eléctrico, siempre en Km, el valor recomendado para el cálculo es la autonomía de la gama mínima de los vehículos eléctricos siendo así con un R_M conservador o también se puede utilizar la autonomía de la gama media los vehículos acumulada en el país considerando así un R_M real.

M_W : se refiere a las condiciones o margen climáticos existente.

k : representa al factor de simultaneidad de las coincidencias de las condiciones climáticas junto a los factores de flexibilidad.

M_f : se refiere al margen de flexibilidad que dependerá del tipo de vía, el tráfico, el estilo de conducción, entre otros.

Cálculo de R_M

Para el cálculo de esta variable se deben seleccionar los vehículos eléctricos del mercado que puedan recibir carga rápida y la autonomía requerida para el estudio.

Cálculo de M_W

Para realizar el cálculo de M_W hay que tomar en cuenta las distintas temperaturas a las que estará expuesto el vehículo, es decir a las temperaturas mínimas, medias y máximas que existe en las ciudades por donde pasara la ruta que se estudia. Las diferentes temperaturas se han clasificado y se asignan un valor en porcentaje que representa el impacto que tendrían en la autonomía de la batería usando calefacción o aire acondicionado tal como se detalla en la tabla 2-1:

Tabla 2-1: Valores para M_W según las condiciones climáticas

Temperatura mínima > 10°C	Baja calefacción	0%
Temperatura mínima > 0°C	Media calefacción	20%
Temperatura mínima < 0°C	Alta calefacción	40%
Temperatura mínima < -10°C	Máxima calefacción	50%
Temperatura máxima < 25°C	Bajo aire acondicionado	0%
Temperatura máxima < 35°C	Medio aire acondicionado	10%
Temperatura máxima > 35°C	Máximo aire acondicionado	30%

Fuente: (Buenaño y Torres, 2023)

Cálculo del margen de flexibilidad (M_f)

Los factores de flexibilidad a tomar en cuenta son las ya mencionadas condiciones de carretera, tráfico, carga aplicada al vehículo, estilo de conducción, además añadir otro factor como la autonomía real de los vehículos ya que en ocasiones las especificaciones del fabricante suelen ser elevadas.

En la tabla 2-2 se toma en cuenta la velocidad que se puede alcanzar en ruta, reflejando que a mayor velocidad se consume más energía y dependiendo de los demás factores se puede añadir más porcentajes de consumo.

Tabla 2-2: Valores para margen de flexibilidad

Flexibilidad por velocidad		Incremento por factor			
Velocidad	% para Mf	Estilo de conducción	Trafico	Cargas incompletas	Camino de montañas
89 km/h	10%	5%	5%	5%	10%
105 km/h	20%	5%	5%	5%	10%
120 km/h	25%	5%	5%	5%	10%

Fuente: (Buenaño y Torres, 2023)

Cálculo del factor “k”

Este factor toma en cuenta las coincidencias que existen entre las condiciones climáticas y el margen de flexibilidad durante el viaje, pudiendo tener coincidencia en condiciones favorables para extender la autonomía o pudiendo ser condiciones adversas que llegasen a mermar la autonomía del vehículo. Si las condiciones son favorables y no hay necesidad de analizar el clima al valor k será nulo o 10%, en el caso opuesto de condiciones extremadamente duras el valor de k se estima en 1.

2.2.11.6. Cálculo del BHCI

El BHCI definido así por su nombre en inglés Basic Highway Charging Infrastructure se refiere al número de estaciones de carga rápida que se deben implementar en la vía para que cualquier VE pueda recorrerla. La distancia que existirá entre dos estaciones de carga debe ser menor a la obtenida mediante el cálculo del MDFC. En la ecuación 2-2 se define como realizar el cálculo de las estaciones de carga. (Buenaño, Torres 2023)

$$BHCI = \frac{T_n}{MDFC} \quad (2-2)$$

En donde tenemos:

- T_n : longitud total de la red vial en Km
- $MDFC$: distancia máxima entre estaciones de carga

2.2.12. Desarrollo del modelo matemático

El cálculo del consumo energético viene dado por dos consideraciones evaluadas por los fabricantes: un modelo físico de la dinámica del vehículo, y mediante ciclos de conducción estandarizados, los cuales representan los patrones de conducción durante un viaje y de esta manera poder determinar las tasas de carga y descarga que puede tener una batería; no obstante, estos ciclos estandarizados no representan exactamente a un ciclo real, puesto que hay variables que afectan en una conducción así como: estilo de conducción, condiciones ambientales, tráfico, eficiencias de los sistemas del vehículo, características de la ruta (hace referencia al tipo y el estado de la ruta), entre otros. (Paute y Sempertegui, 2020, p.61)

2.2.12.1. Modelos de estimación de consumo energético

El consumo energético de un VE viene dado por la transformación de la potencia mecánica a potencia eléctrica requerida para su desplazamiento. La potencia mecánica puede representarse por características que tiene un VE como su masa, área frontal entre otras. A continuación, se detalla algunos modelos de estimación de consumo que permiten una implementación fácil con parámetros de fácil adquisición (Villa y Montoya, 2019):

2.2.12.1.1. Modelos hacia atrás.

Son calculados en función de los parámetros obtenidos a partir de un ciclo de conducción (tiempo, velocidad, posición, altitud, grado de inclinación) y las peculiaridades del vehículo (peso, área frontal, coeficiente aerodinámico) para la obtención del esfuerzo requerido de tracción en las ruedas para mover el VE, la misma que es necesaria para el cálculo de la energía entregada y consumida por una batería de alto voltaje (Paute y Sempertegui, 2020, p.62)

2.2.12.1.2. Modelos hacia delante.

Son cálculos que parten desde los parámetros del motor, cabe recalcar que este tipo de simulación son más realistas respecto al consumo energético, este modelo es muy utilizado en la industria automotriz para la identificación del comportamiento de los elementos que afectan al consumo energético del vehículo. Estos tipos de modelos se identifican por los tiempos lentos de simulación y los equipos de medición son sofisticados, sin embargo, estos contrastan con la precisión de los cálculos. (Paute y Sempertegui, 2020, p.63)

2.2.13. Ventajas e inconvenientes del uso de vehículos eléctricos frente a los de motor de combustión interna

2.2.13.1. Ventajas

-Ecología

La mayor ventaja actualmente que tiene un vehículo eléctrico sobre un vehículo de ICE es el beneficio ambiental que estos proveen, ya que no producen contaminación mediante las emisiones de CO₂ ya que no queman ningún tipo de combustible.

Se evitaría también la contaminación auditiva en las ciudades ya que un motor de combustión produce ruido por el mecanismo de combustión y la expulsión de gases por escape, un vehículo eléctrico es silencioso y por lo tanto produce una mejora en la salud de su población ya que la reducción de emisiones permitiría limpiar el aire de la ciudad. (Bernaldo, 2018)

-Energía

Para un vehículo eléctrico la energía que utiliza para propulsarse se extrae directamente de la red eléctrica o de cualquiera otra fuente de energía o de energías renovables como la energía eólica para ser almacenada en sus baterías. (Paute y Sempertegui, 2020, p.56)

-Economía

El vehículo eléctrico presenta una economía en el costo del combustible generador de energía ya que la electricidad es más barata que la gasolina, ventajas que se pueden potenciar si se recargan los vehículos en “horas valle” ya que la energía es más barata. Se puede mencionar que el coste de su mantenimiento es menor ya que cuenta con un menor número de piezas y al tener un estilo de conducción conservador las piezas se estropean con menor frecuencia. (Bernaldo, 2018)

-Mantenimientos

Para el mantenimiento de un vehículo eléctrico se puede considerar que tiene un costo menor alcanzando hasta un 42% de ahorro según el taller de mantenimiento oficial del Volkswagen, esto debido que son más simples, carecen de componentes como filtros, correas, discos de embrague, bujías, etc. Generando así una menor probabilidad de averías en sus sistemas. (Volkswagen)

-Impuestos y tasas

Cuando alguien adquiere un vehículo híbrido o eléctrico se beneficia de la exoneración de los distintos impuestos o extras que se tienen en la matriculación dependiendo del país se registran hasta exoneraciones del 75% de impuestos, en concepto de impuestos de circulación la mayoría de los vehículos solo pagaría por derecho a circular evitando así, los pagos por emisiones que se añaden a la hora de pagar por su matrícula. (Vázquez Casillas, 2018, p.142)

-Tecnología

Un vehículo eléctrico con el pasar de los años ha incorporado muchos componentes tecnológicos para proveer de una conducción segura, con la inclusión de sistemas de frenado regenerativos, sensores de cansancio, sistemas de carga rápida e incluso se pretende incluir la conducción autónoma para los vehículos eléctricos. Este tipo de tecnologías que se le añaden al vehículo son una muestra de la evolución en la movilidad y conservación del ambiente que presenta la población.

2.2.13.2. Desventajas

-Reciclaje

En los vehículos eléctricos e híbridos el mayor inconveniente que se presenta es el reciclaje de las baterías como las de ion-litio ya que son muy delicadas de manejar y de salirse de las condiciones de operación pueden estallar, solo son algunas pocas organizaciones a nivel mundial las que pueden llevar a cabo estos procesos. (Bernaldo, 2018)

-Energía

Para un vehículo eléctrico se tiene un problema de difícil solución como es la autonomía limitada si se los compara con los vehículos de ICE, esta problemática se mantiene incluso si se aumenta el tamaño de las baterías ya que se genera un mayor peso, limitando de igual manera la autonomía (Paute y Sempertegui, 2020, p.56)

-Economía

La gran desventaja que presentan los vehículos eléctricos es el costo de sus baterías ya que son mucho más caras que las necesarias para un vehículo de ICE, y en el caso de que se necesite reemplazar el pack de baterías, resulta un gasto muy elevado, algunos gobiernos realizan subvenciones para las baterías e incentivar la compra tanto de baterías como de los vehículos eléctricos. Además, en busca de vender más vehículos algunos fabricantes han optado por ofrecer el servicio de alquiler de baterías, vendiendo el vehículo sin baterías y cobrando una cuota mensual en base a kilómetros recorridos. (Bernaldo, 2018)

-Mantenimientos

En cuanto al personal que tenga la capacidad de realizar mantenimientos a un vehículo híbrido o eléctrico es reducida ya que aparte de necesitar un nivel alto en conocimientos, necesita de equipos especializados, y mucho menor es el número de centros técnicos que puedan brindar mano asistencia para estos vehículos. (Paute y Sempertegui, 2020, p.56)

-Tasas e impuestos

A pesar de que existen ya incentivos para los vehículos eléctricos, ya sea durante su adquisición o su matriculación, se generan inconvenientes para la asignación de precios que deben pagar, en busca controlar la cantidad de ítems de exoneración que tiene un vehículo eléctrico.

-Tecnología

La tecnología que maneja un vehículo eléctrico o híbrido es muy alta y por lo tanto presenta problemas ya sea en sistemas de comunicación o puertos de control, además del problema de baterías la cual necesita un tiempo elevado para cargarse dependiendo del tipo de carga, en caso de daño de la misma resulta muy difícil el Re potenciamiento, por lo que se obliga a comprar una, además de que existen pocos puntos para la recarga de vehículos en las vías interurbanas, además de la infraestructura y red eléctrica que en algunos países aún no está en la capacidad de electrificar un parque automotor lo cual genera desconfianza y una disminución en la compra de estos vehículos. En cambio, un vehículo de ICE puede reabastecerse de combustible en cualquier ruta y en muy pocos minutos. (Bernaldo, 2018)

2.2.14. Situación internacional sobre V.E

Los vehículos eléctricos generan nuevas normativas y maneras de ver el parque automotor por lo que los países de la unión europea implementan nuevas normativas las cuales ayudan a regular estos vehículos.

Los países en donde más se venden estos tipos de vehículos son, Francia la cual lidera el ranking de vehículos eléctricos puros, en Reino Unido se consumen más vehículos del tipo híbridos enchufables, en países como Holanda se tiene un índice de crecimiento del 97.5% de vehículos eléctricos puros, Países como Noruega, Francia y Alemania tienen incrementos de matriculación de vehículos eléctricos de hasta un 35.9%, 13.2%; 30% respectivamente. Todos estos porcentajes de los cinco países representan un total de 70% de vehículos eléctricos vendidos en la unión europea para el 2017. (Movilidad eléctrica, 2018)

En la mayoría de los países europeos los números de ventas y matriculación son grandes y en ascenso en vista que todos tienen incentivos para quien adquiera estos vehículos como por ejemplo incentivos económicos de parte del gobierno, exoneración en las tasas de circulación, exoneración en el pago de peajes, la mayoría de ellos les permiten circular por el carril exclusivo para bus, tienen parqueadores libres de paga, y en países que es posibles les exoneración de los viajes en barcos.

Otros paquetes que se han implementado para incentivar la movilidad eléctrica y reducir las emisiones contaminantes en Europa según el acuerdo de París es:

- Endurecer las normas de emisiones de CO2 buscando así erradicar la compra de vehículos a ICE e incentivar la compra de vehículos eléctricos.

- Planes estratégicos para el despliegue de infraestructura de carga para los vehículos alternativos que se expandan en el continente.

- Directivas o decretos que aplican para el transporte de pasajeros el cual consiste en una red de autobuses eléctricos de larga distancia en toda Europa. (Bernaldo, Inés, 2018)

Según la ACEA (Asociación de Constructores Europeos de Automóviles) las ventas y matriculaciones de V.E siguen creciendo a pesar del declive general del mercado según los estudios generados el 1 de febrero del 2022. Y pues los resultados que se recabaron reflejan que

la cuota del mercado de EV se expandió a 12.1 % reflejando así una mejora de 3.0 puntos con comparación a 2021. El sector de los vehículos híbridos también avanzó a grandes pasos en el mercado ya que llegaron a un 22.6% y los vehículos a diésel y gasolina siguen perdiendo terreno en los mercados europeos, aunque según la misma ACEA existen países de bajo PIB (Producto Interno Bruto) en donde las ventas de vehículos alternativos son del 0% representado más en Latinoamérica y África. (ACEA, 2023). En la ilustración 2-11 se muestra el avance de los vehículos híbridos y eléctricos entre el 2021-2022.

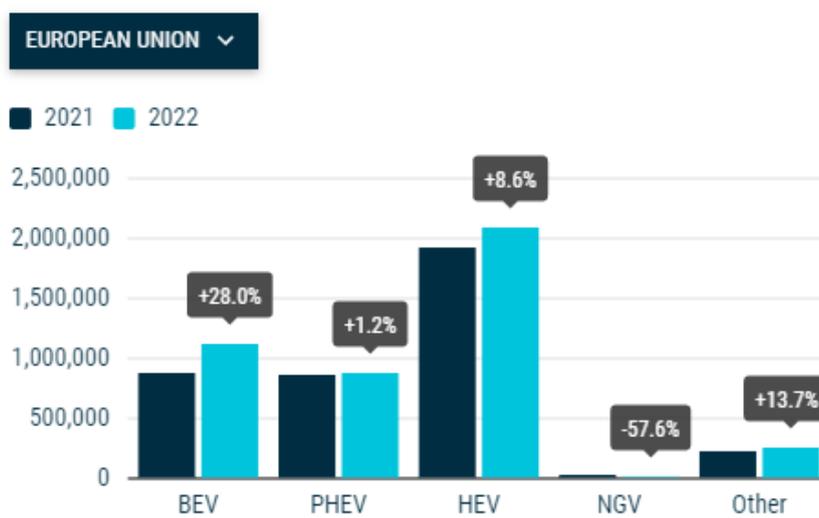


Ilustración 2-11: Evolución del mercado de vehículos alternativos en 2022

Fuente: ACEA, 2023

A nivel internacional no existe una gran norma o ley que regule a los vehículos eléctricos sino más bien, estos se rigen por su fabricante o por su proveedor o ciertas organizaciones encargadas de valorar estos vehículos, siendo así las instituciones que más importancia tienen a nivel internacional son, SAE, ISO, IEC, ACEA.

2.2.15. Situación y normativa nacional sobre los V.E

Actualmente en Ecuador no existe un reglamento, normativa o estándares específicos para los vehículos eléctricos e híbridos, las características de cada vehículo se adoptan según los estándares internacionales, según el proveedor, según la tecnología del vehículo o de acuerdo con los factores ambientales, sociales y económicos que se tenga en el país. Por lo que actualmente existe problemática en los puertos de carga, niveles de carga, precios, mantenimientos, etc.

Algo que si se ha tratado de hacer respecto a los vehículos alternativos es incentivar con leyes,

normas, reglamentos y beneficios las cuales promueven que la población compre y use cada vez con mayor frecuencia los vehículos eléctricos, siendo:

Según las reuniones del “*comité de comercio exterior (COMEX)*”, en donde se aprobó la eliminación de impuestos de aranceles para la importación de los vehículos eléctricos, baterías, estaciones de carga, cargadores sin importar el país de procedencia. (Comex, 2019)

Aplicación del impuesto a consumos especiales (ICE) el cual establece que para aquellos vehículos sean híbridos o eléctricos que han sido importados pagaran el 0%, siempre tomando en cuenta que el precio final del vehículo sea menos a \$35000 (SRI, 2022)

Según el servicio de rentas internas el impuesto del valor agregado es de 0% para los vehículos destinado a servicio particular, transporte público o de carga. (SRI, 2022)

ARCONEL (Agencia de Regulación y control de electricidad) apoyando a los vehículos alternativos creo un monto de recaudación diferente para el flujo eléctrico que se destine netamente para la recarga de vehículos indistintamente de que sea carga rápida o carga lenta o sin importar el nivel o modo de carga que se requiera para el vehículo, generando así un nuevo pliego tarifario menor el cual debe ser cumplido por todas las empresas eléctricas del país. (ARCONEL, 2023, p.13)

En el artículo 14 de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética se establece que a partir del 2025 todos los medios de transporte público que se incorporen al servicio en el país deben ser de medio motriz eléctrico, caso especial de galápagos que aún sigue en evaluación. (Asamblea Nacional, 2019)

Ley de simplificación tributaria generada en 2019 en la cual se establece que deberá existir una exoneración de impuestos para los servicios de recarga a vehículos eléctricos en las estaciones del país.

CAPITULO III.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Esquema metodológico

En el diagrama de flujo que se presenta en la ilustración 3-1, consta de tres puntos fundamentales, los cuales se presentan como el inicio del trabajo de investigación, la validación de los datos obtenidos, el cómo se obtuvieron y como fueron procesados. Por último, la evaluación del % de SOC en los ciclos representativos para ubicar correctamente las estaciones de carga en las rutas seleccionadas.

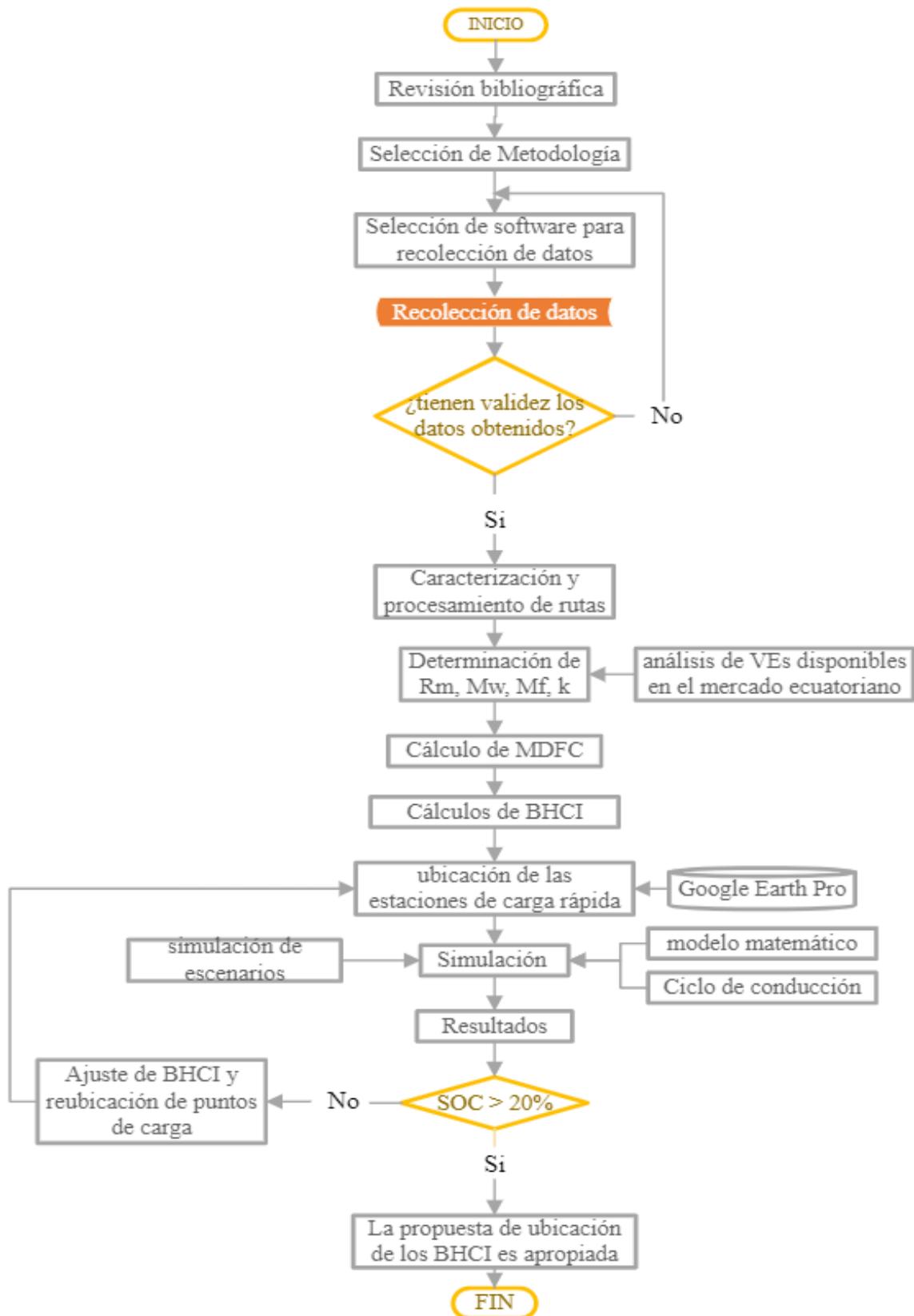


Ilustración 3-1: Diagrama de flujo de la metodología propuesta para el desarrollo

Fuente: Jimenez, B & Ocampo, D., 2023

3.2. Enfoque de investigación

En términos generales, el enfoque de investigación consiste en todo el proceso investigativo, así como las etapas y los elementos que lo conforman. El presente trabajo de investigación utiliza un enfoque mixto, es decir, un enfoque cuantitativo y cualitativo. Tendrá un enfoque cuantitativo debido al manejo de datos estadísticos para la asociación de variables y cualitativo ya que se describe las características del proceso para la propuesta de ubicación de infraestructura mínima de carga rápida para el caso de estudio Riobamba – Puyo.

3.3. Nivel de Investigación

La investigación cuenta con distintos niveles, partiendo desde el nivel exploratorio ya que se busca información previa para el estudio de la localización de estaciones de carga en las rutas interurbanas, principalmente dentro del país, determinando así si existe la factibilidad de realizar o no la investigación.

El siguiente nivel de investigación que abarca el trabajo es del tipo descriptivo ya que mediante este nivel se busca la caracterización de las rutas interurbanas esencialmente realizando la descripción del relieve.

Para el siguiente nivel, se toma en cuenta las variables recolectadas para relacionarlas dentro de los patrones de ciclos de conducción con el objetivo de obtener un estilo de conducción representativo dentro de las rutas que serán seleccionadas para la realización del estudio, este nivel es conocido como nivel correlacional.

Por último, se utilizará el nivel predictivo para poder ubicar las estaciones de carga en lugares estratégicos que permitan a un vehículo eléctrico realizar un recorrido de ida y regreso sin tener el evento adverso que es un SOC de batería menor al 20%, esta predicción se realizara mediante la simulación de modelos matemáticos.

3.4. Diseño de investigación

Al hablar del diseño de la investigación, hace referencia a que el modelo de investigación que se usa en el trabajo ayudará a cumplir con los objetivos establecidos durante el capítulo 1, además de permitir comprobar o refutar las hipótesis planteadas, también el diseño de la investigación

permitirá generar información que podrá ser usada en trabajos a futuro.

3.4.1. Cuasiexperimental

El diseño de la investigación es del tipo cuasiexperimental ya que se manejan ciertas variables y parámetros que según la metodología aplicada no se pueden alterar ya que de hacerlo se desvían los resultados que se esperan obtener.

Para que la investigación sea cuasiexperimental el tipo de vehículo, las rutas y los equipos que se analizarán no han sido seleccionados de forma aleatoria, sino más bien se realizaron pruebas previas de funcionamiento para obtener datos confiables.

3.4.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo

Es un estudio de tipo observacional transversal ya que se han recopilado distintas variables de conducción en las rutas interurbanas más relevantes entre Riobamba-Puyo durante un determinado periodo de tiempo y se podrá establecer una relación entre dichas variables.

3.5. Tipo de estudio

3.5.1. Investigación Documental

El presente trabajo de titulación es una investigación documental ya que se requiere de la recopilación, selección y procesamiento de artículos, libros y distintas tesis referentes al estudio de la ubicación de estaciones de carga en vista de que se pretende determinar el número de estaciones de carga en rutas interurbanas del país.

3.5.2. Investigación de campo

La investigación de campo se da con la finalidad de recoger datos de las variables que son indispensables para dicho estudio, por lo que tendrán un análisis estadístico y sobre todo ayudan a negar o aprobar la hipótesis planteado anteriormente.

3.6. Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.6.1. Población y Muestra

El método de promedios ponderados es un análisis estadístico que trata sobre la recolección de muestras o datos, para después clasificar y representar mediante ciertas variables denominadas parámetros resumen; que en otras palabras son variables características para el análisis de las muestras. Para el análisis de los promedios ponderados se tomará en cuenta parámetros representativos que más influyen en cada recorrido: fuerza de arrastre, fuerza correspondiente a la resistencia a la rodadura, fuerza a la pendiente y resistencia a la inercia, el consumo energético que produce se calcula por medio del producto entre la velocidad para cada fuerza ya mencionada, para de esta manera obtener la energía total que se halla mediante la sumatoria de las energías presentes en la rueda. (Dávalos, 2017, p.25)

Dicho esto, la cantidad de muestras registradas se justifica por medio del cálculo del coeficiente de variación de la muestra, la cual se obtiene al dividir la desviación estándar para la media como lo expresa la ecuación (3-1), con esto se puede obtener la variabilidad de un conjunto de datos dando como resultado un valor porcentual, que conllevaría a que los datos tienen poca variabilidad cuando el porcentaje es menor al 20%, caso contrario se debería recolectar más muestras o utilizar otra medida de tendencia central diferente a la media. (Restrepo et al., 2007)

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (3-1)$$

Siendo:

CV: Coeficiente de variación,

\bar{x} : Media de valores de parámetros resumen y

σ : Desviación estándar

En este sentido, inicialmente se propone una muestra de 10 recorridos para ida y de la misma manera para regreso, cabe recalcar que el análisis se llevará a cabo en dos o rutas como se detallará en apartados posteriores y de la misma manera se comprobará la validez de la cantidad de recorridos realizados.

3.6.2. Planificación.

En esta sección se especifica en la tabla 3-1 el cronograma de actividades para el presente estudio:

Tabla 3-1: Cronograma de actividades del trabajo de investigación

Actividades	Abril				Mayo				Junio				Julio			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión de fuentes de información relacionado a los VEs: autonomía, tipo, sistema, modos de carga, etc.	■	■														
Selección de fuentes bibliográficas que posibilitem el desarrollo del tema propuesto			■													
Elaboración del modelo de consumo energético			■	■	■	■										
Calibración del modelo matemático							■									
Adquisición de datos con equipos de navegación GPS (Matlab)								■	■	■	■					
Pruebas en ruta (ciclos de conducción en los escenarios de estudio)										■	■					
Identificación de factores que influyen en la ubicación geográficos, ambientales, eléctricos)											■					
Implementación de modelo matemático												■	■	■		
Determinación del mejor trayecto de estudio y simulación														■		
Análisis de Resultados															■	■
Criterios, normativas y recomendaciones (caracterización de estaciones de carga)																■

Realizado por: Jimenez y Ocampo, 2023

3.7. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación.

3.7.1. Selección de metodología

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizará la metodología MDFC descrita a breves rasgos en el capítulo 2, esta metodología ya fue aplicada en casos trabajos de titulación anteriores a nivel internacional, presentando obvias diferencias de características, geológicas, climáticas, vehiculares y los relieves de rutas. En cuanto a nivel nacional esta metodología se ha aplicado en el artículo de “UBICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE CARGA MÍNIMA INTERURBANA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA RUTA RIOBAMBA – QUITO UTILIZANDO LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA DISTANCIA MÁXIMA ENTRE CARGAS RÁPIDAS (MDFC)” de la autoría de Luis Buenaño, Hugo Torres, y Mateo Coello (2023), obteniendo excelentes resultados, así que basados en dicho artículo se adapta al nuevo estudio el modelo matemático, simulación de la infraestructura de carga, validación del modelo y los distintos escenarios de simulación según las nuevas rutas de estudio.

3.7.2. Recopilación de datos

Para la obtención de datos, se ha optado por el registro de datos de localización por GPS, con los datos obtenidos de un Smartphone con GPS y el software móvil “MATLAB”. En la actualidad, los Smartphones con GPS suelen tener una precisión dentro de un radio de 4.9 m a la intemperie (GPS.gov, 2022), precisión considerada como adecuada para los estudios de casos. Se registraron 10 conjuntos de datos de conducción, de ida y regreso, tomando en cuenta los sitios de partida y llegada de las rutas Riobamba – Puyo – Riobamba. El vehículo de ensayo fue un Volkswagen Virtus 1.6. Para la corrección de los datos de altitud se aplicó el procedimiento de determinación del desnivel acumulado positivo de un viaje detallado en el Reglamento (UE) 2016/646. (2016)

3.7.3. Caracterización y procesamiento de rutas

3.7.3.1. Características de las rutas

Las rutas objetivas para el estudio son las vías que une las ciudades Riobamba y Puyo, tomando en cuenta que hay 2 alternativas de conexión: por la carretera E30 y por las rutas E490-E30. Los puntos de partida y llegada son las terminales de buses interprovinciales de las ciudades en cuestión, debido al flujo de vehículos que existe en esos lugares. El análisis se desarrolla en base a ida y retorno, tomando en cuenta las 2 rutas recomendadas de la aplicación Google Maps. Según la aplicación se obtiene una distancia de 137 km por la ruta E30 y 135 km por la E490-E30 duración de viaje de 2 h 59min y una diferencia de 9 minutos menos respecto al otro recorrido, cabe recalcar que estos detalles varían por situaciones externas: tráfico, clima, entre otros, sin embargo, se toma como referencia para la planificación de los recorridos a realizar. Las carreteras tienen de 2 a 4 carriles, la denominada ruta 1 atraviesa por Penipe, Huambaló y Baños de Agua Santa, mientras que la ruta 2 pasa por Mocha, Pelileo y Baños de Agua Santa. La ilustración 3-2 muestra las dos rutas utilizadas en este estudio

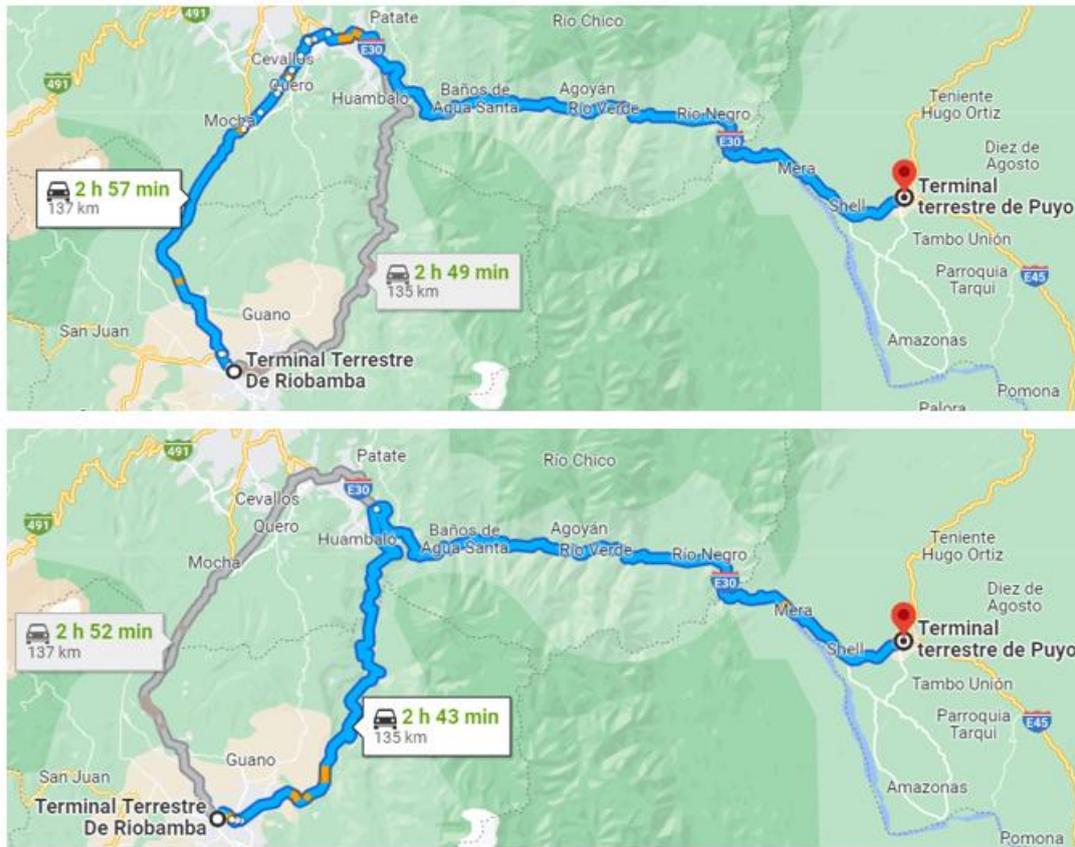


Ilustración 3-2: Rutas de estudios: Tramo Riobamba – Puyo-Riobamba.

Fuente: Google Maps

3.7.3.2. Cálculo para determinar la ganancia de altitud positiva acumulativa de un trayecto

Para el desarrollo del modelo matemático de consumo de energía se necesita previamente el reajuste de los perfiles de altitud que se obtienen durante las pruebas de ciclos de conducción, con el objetivo de tener que acercarse más al nivel de altitud real de la vía, minimizando así algunos fallos eventuales que se haya podido tener con los equipos de medición.

Para el cálculo de la ganancia de altitud positiva de un trayecto, según el Reglamento (UE) 2016/646 (2016, P.16), se efectúa mediante 3 fases: i) examen y verificación fundamental de la calidad de datos, ii) corrección de los datos de altitud instantánea del vehículo, y iii) cálculo de la altitud positiva acumulativa.

3.7.3.2.1. Examen y verificación fundamental de la calidad de los datos

Los datos de la velocidad y altitud instantánea del vehículo deben estar completos, caso contrario

se anula los resultados del ensayo en caso de la velocidad, si existe una laguna de datos en la altitud se completa por medio de la interpolación, cuyos datos interpolados se verifica mediante un mapa topográfico. En tal caso de tener la condición representada en la ecuación (3-2) es recomendable corregirlos: (Reglamento (UE) 2016/646, 2016, p.16)

$$|h_{GPS}(t) - h_{map}(t)| > 40 \text{ m} \quad (3-2)$$

La corrección de la altitud viene dada por la ecuación (3-3):

$$h(t) = h_{map}(t) \quad (3-3)$$

Donde:

$h(t)$: altitud del vehículo en el punto de datos t [m.s.n.m.],

$h_{GPS}(t)$: altitud del vehículo medida con GPS en el punto de datos t [m.s.n.m.],

$h_{map}(t)$: altitud del vehículo según el mapa topográfico en el punto de datos t [m.s.n.m.].

3.7.3.2.2. Corrección de los datos de altitud instantánea del vehículo

Para la obtención de la altitud $h(0)$ en un trayecto en $d(0)$ es necesario un dispositivo con GPS, se verifica si la información obtenida es correcta mediante la comparación de información de un mapa topográfico. El Reglamento (UE) 2016/646 (2016, p.16) indica que no deberá sobrepasar a 40 m y los datos de altitud instantánea $h(t)$ deben ser corregidos si se da la condición de la ecuación (3-4):

$$|h(t) - h(t - 1)| > \left[\frac{v(t)}{3.6} \cdot \sin 45^\circ \right] \quad (3-4)$$

La correlación de la altitud se aplica referente a la ecuación (3-5):

$$h_{corr}(t) = h_{corr}(t - 1) \quad (3-5)$$

Siendo:

$h(t - 1)$: altitud del vehículo en el punto de datos t-1 [m.s.n.m.],

$v(t)$: velocidad dl vehículo en el punto de datos t [km/h],

$h_{corr}(t)$: altitud instantánea corregida del vehículo en el punto de datos [m.s.n.m.],

$h_{corr}(t - 1)$: altitud instantánea corregida del vehículo en el punto de datos t-1 [m.s.n.m].

3.7.3.2.3. Cálculo final de la ganancia de altitud positiva acumulativa.

-Establecimiento de una resolución espacial uniforme.

Mediante la suma de distancias instantáneas d_i ; se obtiene la distancia total d_{tot} [m]. por lo tanto, la distancia instantánea se establece por la ecuación (3-6): (Reglamento (UE) 2016/646, 2016, p.17)

$$d_i = \frac{v_i}{3.6} \quad (3-6)$$

Donde:

d_i : distancia instantánea [m],

v_i : velocidad instantánea del vehículo [km/h]

Según el Reglamento (UE) 2016/646 (2016, p.17), la ganancia de altitud acumulativa es estimada comenzando con datos que empiezan desde la primera medición al inicio de la ruta $d(0)$. La altitud de cada punto de ruta se calcula mediante la interpolación de la altitud instantánea $h(d)$ expresada en la ecuación (3-7):

$$h_{int}(d) = h_{corr}(0) + \frac{h_{corr}(1) - h_{corr}(0)}{d_1 - d_0} \cdot (d - d_0) \quad (3-7)$$

Por lo que:

$h_{int}(d)$: altitud interpolada en el punto de ruta discreto considerado d [m.s.n.m],

$h_{corr}(0)$: altitud corregida inmediatamente antes del respectivo punto de ruta d [m.s.n.m],

$h_{corr}(1)$: altitud corregida inmediatamente después del respectivo punto de ruta d [m.s.n.m],

d : distancia acumulativa recorrida hasta el punto de ruta discreto considerado d [m.s.n.m],

d_0 : distancia acumulativa recorrida hasta la medición inmediatamente antes del respectivo punto de ruta d [m.s.n.m] y

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

Una vez realizado las correcciones, el conjunto de datos de altitud son válidos para el cálculo final de la ganancia de altitud positiva acumulativa. Además de los datos de velocidad, se comprueba

que los datos de altitud estén completos. De igual manera, la altitud registrada por el GPS se verifica con un mapa topográfico que en este caso se usa GPS Visualizer; en términos generales es una página web que a partir de datos geográficos como coordenadas de longitud y latitud crea planos y perfiles. (Schneider, (2003-2019))

- Suavizado adicional de los datos.

Mediante el procedimiento de dos fases se suaviza los datos de altitud obtenidos. En este caso d_a y d_e son los puntos primero y ultimo de la ruta. Este proceso es representado gráficamente en la ilustración 3-3. La primera parte de suavización se establece mediante las siguientes condiciones presentados en las ecuaciones (3-8), (3-9) o (3-10). Tomando en cuenta que para su aplicación se debe cualquiera de las 3 situaciones presentadas a continuación dependiendo del caso: (Reglamento (UE) 2016/646, 2016, p.18)

$$road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d+200\text{ m})-h_{int}(d_a)}{d+200\text{ m}} \text{ para } d \leq 200\text{ m} \quad (3-8)$$

$$road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d+200\text{ m})-h_{int}(d-200\text{ m})}{(d+200\text{ m})-(d-200\text{ m})} \text{ para } 200\text{ m} < d < (d_e - 200\text{ m}) \quad (3-9)$$

$$road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d_e)-h_{int}(d-200\text{ m})}{d_e-(d-200\text{ m})} \text{ para } d \geq (d_e - 200\text{ m}) \quad (3-10)$$

Una vez cumplidas cualquiera de las tres condiciones, es aplicable las ecuaciones (3-11) y (3-12):

$$h_{int,sm,1}(d) = h_{int,sm,1}(d - 1\text{ m}) + road_{grade,1}(d), d = d_a + 1 \text{ a } d_e \quad (3-11)$$

$$h_{int,sm,1}(d_a) = h_{int}(d_a) + road_{grade,1}(d_a) \quad (3-12)$$

Siendo así:

$road_{grade,1}(d)$: 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 [m.s.n.m.],

$h_{int,sm,1}(d)$: altitud interpolada suavizada, tras la primera etapa de suavizado en el punto de ruta considerado d [m.s.n.m.],

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

d_a : punto de ruta de referencial, inicia a 0 metros [m] y

d_e : distancia acumulada hasta el punto de llegada [m].

De la misma manera, para la segunda etapa se considera 3 condiciones, especificado en las ecuaciones (3-13), (3-14) o (3-15):

$$road_{grade,2}(d) = \frac{h_{int,sm,1}(d+200\text{ m})-h_{int,sm,1}(d_a)}{d+200\text{ m}} \text{ para } d \leq 200\text{ m} \quad (3-13)$$

$$road_{grade,2}(d) = \frac{h_{int,sm,1}(d+200\text{ m})-h_{int,sm,1}(d-200\text{ m})}{(d+200\text{ m})-(d-200\text{ m})} \text{ para } 200\text{ m} < d < (d_e - 200\text{ m}) \quad (3-14)$$

$$road_{grade,2}(d) = \frac{h_{int,sm,1}(d_e)-h_{int,sm,1}(d-200\text{ m})}{d_e-(d-200\text{ m})} \text{ para } d \geq (d_e - 200\text{ m}) \quad (3-15)$$

Donde:

$road_{grade,2}(d)$: pendiente de la carretera suavizada en el punto de ruta 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 considerado d [m.s.n.m]

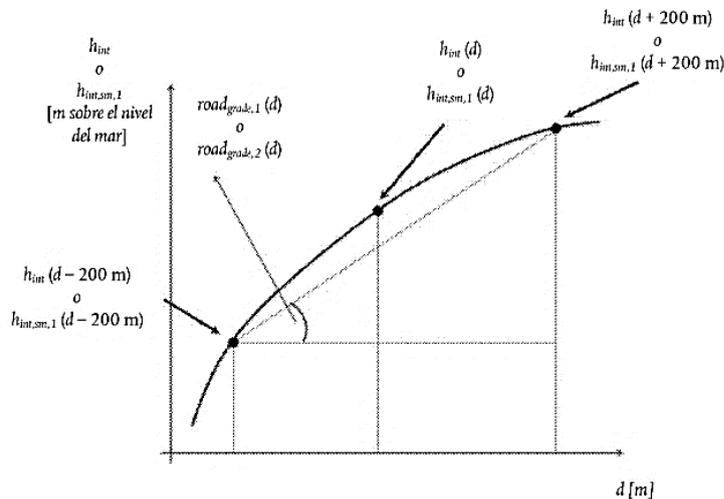


Ilustración 3-3: Gráfica del procedimiento para las señales de altitud interpoladas

Fuente: Reglamento (UE) 2016/646, 2016

3.7.4. Vehículos eléctricos de carga rápida homologados en el país

En la siguiente tabla 3-2 se detalla los vehículos eléctricos que pueden admitir carga rápida los

cuales serán el objetivo de las estaciones de carga a ubicar, como característica principal se sabe que un vehículo admite corriente DC para poder realizar una recarga rápida (VARUS, 2021)

Tabla 3-2: Vehículos eléctricos homologados de carga rápida para Ecuador

VEHÍCULOS ELÉCTRICOS HOMOLOGADOS EN EL PAÍS			
VEHÍCULO	POTENCIA DE CARGA [kW]	AUTONOMIA DECLARADA [km]	TIPO DE CORRIENTE
Kia Soul	50	150	D/C
Nissan Leaf	80	240	DC
Hyundai Ioniq 5 ev	88	414	D/C
Hyundai Kona	64	484	D/C
Volkswagen E-golf	100	130	D/C
Dong feng Rich	120	400	D/C
Audi E-tron 50	230	336	D/C
Audi E-tron 55	300	436	D/C
Audi E-tron 50 sportback	230	347	D/C
MG ZS EV	105	335	D/C
BMW i3 high executive	210	246	D/C
BDY E3	70	400	D/C
BYD E5 ac	60	400	D/C
MG ZS	85	335	D/C
BYD S2	70	300	D/C
BYD T3	100	300	D/C
BYD E2	70	300	D/C
Renault Zoe 110	100	395	D/C
Renault Zoe zen	65	190	-
Renault ZE express EV	44	190	-

Fuente: VARUSECUADOR,2021

Realizado por: Jimenez B, Ocampo D. 2023

Para llevar a cabo el proceso de ubicación de infraestructura de carga, antes que nada, se realiza una revisión de fuentes relacionados al tema de investigación para recoger información apropiada y desarrollar el mencionado estudio. Una vez realizado se utiliza la metodología MDFC (maximum distance between fast charge) por sus siglas en inglés.

3.7.5. Cálculo de MDFC y BHCI

El MDFC contiene distintas variables que deben ser analizadas para su cálculo, la fórmula y las variables necesarias ya han sido definidas en el capítulo 2, por lo que en este apartado se limitará al cálculo de cada una de ellas. Se necesita de información del fabricante, información de condiciones climáticas, y márgenes que se determinan según las condiciones de ruta. En este caso de estudio se analizan dos rutas desde las que se puede partir desde el mismo punto y también llegar al mismo punto, pero transitando por distintas vías, diferentes ciudades, diferencias geográficas y distintas altitudes, por lo que se calcularan MDFC y BHCI para cada ruta.

3.7.5.1. Determinación de Rm

En este caso de estudio para el cálculo de Rm se deberá descartar principalmente aquellos vehículos que no acepten carga rápida, el segundo factor a tomar en cuenta es la autonomía que puedan brindar los vehículos seleccionados, para efectos de estudio se descartan también aquellos vehículos que tienen un nivel autonomía baja o una autonomía demasiado elevada. (Buenaño & Torres 2023)

Para cumplir con el primer parámetro se ha utilizado la tabla 3-2 de vehículos eléctricos homologados para el país que pueden aceptar carga rápida y que se ajustan a las características de los vehículos con más presencia en el país. Para continuar se necesitará el vehículo eléctrico más representativo en el país, según el anuario de la AEADE (2021) se menciona que en total desde 2018 existió una venta de 252 unidades del modelo KIA Soul, lo cual lo convierte ampliamente en el vehículo eléctrico con más presencia en el país. En la tabla 3-3 se establecen las ventas de los vehículos eléctricos desde el 2018 al 2021.

Tabla 3-3: Venta de vehículos eléctricos 2018-2021

Vehículos Eléctricos vendidos 2018-2021						
Marca	Modelo	2018	2019	2020	2021	Total
KIA	Soul	33	23	3	193	252
Dong Feng	Serie Rich	-	-	-	33	33
Dayang	DY-GD04B	68	23	14	23	137
Audi	E-tron	-	-	-	20	20
Kalyun	Pickman	-	-	37	15	52
Nissan	Leaf	-	-	1	14	15

Zhidou	D1	-	-	-	12	12
BYD	E3	-	-	1	6	7
MG	MGZS	-	-	1	6	7
Jiayuan	City Spirits	-	-	5	6	11
Otras	-	29	57	44	20	150

Fuente: AEADE, 2021

Realizado por: Jiménez B, Ocampo D. 2023

Las características con las que cuenta el KIA Soul es que se considera un vehículo de carga rápida, apto para el uso en las rutas largas entre ciudades y también uso dentro de las ciudades, la autonomía con la que cuenta es de 150 km, según lo especificado por el fabricante, este nivel de autonomía nos conlleva a usar un Rm conservador. Cabe recalcar que existen otros modelos de años más actuales de este tipo de vehículo con mayor rango de autonomía, pero ese tipo de vehículos aún no están homologados en el país y no existe aún ninguna unidad circulando. Así pues, se determina que el primer dato de entrada para el cálculo del MDFC es de 150 km.

3.7.5.2. Obtención de Mw

Hay que tener en cuenta que el valor de Mw depende las condiciones climáticas a las que esté expuesta la ruta de estudio por lo tanto hay que analizar las ciudades principales de la ruta y las temperaturas mínimas, promedio y máximas, para determinar el impacto que estos factores tienen en la autonomía. En la tabla 3-4 se recolectan las temperaturas mínimas, máxima y promedios que se pueden encontrar en la ruta 1 de análisis.

Tabla 3-4: Temperaturas en la ruta 1.

Ciudad	Temperatura mínima (°C)	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)
Riobamba	16	18	20
Penipe	16	18	20
Cotaló	9	11	13
Baños	20	23	26
Puyo	21	25.5	30

Realizado por: Jimenez y Ocampo, 2023

Fuente: msn.com

Para la ruta 2 del estudio se debe analizar de igual manera las temperaturas y las ciudades que

existen en la vía, para ello se añade la tabla 3-5 describiendo los valores específicos de la ruta en mención.

Tabla 3-5: Temperaturas en la ruta 2.

Ciudad	Temperatura mínima (°C)	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)
Riobamba	16	18	20
Mocha	9	13.5	18
Pelileo	16	18.5	21
Baños	20	23	26
Puyo	21	25.5	30

Realizado por: Jimenez y Ocampo, 2023

Fuente: msn.com

Los datos de temperatura han sido obtenidos de datos históricos y análisis estadísticos de meteorología en donde se prevé el clima para cada ciudad, pudiendo variar los rangos, pero no de una manera significativa, así que se puede confiar en los datos de las tablas 3-4 y 3-5.

En el capítulo 2, específicamente en la tabla 2-1 se especifica los valores que debería tomar M_w según los valores de temperatura de la ruta, como valor mínimo es 9°C y el valor máximo de temperatura es 30°C , se determina que a partir de los márgenes de temperatura de 20% y 10% de consumo se promedia un 15% de disminución en la autonomía del vehículo, dicho valor representa a la variable M_w que se deberá utilizar para los cálculos de la ruta 1.

Con respecto a la ruta dos; se tiene una temperatura mínima de 9°C , el valor máximo de temperatura es de 30°C , basados en estas temperaturas y la tabla 2-1, los porcentajes de consumo de energía serán de 20% y 10% respectivamente dando un promedio de 15% en el factor M_w para la ruta 2.

3.7.5.3. Obtención de M_f

Entre los parámetros a tomar en cuenta para la obtención del factor M_f se encuentran las condiciones de la vía, el estilo de conducción con el cual se transite, el nivel de tráfico que generalmente se presenta en la vía, la geografía e incluso las velocidades máximas que se puede alcanzar estos y otros factores externos los cuales puedan llegar a mermar la autonomía del vehículo eléctrico. (Buenaño y Torres, 2023)

El primer factor para la obtención de M_f es la velocidad a la que puede circular en la ruta de estudio. Siendo en rutas estatales una velocidad permitida de 90-120 km/h, pero para efectos del estudio se plantea una velocidad de 100 km/h la cual según lo detallado en la tabla 2-2 representa un porcentaje de flexibilidad del 20%, a este porcentaje se le debe añadir el estilo de conducción agresivo que tiene un conductor en este tipo de rutas lo cual representa un 5%, en cuanto al factor del tráfico se le añade un 5% más en vista que el tráfico aumenta a medida que se acerca a las ciudades principales de la ruta y más aún cuando se intenta ingresar a los terminales terrestres de las ciudades iniciales y finales.

Para el cálculo del M_f también se debe tener en cuenta el factor de carga incompleta del vehículo eléctrico el cual representa un 5% más, cabe recalcar que se añade este factor en vista que se planea que no siempre los vehículos salen cargados desde los puntos iniciales. Se debe añadir también el factor por el tipo de rutas, el cual representa un 10% más ya que las rutas tienen una gran parte de camino montañoso. El total del M_f para el cálculo es de 45% tanto para la ruta 1 y ruta 2.

3.7.5.4. Determinación de k

El factor de simultaneidad toma en cuenta las 0 coincidencias que existe entre las condiciones climáticas con el factor de flexibilidad. El valor que se asocia para el estudio es de 10% o 1 ya que representa condiciones climáticas desfavorables, además que si el factor de flexibilidad supera el 40% representa condiciones duras en la ruta lo que respalda el valor aplicado. (Palacio, 2015)

3.7.5.5. MDFC

3.7.5.5.1. Determinación del MDFC para Ruta 1

Ida

En consecuencia, a los valores obtenidos en los párrafos anteriores se puede ya calcular el número de kilómetros que puede haber entre las estaciones de carga rápida, se aplica la ecuación 2-1 de donde se determina que:

$$MDFC_{R1ida} = 150 \text{ km} * (1 - (0.15 + 1 * 0.45))$$

$$MDFC_{R1ida} = 60 \text{ km}$$

En la tabla 3-6 se muestra un resumen de los datos que se aplican en la ecuación.

Tabla 3-6: Valores necesarios para el MDFC de la ruta 1 ida

MDFC Ruta 1 Ida			
Autonomía [R_M]	Margen Climático [M_W]	Factor Simultaneidad [K]	Margen de Flexibilidad [M_f]
150 km	0.15	1	0.45

Realizado por: Jimenez y Ocampo, 2023

Regreso

Para la ruta 1 en el trayecto de regreso Puyo-Riobamba, se debe aplicar la misma ecuación 2-1 pero esta vez con una variación en el factor M_f , al cual se aplica un 13% más por la elevación de montaña ya que en el perfil de regreso debe ascender pendientes pronunciadas y requiere de mayor energía.

Tabla 3-7: Valores necesarios para el MDFC de la ruta 1 regreso

MDFC Ruta 1 Regreso			
Autonomía [R_M]	Margen Climático [M_W]	Factor Simultaneidad [K]	Margen de Flexibilidad [M_f]
150 km	0.15	1	0.58

Realizado por: Jimenez y Ocampo, 2023

$$MDFC_{R1regreso} = 150\text{km} * (1 - (0.15 + 1 * 0,58))$$

$$MDFC_{R1regreso} = 40.5 \text{ Km}$$

Se usará 40 Km por la distancia total de ruta

3.7.5.5.2. Determinación del MDFC para Ruta 2

A partir de los valores obtenidos de los parámetros detallados anteriormente, se emplea la ecuación 2-1 donde el resultado obtenido se usa para la proposición de las ubicaciones de carga de Riobamba-Puyo, siendo de esta manera que:

Tabla 3-8: Valores necesarios para el MDFC de la ruta 2 ida

MDFC Ruta 2 Ida			
Autonomía [R_M]	Margen Climático [M_W]	Factor Simultaneidad [K]	Margen de Flexibilidad [M_f]
150 km	0.15%	1	0.45

Realizado por: Jimenez y Ocampo, 2023

$$MDFC_{R2ida} = 150km * (1 - (0.15 + 1 * 0.45))$$

$$MDFC_{R2ida} = 60 km$$

Sin embargo, en el recorrido de regreso existe pendientes crecientes por la elevación montañosa, además que en ciertas ocasiones las condiciones climáticas no favorecen a una buena conducción por lo que se modifica el factor de la flexibilidad de la ruta dando como resultado un valor de:

Tabla 3-9: Valores necesarios para el MDFC de la ruta 2 regreso

MDFC Ruta 1 Regreso			
Autonomía [R_M]	Margen Climático [M_W]	Factor Simultaneidad [K]	Margen de Flexibilidad [M_f]
150 km	0.15%	1	0.58

Realizado por: Jimenez y Ocampo, 2023

$$MDFC_{R2regreso} = 150km * (1 - (0.15 + 1 * 0.58))$$

$$MDFC_{R2regreso} = 40.5 Km$$

Se usará 40 Km por la distancia total de ruta

3.7.5.6 BHCI

3.7.5.6.1 Determinación del BHCI para Ruta 1

Ida

Como se definió anteriormente el BHCI se refiere al número de estaciones de carga que se debe aplicar en la ruta de estudio, tomando en cuenta el valor de la longitud total de la ruta 1 que según Google Maps es de 135 km, este valor es dividido para la distancia que debe existir entre las

estaciones de carga. Aplicando la ecuación 2-2 y según los valores se obtiene que:

$$BHCI_{1ida} = \frac{135 \text{ km}}{60 \text{ km}}$$
$$BHCI_{1ida} = 2.25$$

De 2 a 3 estaciones de carga

Regreso

En cuanto al trayecto de regreso por la ruta 1 se debe realizar un nuevo cálculo de BHCI ya que el valor de MCDF varia por qué se debe ascender pendientes pronunciadas, las que en la ruta 1 son descensos y no consumen energía. La distancia total de la ruta se mantiene en 135.

$$BHCI_{1regreso} = \frac{135 \text{ km}}{40 \text{ km}}$$
$$BHCI_{1regreso} = 3.37$$

De 3 a 4 estaciones de carga

3.7.5.6.1 Determinación del BHCI para Ruta 2

Ida

En el caso de la ruta 2 existe una distancia distinta, como lo indica Google Maps es de 137 km, de igual manera se debe dividir la longitud total para la distancia máxima entre estaciones de carga.

$$BHCI_{2ida} = \frac{137 \text{ km}}{60 \text{ km}}$$
$$BHCI_{2ida} = 2.28$$

De 2 a 3 estaciones de carga

Regreso

En cuanto al trayecto de regreso por la ruta 2 se debe realizar un nuevo cálculo de BHCI ya que el valor de MCDF varia por qué se debe ascender pendientes pronunciadas, la distancia total de

la ruta se mantiene en 137 km.

$$BHCI_{2_{regreso}} = \frac{137 \text{ km}}{40 \text{ km}}$$
$$BHCI_{2_{regreso}} = 3.42$$

De 3 a 4 estaciones de carga

3.7.6. Probables ubicaciones de las estaciones de carga rápida

Una vez que se ha obtenido el número de estaciones de carga que se deberán equipar en cada ruta analizada se procede con la ubicación de estas mediante el uso de Google Earth. Hay que tener en cuenta que en las ciudades de origen se deberá implementar una estación de carga adicional en vista que para el viaje el vehículo deberá salir con cierto porcentaje de carga y otra estación de carga adicional en las ciudades de destino puesto que el vehículo casi siempre regresa a la ciudad de origen y de igual manera para su retorno deberá salir con un porcentaje de batería que deberá recargar en las estaciones de las rutas. (Buenaño y Torres, 2023)

3.7.6.1. Ubicación de estaciones de carga ruta 1

Mediante la distancia obtenida del MDFC en kilómetros se puede realizar la ubicación de las estaciones de carga en la ruta de forma virtual, para ello se utiliza la herramienta Google Earth, pues según la distancia obtenida se cuenta desde el punto de origen del viaje hasta el lugar donde se cumpla con dicha distancia determinando así las coordenadas geográficas de cada ubicación, cuando se haya determinado la primera ubicación se repite el proceso para segunda estación tomando como nuevo punto de origen la estación anterior, en este estudio se ubicarán las estaciones son aproximadamente a 60 Km entre ellas para el trayecto de ida, mientras que para el trayecto de regreso se deberá implementar las estaciones de carga cada 40 km. En la ilustración 3-14 se muestra el mapa de Google Earth las ubicaciones de las estaciones de carga tanto para la ida como para el regreso de cada ciudad.

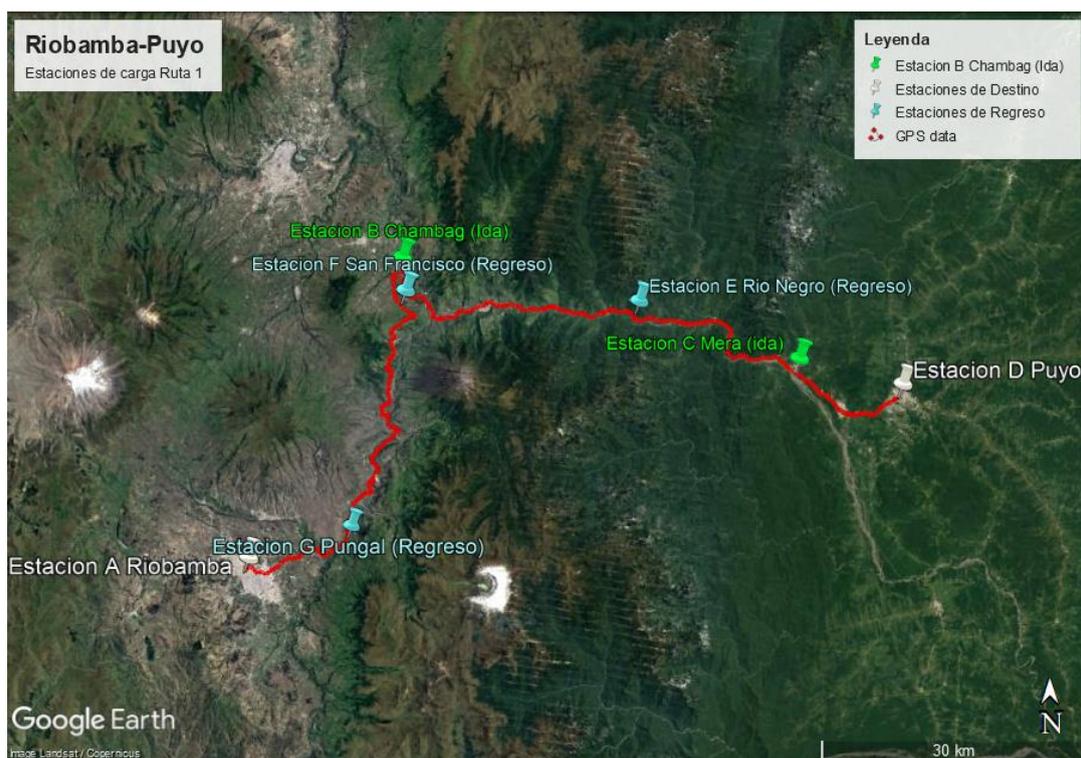


Ilustración 3-4: Ubicación de estaciones de carga Riobamba-Puyo, Puyo-Riobamba, ruta 1

Realizado por: Jimenez y Ocampo, 2023

Como se mencionó anteriormente la ubicación de las estaciones de carga varía dependiendo de la ciudad de origen, puesto que la distancia de la ruta no es exactamente divisible para 60km, por lo que en la tabla 3-10, se muestra las coordenadas geográficas obtenidas en el trayecto de ida y el de regreso.

Tabla 3-10: Coordenadas geográficas pertenecientes a las estaciones de carga Riobamba-Puyo-Riobamba, Ruta 1.

N° de estación	Denominación	Localización	
		Latitud (DMS)	Longitud (DMS)
A	Estación Riobamba	1°39'42.84"S	78°39'46.69"O
D	Estación Puyo	1°29'25.44"S	78° 0'21.00"O
B	Estación Chambag (ida)	1°21'40.79"S	78°30'31.28"O
C	Estación Mera (ida)	1°27'50.62"S	78° 6'37.22"O
E	Estación Rio Negro (Regreso)	1°24'20.27"S	78°16'20.53" O
F	Estación San Francisco (Regreso)	1°23'41.78"S	78°30'20.66"O
G	Estación Pungal (Regreso)	1°37'46.06"S	78°33'38.56"O

Realizado por: Jimenez y Ocampo, 2023

3.7.6.2. Ubicación de estaciones de carga ruta 2

Para la ruta dos, se realiza nuevamente el proceso de ubicación de las estaciones de carga mediante el MDFC calculado para la ruta y tomando en cuenta la distancia total de la ruta. En la ilustración 3-15 se posiciona las estaciones de carga según la ratio máxima de 60 km entre estaciones de carga para ida y a 40 km para el regreso.

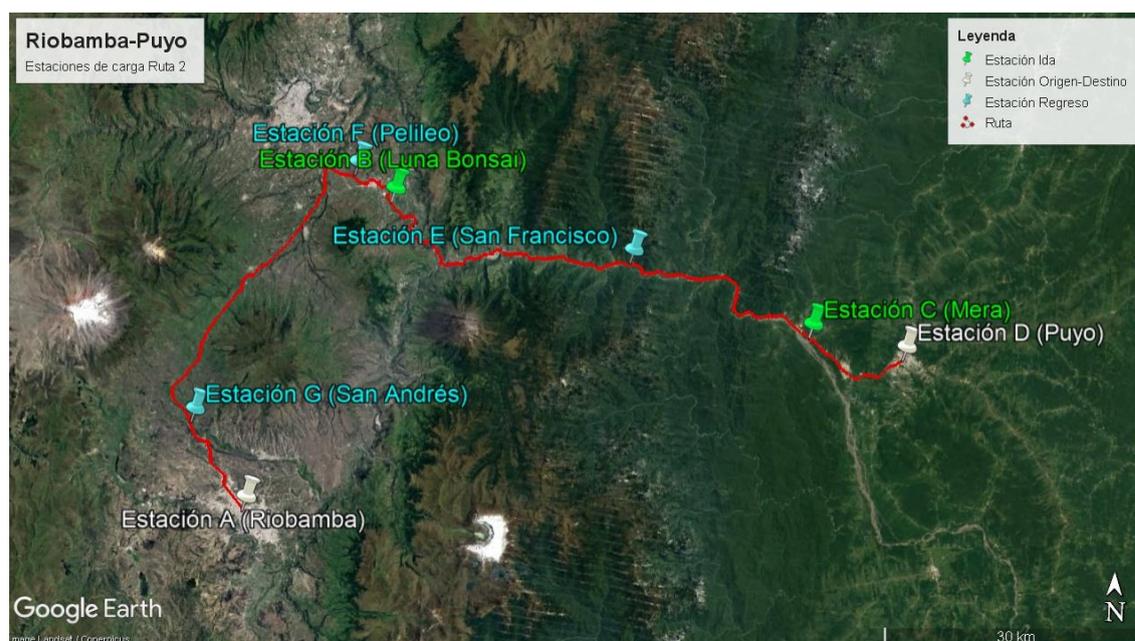


Ilustración 3-5: Ubicación de estaciones de carga Riobamba-Puyo, Puyo-Riobamba, ruta 2

Realizado por: Jimenez y Ocampo, 2023

Al igual que en caso de la ruta anterior contamos con una distancia de 137 km de largo, por lo tanto, no es una cifra que sea exactamente divisible para los 60 km que se determinaron en el MDFC, siendo así pues se tiene que ubicar también las estaciones de carga en el trayecto de ida como en el trayecto de regreso. Obteniendo 7 estaciones de carga en total y en la tabla 3-11 se describen la ubicación de las estaciones, según su denominación en el mapa además de sus coordenadas geométricas de latitud y longitud.

Tabla 3-11: Coordenadas geográficas pertenecientes a las estaciones de carga Riobamba-Puyo-Riobamba, Ruta 2.

Estación	Denominación	Localización	
		Latitud (DMS)	Longitud (DMS)
A	Estación Riobamba	1°39'41.76"S	78°39'47.45"O

B	Estación Luna Bonsai (Ida)	1°20'53.63"S	78°31'31.76"O
C	Estación Mera (Ida)	1°28'13.15"S	78° 6'6.01"O
D	Estación Puyo	1°29'25.22"S	78° 0'21.20"O
E	Estación San Francisco (Regreso)	1°24'5.87"S	78°17'8.38"O
F	Estación Pelileo (Regreso)	1°19'25.03"S	78°33'46.01"O
G	Estación San Andrés (Regreso)	1°34'32.34"S	78°42'57.17"O

Realizado por: Jimenez y Ocampo, 2023

3.7.7. Modelado del consumo energético y su relación con el BHCI planteado

Es fundamental aplicar un modelo de consumo energético donde se pueda considerar los datos de ruta obtenidos ya que es necesario para la evaluación de la propuesta de BHCI y que sus ubicaciones cercioren que un vehículo eléctrico pueda realizar el recorrido Riobamba-Puyo-Riobamba sin ningún problema.

3.7.7.1. Modelo Dinámico del vehículo

El comportamiento dinámico describe el movimiento que tiene el vehículo sobre una superficie de una carretera por medio de las fuerzas sometidas a el mismo. Al tratarse de un estudio sobre la dinámica vehicular se dice que puede ser práctico o metódico. El método empírico trata sobre una técnica exploratoria de ensayo y error. Por otro lado, el método analítico describe el comportamiento mecánico del vehículo fundamentándose en las leyes de la física y modelos matemáticos que son representados mediante ecuaciones algebraicas o diferenciales, las cuales relacionan fuerzas o movimientos con las propiedades de los distintos elementos que componen un vehículo (Paute y Sempertegui, 2020, p.62)

Un modelo matemático permite valorar e identificar los factores que influyen en el efecto que puede tener un estudio, el propósito de todo esto es obtener una estimación exacta que permita obtener beneficios significativos del vehículo, no obstante, todo modelo no está libre de tener faltas, por lo que simplemente son aproximaciones.

Para modelar el consumo energético es necesario utilizar ecuaciones que determinen la potencia demandada durante un recorrido, en base a parámetros como la velocidad, grado de inclinación, aceleración. Por lo tanto, la ecuación (3-16) se expresa como: (Buenaño y Torres, 2023)

$$P_x = F_x \cdot v \quad (3-16)$$

Siendo:

P_x : es la potencia requerida del neumático necesaria para mover el vehículo.

F_x : corresponde a la fuerza de tracción en [N] y,

v : velocidad del vehículo en [m/s]

Para el efecto de las inercias rotacionales en F_x , se utiliza la siguiente ecuación (3-17):

$$F_x = \gamma_m \cdot m \cdot a \cdot \Sigma R \quad (3-17)$$

En este caso, γ_m es un factor de masa y ΣR simboliza las fuerzas resistentes al movimiento, el factor de masa puede ser estimado por la ecuación (3-18):

$$\gamma_m = 1.04 + 0.0025 \cdot \xi_0^2 \quad (3-18)$$

Donde ξ_0^2 es la referencia de reducción general de la transmisión del vehículo (incluye las relaciones de la caja de transmisión y el eje motriz) (Buenaño y Torres, 2023), en el caso de los vehículos eléctricos la mayoría dispone de engranaje fijo. Las fuerzas en [N]; movimiento opuesto es la fuerza de arrastre (F_d) representada en la ecuación (3-19), la expresión que muestra en la ecuación (3-20) es la fuerza de resistencia a la rodadura (R_x) y la fuerza correspondiente a la pendiente (R_g) en la ecuación (3-21)

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_d \cdot A_f \cdot v^2 \quad (3-19)$$

$$R_x = f_r \cdot M \cdot g \cdot \cos \theta \quad (3-20)$$

$$R_g = M \cdot g \cdot \sin \theta \quad (3-21)$$

Para estas fórmulas, ρ_a figura la densidad del aire en [kg/m^3], C_d es el coeficiente de arrastre, el

área frontal del vehículo en $[m^2]$ se muestra como A_f , M es la masa de vehículo en $[kg]$, g es la gravedad con un valor tomado de $9.81 [m/s^2]$ y, por último, θ la pendiente de que tiene la calzada, mientras que f_r es el coeficiente de resistencia a la rodadura, se puede estimar respecto a v en $[km/h]$ con la ecuación (3-22): (Buenaño y Torres, 2023)

$$f_r = 0.0136 + 0.40 \times 10^{-7} \cdot v^2 \quad (3-22)$$

El valor de la densidad se puede aplicar la ecuación (3-23) siguiente:

$$\rho_a = \frac{P}{R \cdot T} \quad (3-23)$$

Siendo P la presión ambiental en $[Pa]$, R es la constante universal de los gases de $0.2869 [kJ/kgK]$, y T figura la temperatura en $[K]$ (Buenaño y Torres, 2023)

Además, se considera las ecuaciones (3-24) y (3-25)

$$d = \frac{1}{1000} \cdot \int_0^t v \, dt \quad (3-24)$$

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (3-25)$$

Donde d es la distancia recorrida por el vehículo en $[km]$ y a es su respectiva su aceleración en $[m/s^2]$. A partir de las variables especificadas, se utiliza además de las expresiones matemáticas mencionadas, se usa Simulink para la generación de un modelo de simulación donde las entradas son: v ; θ y ξ_0 , y dan como resultado las siguientes salidas: distancia total recorrida (d), aceleración (a) y P_x para cada segundo. En la tabla 3-12 se muestra las especificaciones de los vehículos utilizados para la obtención de datos y además se especifica los vehículos eléctricos que se usan posteriormente para la simulación.

Tabla 3-12: Especificaciones de los vehículos utilizados para la obtención de datos y simulación

Parámetro	Volkswagen Virtus	Nissan Leaf (VE)	KIA Soul (VE)
Masa máx. $m [kg]$	1419	1902	1960
Coef. de arrastre $Cd [-]$	0.28	0.58	0.34
Área frontal $A [m^2]$	2.19	2.28	2.39

Rel. de Reducción ξ_0 [-]	7.8	7.94	8.21
-------------------------------	-----	------	------

Realizado por: Jimenez, B y Ocampo, D, 2023

Fuente: Automobile-catalog.com

3.7.7.2. Modelo energético basado en la potencia.

Un vehículo eléctrico en cuando está circulando consume la energía de las baterías lo cual representa una disminución en la autonomía concretamente. Pero existe una energía que se puede reaprovechar, la cual es generada durante el tiempo frenado del vehículo más comúnmente conocido como el freno regenerativo.

El sistema de freno regenerativo se basa en convertir la energía producida por el motor durante los momentos de frenada a energía eléctrica, esta energía eléctrica es usada nuevamente para la recarga de baterías según el principio de un alternador. (Monroy y Siachoque, 2021). La energía será positiva siempre y cuando el vehículo necesite ser impulsado y la energía será negativa cuando se produce momentos de frenada, siguiendo con este principio se puede mencionar que el freno regenerativo producirá energía siempre y cuando el vehículo no supere la diferencia marcada entre las aceleraciones de frenado normal y frenadas de emergencia. Otro factor para tomar en cuenta es que si el vehículo circula a una cierta baja velocidad no producirá energía durante el frenado ya que no se tendría suficiente energía cinética. (Buenaño y Torres, 2023)

Se menciona en el artículo de Buenaño y Torres que se podría diferenciar entre los eventos de carga y descarga cuando se llegue a cumplir que la potencia en rueda sea mayor a 0.

Para demostrar esta condición se usa la ecuación (3-26) que calcula la potencia de descarga del vehículo.

$$P_{dch} = P_{acc} + \frac{P_x}{n_{wh} * n_{fd} * n_{mot} * n_{bat}} \quad [W] \quad (3-26)$$

Teniendo para la ecuación que:

P_{dch} : potencia de descarga

P_{acc} : potencia de accesorios

n_{wh} : eficiencia del neumático

n_{fd} : eficiencia de la transmisión

n_{mot} : es la eficiencia del motor eléctrico

n_{bat} : es la eficiencia de la batería

Cuando se tiene la situación de que el vehículo se encuentre encendido, pero no está avanzando se da la condición de que para todo $P_x = 0$, dando por entendido que la Potencia de descarga es igual a la potencia de accesorios.

En los eventos en los cuales se tengan frenadas muy rápidas o bruscas se excederá una determinada desaceleración máxima o también se puede tener que la velocidad a la que se circula es mucho menor a la velocidad mínima establecida dando como resultado que la potencia de descarga es igual a la potencia de accesorios mencionados anteriormente. La condición explica lo mencionado en el párrafo.

$$\forall (P_x < 0) \cap \{(a > a_{max}) \cup (v < v_{min})\}$$

Se considera que un evento de frenada regenerativa se da cuando se cumpla que:

$$\forall (P_x < 0) \cap \{(a < a_{max}) \cap (v > v_{min})\}$$

Para todas las potencias en rueda P_x que sean menores a 0 en intersección con la aceleración en ese instante siendo menor a la aceleración máxima de frenada junto con la velocidad de circulación siendo mayor que la velocidad mínima del vehículo dará como resultado el freno regenerativo.

La potencia generada por el freno regenerativo para la recarga también se puede calcular o estimar mediante la formula (3-27) presentada a continuación: (Buenaño y Torres, 2023)

$$P_{ch} = |P_x| * n_{wh} * n_{fd} * n_{mot} * n_{bat} - P_{acc} [W] \quad (3-27)$$

Donde:

P_{ch} : representa a la potencia de carga del freno

Para la potencia de operación obtenida de los bloques de simulación se calcula mediante la ecuación (3-28), teniendo que dicha potencia es la que se mide en watos para cada instante de tiempo durante la conducción. (Buenaño y Torres, 2023)

$$P_{ope} = P_{ach} - P_{ch} [W] \quad (3-28)$$

3.7.7.3. Simulación del SOC de batería y consumo del VE

3.7.7.3.1. Porcentaje del SOC de batería

Un vehículo eléctrico depende netamente del rendimiento de su batería lo cual es importante a la hora de comprobar si tiene la capacidad de realizar un viaje extendido, la evaluación del SOC (State of Charge) de batería se basa en un determinado umbral de funcionamiento que comprende desde el 20% hasta el 95% de carga total de batería, esto con el fin de preservar un correcto funcionamiento del sistema. (Fiori, Anh y Rakha, 2016)

En la ecuación (3-29) se presenta el cómo calcular el estado de SOC de la batería.

$$SOC = SOC_{int} - \frac{\int_0^t (P_{ope} + Ch_{fst}) dt}{C_{bat}} \quad [\%] \quad (3-29)$$

En la ecuación se tiene que:

SOC_{int} : SOC inicial de batería

Ch_{fst} : Potencia suministrada por la carga rápida

C_{bat} : Capacidad de batería en kWh.

3.6.7.3.2. Consumo energético de un VE

Según el artículo de Fiori (2016), presenta la ecuación (3-30) la cual describe el cómo estimar el consumo energético del VE calculado en Watios hora por Kilómetros.

$$C_E = \frac{1}{3.600} * \left(\int_0^t (P_{ope} + Ch_{fst}) dt \right) * \frac{1}{d} \quad \left[\frac{Wh}{Km} \right] \quad (3-30)$$

En donde se tiene que:

C_E : Consumo energético

d : distancia total recorrida durante la simulación

La siguiente ecuación (3-31) demuestra el cómo obtener la demanda energética del vehículo para

la totalidad del ciclo.

$$D_E = \frac{1}{3'600.000} * \left(\int_0^t (P_{ope} + Ch_{fst}) dt \right) \quad [KWh] \quad (3-31)$$

En donde se tiene que:

D_E : demanda energética

3.7.7.3.3. Simulación de infraestructura de carga

La simulación de las estaciones de carga se realiza con el objetivo de comprobar la interacción que tendrá el vehículo VE Kia Soul EV, con la infraestructura de carga, y los eventos de carga, se debe tomar en cuenta que para la modelación se parte desde el valor de MDFC y la potencia de carga que soporta el vehículo.

Un evento de carga se define como para toda distancia de MDFC a la cual se llegue con un porcentaje de SOC menor al 95%. (Buenaño y Torres, 2023)

La potencia de carga rápida se puede calcular mediante la ecuación (3-32)

$$Ch_{fst} = PC * (-1) \quad (3-32)$$

En donde se tiene que:

Ch_{fst} : es la potencia de carga rápida y dependerá de las características de la estación de carga y cuanta potencia pueda suministrar.

PC : el valor de PC se obtiene de “Lookuo Table” del programa Simulink el cual almacenara los datos pertenecientes a la curva de carga.

El vehículo KIA Soul EV tiene una potencia de carga de 50 kW y representa el máximo nivel de carga que puede soportar y por lo tanto lo que deberá proveer la estación de carga. En la ilustración 3-16 se muestra la curva de potencia de carga en [kW].

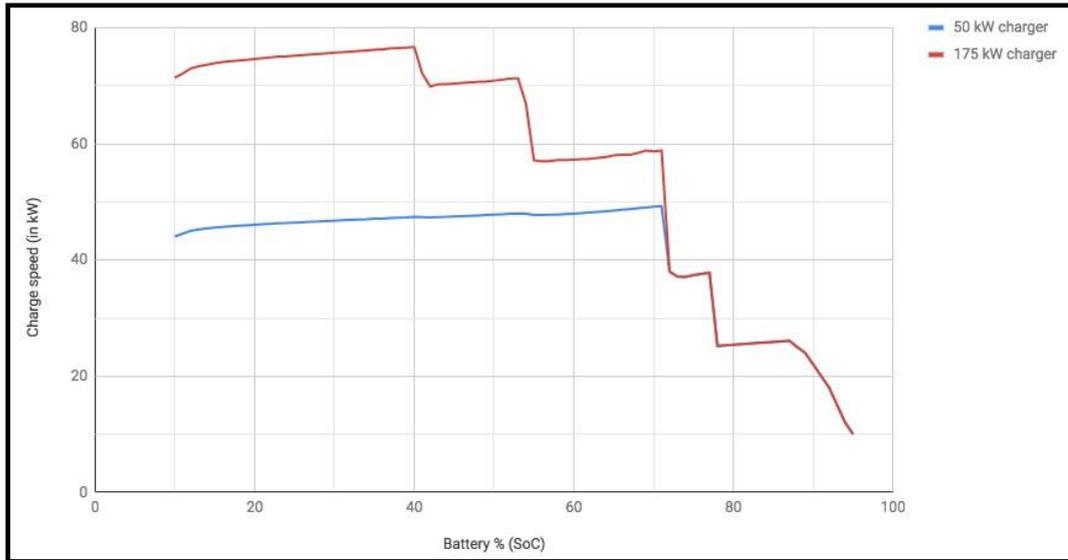


Ilustración 3-6: Curva de 50 [KW] de potencia de carga KIA Soul EV

Fuente: FASTNED, 2023

Se debe resaltar que la curva de potencia representa a una batería en excelentes condiciones, trabajando a una temperatura ideal de 30 °C, en el caso de no tener estos parámetros la curva podría verse afectada de manera significativamente. (FASTNED, 2023)

Usando las funciones de Matlab como Simulink y los elementos de bloques tipo “Variable Time Delay” se establece la condición que basados en la distancia de MDFC y cuando el vehículo haya recorrido dicha distancia se inserte un evento de carga por un cierto tiempo. Tomando en cuenta que los eventos de carga no deben superar los 20 minutos, evitando pérdidas de tiempo y procurando realizar el viaje en un tiempo cercano al de un vehículo de combustión. (Buenaño y Torres, 2023)

3.7.7.3.4. Datos de conducción

Una vez obtenido y registrado los datos de conducción se usa el modelo de evaluación energética propuesto, la finalidad es obtener información sobre el perfil de elevación y velocidad de un vehículo en ruta. Dicha información es esencial al momento de validar los resultados de la simulación ya que permite determinar si las ubicaciones de infraestructura de carga propuestas satisfacen las necesidades de carga de un VE en las rutas consideradas.

Para la obtención de la ruta más representativa tanto de ida como de regreso, es considerado el método de las diferencias mínimas ponderadas de parámetros característicos (MWD-CP) (Huertas

et al., 2018; citados en Buenaño & Torres, 2023) la misma que es muy común para la obtención de ciclos de conducción típicos (TDC). El método se basa en la ecuación (3-33) donde el ciclo C con el mínimo resultado de la suma de diferencias calculadas será el ciclo representativo de conducción.

$$C = Arg \{ \min j (\sum w_i |P_{ij} - \bar{P}_i|) \} \quad (3-33)$$

Donde C es el valor mínimo de la sumatoria de parámetros, w_i se refiere el peso de estimación para cada parámetro característico, P_{ij} es el valor del parámetro característico i para el ciclo j ; y \bar{P}_i hace referencia a la media de valores del parámetro característico i .

Para la evaluación se considera la demanda energética positiva, así como sus parámetros característicos, como es el porcentaje de energía positiva demandada respecto a las fuerzas que intervienen en el vehículo (Buenaño y Torres, 2023)

A partir de las expresiones (3-33) y (3-34) se puede obtener la potencia (P) y energía (E):

$$P = \frac{1}{1000} \cdot F \cdot v \quad [kW] \quad (3-33)$$

$$E = \frac{1}{3600} \cdot P \cdot \Delta t \quad [kW] \quad (3-34)$$

Los cálculos se realizan para intervalos de 1s, además de la energía positiva individual para las cuatro fuerzas. A continuación, se procede a determinar la energía acumulada total positiva mediante la ecuación (3-35):

$$\Sigma E_{(+)} = \Sigma E_{Fd(+)} + \Sigma E_{Rx(+)} + \Sigma E_{Rg(+)} + \Sigma E_{Ri(+)} \quad (3-35)$$

Siendo $\Sigma E_{(+)}$ la sumatoria de la energía total positiva del ciclo; $\Sigma E_{Fd(+)}$ es la energía positiva debido a la fuerza de arrastre; $\Sigma E_{Rx(+)}$ fuerza positiva debida a la fuerza de rodadura; $\Sigma E_{Rg(+)}$ es la fuerza positiva debida a la fuerza gravitacional y $\Sigma E_{Ri(+)}$ es la fuerza positiva de inercia.

En base a los resultados obtenidos, se halla el porcentaje de energía que representa cada una con respecto a $\Sigma E_{(+)}$, y se establecen los pesos relativos respecto a la energía total positiva. Para los cálculos se utiliza la tabla 3-7 correspondientes al VW Virtus, con respecto al parámetro de ρ_a el valor usado es de 1.22 kg/m^3 , calculado a partir de la ecuación (3-23) con un valor de

temperatura media de 291.15 K y una presión atmosférica de 101.95 kPa, obtenidas mediante la media de mediciones de los puntos de partida y de llegada de las rutas propuestas.

Se aplica el cálculo de los coeficientes de variación de parámetros para la validación de las muestras de los datos utilizados, ya que mediante el cálculo se halla la variabilidad de los datos respecto a las medias. La ecuación (3-36) es aplicada para el cálculo:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (3-36)$$

Donde CV es el coeficiente de variación, la variación estándar se representa como σ y \bar{x} representa a la media de los datos. Los resultados de las diferencias mínimas entre los parámetros característicos para la obtención de los ciclos representativos se muestran en las tablas 3-13 y 3-14 correspondiente a la ruta que se dirige por Penipe y en las tablas 3-15 y 3-16 que corresponde al recorrido realizado por Pelileo.

Tabla 3-13: Diferencias mínimas ponderadas de los registros de ida de la ruta 1

Registro	% $E_{Fd(+)}$	% $E_{Rx(+)}$	% $E_{Rg(+)}$	% $E_{Ri(+)}$	C
1	8.155	16.586	39.091	36.167	3.690
2	8.165	13.444	31.100	47.291	4.189
3	9.599	15.015	35.835	39.550	1.439
4	9.731	16.137	30.980	43.152	2.125
5	9.000	17.690	35.873	37.437	2.222
6	8.706	16.806	30.959	43.529	2.213
7	8.744	17.041	31.654	42.560	1.618
8	8.163	17.185	32.438	42.214	1.285
9	9.388	17.218	37.511	35.883	3.368
10	8.335	17.566	34.244	39.856	0.685
Promedio	8.80	16.47	33.97	40.76	-
Valoración	0.09	0.16	0.34	0.41	-

Realizado por: Jimenez, B y Ocampo, D, 2023

Con respecto al análisis de las tablas 3-13 y 3-14, considerando los valores de C, el ciclo representativo de viaje de ida de la Ruta Riobamba-Penipe- Puyo corresponde al registro 10 con un valor de 0.685; y el registro 3 con un valor C de 0.08.

Tabla 3-14: Diferencias mínimas ponderadas de los registros de regreso de la ruta 1

Registro	% $E_{Fd}(+)$	% $E_{Rx}(+)$	% $E_{Rg}(+)$	% $E_{Ri}(+)$	C
1	1.60	3.01	10.13	8.68	0.68
2	2.05	4.02	11.17	7.90	0.22
3	1.83	3.99	10.91	7.96	0.08
4	1.87	4.05	11.17	7.81	0.26
5	1.86	4.07	11.63	6.62	0.85
6	2.19	4.08	10.40	9.16	0.61
7	2.11	4.06	11.08	8.03	0.15
8	2.11	4.06	11.08	8.03	0.15
9	1.91	3.40	10.82	8.23	0.15
10	2.22	3.93	9.89	9.76	1.01
Promedio	1.98	3.87	10.83	8.02	-
Valoración	0.08	0.16	0.44	0.33	-

Realizado por: Jimenez. B y Ocampo. D, 2023

Para el caso de la ruta 2, se presenta las tablas 3-15 y 3-16 con los resultados de los ciclos representativos.

Tabla 3-15: Diferencias mínimas ponderadas de los registros de ida de la ruta 2

Registro	% $E_{Fd}(+)$	% $E_{Rx}(+)$	% $E_{Rg}(+)$	% $E_{Ri}(+)$	C
1	9.58	15.55	28.75	46.12	1.04
2	9.91	16.12	25.95	48.01	2.65
3	8.89	14.75	28.29	48.07	2.14
4	8.39	17.64	34.54	39.43	4.12
5	7.63	15.99	30.07	46.31	1.07
6	8.52	17.80	31.34	42.34	1.89
7	8.63	17.99	31.94	41.44	2.49
8	8.82	18.63	31.83	40.73	2.87
9	9.77	15.86	26.08	48.30	2.77
10	10.02	16.17	26.33	47.49	2.31
Promedio	9.02	16.65	29.51	44.82	-
Ponderación	0.09	0.17	0.30	0.45	-

Realizado por: Jimenez. B y Ocampo. D, 2023

Del análisis de las tablas citadas, se puede concluir que mediante las diferencias mínimas ponderadas se tiene que los ciclos de conducción representativos corresponden al registro 1 para el caso del viaje de ida con un valor de C de 1.04; mientras que para el viaje de regreso se obtiene un valor de C del 1.12 perteneciente al registro 9.

Tabla 3-16: Diferencias mínimas ponderadas de los registros de regreso de la ruta 2

Registro	% $E_{Fd(+)}$	% $E_{Rx(+)}$	% $E_{Rg(+)}$	% $E_{Ri(+)}$	C
1	8.01	17.78	37.72	36.50	2.11
2	7.67	14.08	34.13	44.11	6.18
3	8.17	15.31	37.96	38.56	2.47
4	8.36	15.51	38.95	37.17	1.54
5	7.99	14.85	39.29	37.88	1.73
6	6.46	16.29	42.80	34.45	1.28
7	6.45	16.49	48.58	28.48	5.82
8	6.93	17.62	46.37	29.08	4.84
9	8.40	15.81	39.37	36.42	1.12
10	6.76	12.41	46.85	33.98	3.49
Promedio	7.52	15.61	41.20	35.66	-
Valoración	0.08	0.16	0.41	0.36	-

Realizado por: Jimenez. B y Ocampo. D, 2023

Los registros representativos seleccionados serán utilizados en simulación de la evaluación del VE y el BHCI propuesto. Para validar los datos, se justifica mediante la determinación del CV, los mismos que están presentes en la Tabla 3-17 y 3-18, correspondiente a la ruta 1 y 2 respectivamente.

Tabla 3-17: Determinación de coeficientes de variación de los parámetros característicos pertenecientes a la Ruta 1

Parámetro Característico	Media	D. estándar	C.V
Registros de Ida			
% $E_{Fd(+)}$	8.80	0.61	6.93
% $E_{Rx(+)}$	16.47	1.32	7.99
% $E_{Rg(+)}$	33.97	2.98	8.77
% $E_{Ri(+)}$	40.76	3.65	8.94

Registros de Regreso			
% $E_{Fd (+)}$	1.98	0.19	9.83
% $E_{Rx (+)}$	3.87	0.36	9.37
% $E_{Rg (+)}$	10.83	0.53	4.94
% $E_{Ri (+)}$	8.02	0.85	10.56

Realizado por: Jimenez. B y Ocampo. D, 2023

Tabla 3-18: Determinación de coeficientes de variación de los parámetros característicos pertenecientes a la Ruta 2

Parámetro Característico	Media	D. estándar	C.V
Registros de Ida			
% $E_{Fd (+)}$	9.02	0.78	8.63
% $E_{Rx (+)}$	16.65	1.26	7.60
% $E_{Rg (+)}$	29.51	2.92	9.91
% $E_{Ri (+)}$	44.82	3.45	7.70
Registros de Regreso			
% $E_{Fd (+)}$	7.52	0.78	10.46
% $E_{Rx (+)}$	15.61	1.61	10.30
% $E_{Rg (+)}$	41.20	4.72	11.45
% $E_{Ri (+)}$	35.66	4.56	12.80

Realizado por: Jimenez. B y Ocampo. D, 2023

A continuación, en la tabla 3-19 se presenta un resumen de los registros de las dos rutas. Estos datos son los que se usaran en el modelo para la respectiva simulación y a partir de los resultados que se obtengan, realizar la evaluación del BHCI propuesto. A partir de estos datos se logra tener una gráfica de velocidad vs tiempo.

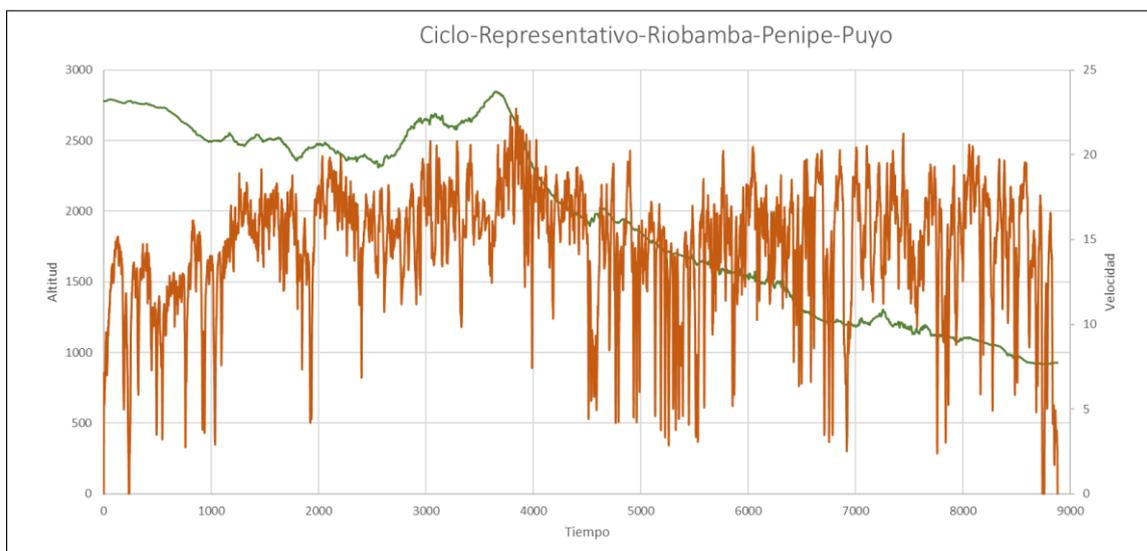
Tabla 3-19: Resumen de parámetros de los registros seleccionados

Ruta 1		
Parámetros	Registros Ida	Registro Regreso
Distancia Total (km)	130.01	128.71
Velocidad máxima (m/s)	22.72	23.91
Velocidad Promedio (m/s)	14.64	12.39
Aceleración Máxima (m/s ²)	7.09	4.84

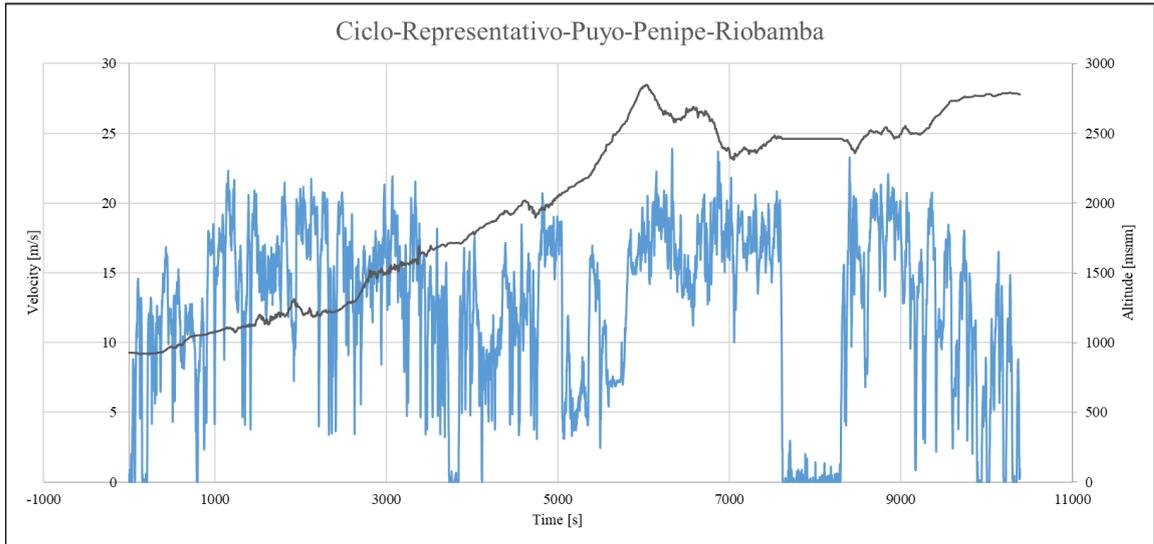
Aceleración Mínima (m/s^2)	-8.83	-4.82
% Detenido (%)	0.32	6.81
Tiempo Total (s)	8879.00	10387.00
Ruta 2		
Parámetros	Registros Ida	Registro Regreso
Distancia Total (km)	133.49	133.32
Velocidad máxima (m/s)	30.40	34.42
Velocidad Promedio (m/s)	15.36	14.07
Aceleración Máxima (m/s^2)	6.74	0.44
Aceleración Mínima (m/s^2)	-10.12	-0.51
% Detenido (%)	0.12	3.86
Tiempo Total (s)	8690.00	9477.00

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

En la ilustración 3-17 se muestra a) ciclo de ida Riobamba-Penipe-Puyo, y b) el ciclo de regreso Puyo-Penipe-Riobamba y para el caso de la ilustración 3-18; a) el ciclo de ida Riobamba-Pelileo-Puyo y de la misma manera b) el ciclo representativo para el recorrido de regreso Puyo-Pelileo-Riobamba



(a) Ciclo de ida Riobamba-Penipe-Puyo

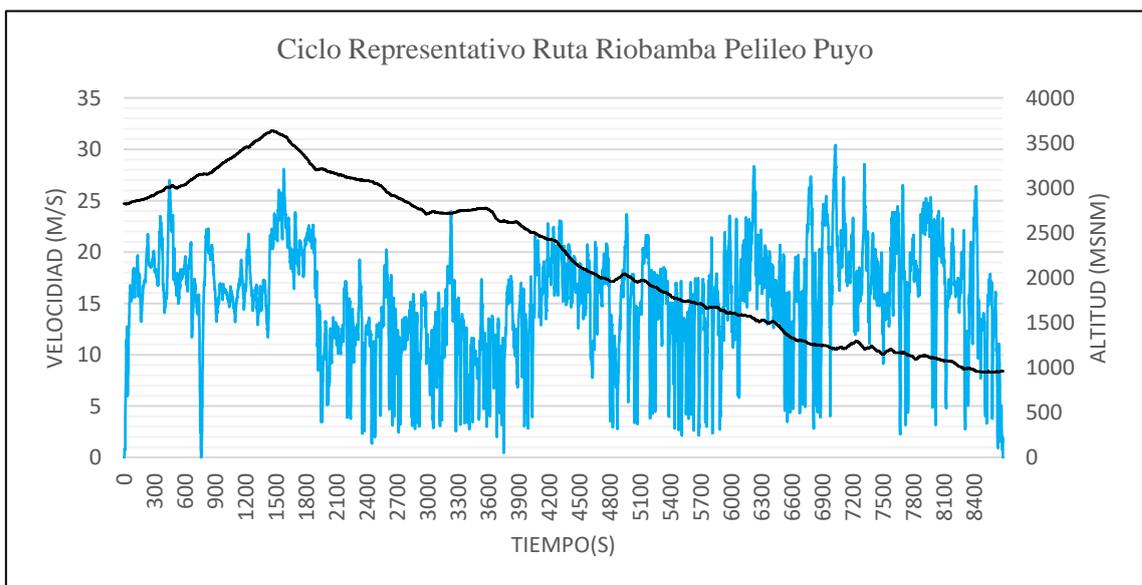


(b) Ciclo de Regreso Puyo-Penipe-Riobamba

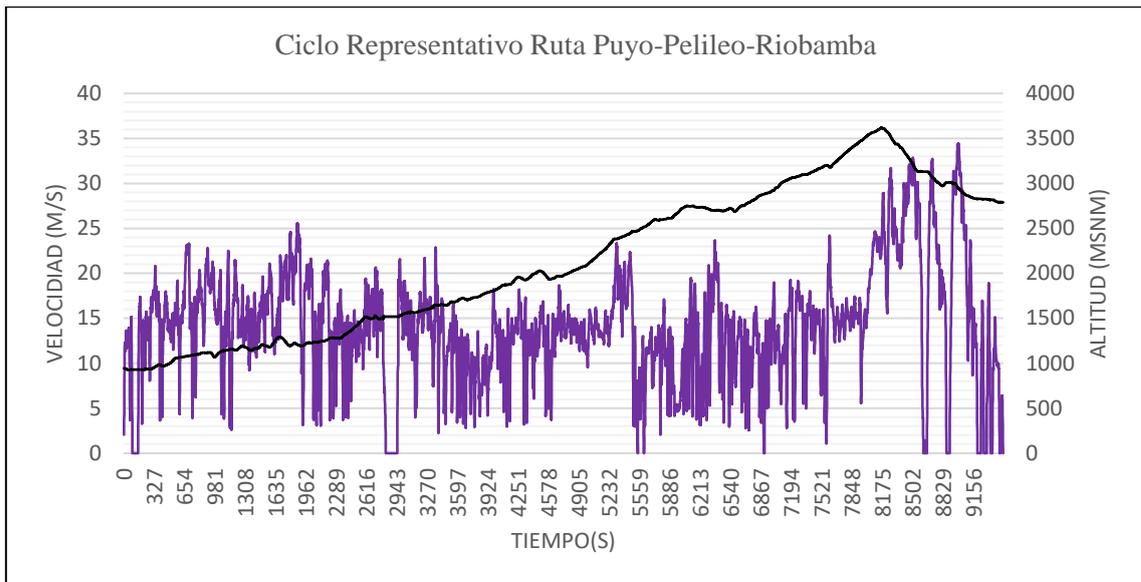
Ilustración 3-7: Ciclos de conducción representativos Ruta 1 (a) Ciclo de ida Riobamba-Penipe-Puyo y (b) Ciclo de regreso Puyo-Penipe-Riobamba.

Fuente: Jimenez. B y Ocampo. D, 2023

Al comparar los perfiles de altitudes de las dos rutas y de los dos recorridos, se aprecia una simetría entre ambos gráficos. Además, si se analiza los datos de la tabla 3-14 existe cierta similitud entre resultados, por lo que da a entender que las rutas de ida y de regreso de las 2 rutas analizadas son casos semejantes



(a) Ciclo de ida Riobamba-Pelileo-Puyo



(b) Ciclo de Regreso Puyo-Pelileo-Riobamba

Ilustración 3-8: Ciclos de conducción representativos Ruta 1 (a) Ciclo de ida Riobamba-Penipe-Puyo y (b) Ciclo de regreso Puyo-Pelileo-Riobamba.

Fuente: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

3.7.8. Escenarios de simulación

Según los datos recabados durante la presente investigación se utilizará para la simulación el vehículo más representativo en el Ecuador, el Kia Soul EV el cual también cumple con la característica de poder receptor la carga rápida que se planea implementar en las estaciones de carga y también tiene una autonomía declarada aproximada de 150 km y una capacidad en su batería de 27 KWh, lo cual lo posiciona como un vehículo apto para los recorridos de estudio.

La densidad que se usará para la simulación es el usado en la selección del ciclo más representativo y calculado mediante la ecuación (3-23), el factor de masa del vehículo es asignado mediante la capacidad de carga que puede transportar el vehículo y descrita en la tabla (3-7), los datos de altitud y velocidad de las rutas se ven representados en las ilustraciones (3-17 a, b y 3-18 a, b), estos datos se toman de las hojas de cálculo de Excel e ingresados a Simulink mediante la función “From Spreadsheet”, y asignando una frecuencia de 1 segundo.

3.7.8.1. Carga de batería completa. Escenario 1

Para el primer escenario de modelación se considera como parámetros iniciales los ciclos más representativos de ida y vuelta, es decir aquellos ciclos de conducción que se acerquen más a la

media del total de ciclos. El SOC inicial del vehículo se toma el 95% debido a las eficiencias de los motores y la eficiencia de la batería, además de precautelar la salud de la batería según las condiciones de trabajo, para cada evento de carga se plantea un tiempo de 15 minutos, las ubicaciones tentativas de las estaciones de carga se obtienen de las tablas (3-3) y (3-4) sabiendo que ya están ubicadas según el MDFC DE 60 km.

Dentro de las rutas a analizar se manejan valores de temperatura de entre 9 y 30 °C y para mantener el habitáculo del vehículo dentro de los rangos adecuados de 15 y 25 °C se necesitará un consumo del sistema de climatización de $P_{acc} = 0,700$ kW. (Fiori, Ahn y Rakha, 2016)

3.7.8.2. Carga de batería incompleta. Escenario 2

Las condiciones de ruta y de funcionamiento del vehículo en este escenario son prácticamente iguales al caso anterior, la diferencia radica en el valor del SOC inicial, tomando un valor de 65% ya que para el estudio se plantea simular un viaje en el cual el VE no esté completamente cargado.

3.7.8.3. Recorrido sin estaciones de carga. Escenario 3

Para el tercer escenario se plantea la posibilidad de hacer los recorridos sin realizar la carga del vehículo, en busca de estudiar que tan factible es para los trayectos de ida y regreso, suponiendo que los vehículos parten desde su ciudad de origen con un nivel de carga completa.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Modelo de consumo energético calibrado

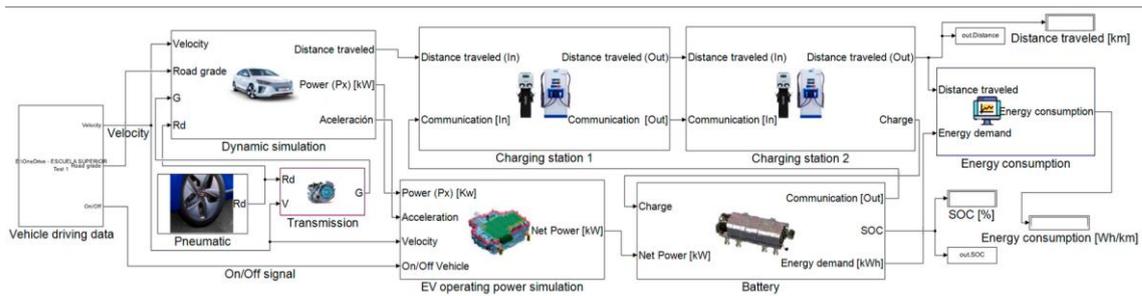


Ilustración 4-1: Modelo energético reajustado a los nuevos requerimientos de las rutas.

Fuente: (Buenaño & Torres 2023)

El modelo energético obtenido después de analizar el consumo, la potencia, las condiciones climáticas y los perfiles de altitudes de las rutas propuestas para la investigación es el presentado en la ilustración (4-1) y se refiere a un diagrama de bloques de configuración modular el mismo que permite que las estaciones de carga puedan ser ubicadas en serie, una detrás de la otra durante todo el trayecto de la ruta. Como parámetros iniciales del modelo matemático se tiene la velocidad en [m/s], la pendiente en [rad], la estructura general del diagrama se basa en el número de estaciones de carga (BHIC), el valor calculado de MDFC, y a la salida del modelo matemático se obtiene la distancia total (d), SOC estimado de batería, además se obtendrá el valor de la potencia de carga rápida en (Wattios/Hora) que necesitó el vehículo para el trayecto.

4.2. Resultados de la simulación de la ubicación del BHIC propuesto con el KIA Soul EV

4.2.1. Demanda energética de las rutas

Mediante el análisis de los ciclos más representativos definidos en el capítulo 3, a través del modelo matemático ya calibrado en Simulink, se puede determinar que el rendimiento energético es más elevado cuando se realiza el viaje de regreso en el sentido Puyo- Riobamba, esto se produce porque el viaje de ida se caracteriza por ser un relieve en descenso y por este motivo el freno regenerativo provee de energía al vehículo, en el trayecto de ida se tiene un tiempo de recarga en cada estación de 15 minutos, mientras que para que el vehículo pueda regresar se establece un tiempo de recarga de 20 minutos, a continuación en la tabla 4-1 se presentan los valores de demanda y consumo energético de la ruta 1 y 2.

Tabla 4-1: Demanda energética del VE en las rutas 1 y 2

Ruta 1: Riobamba-Penipe-Puyo

Trayecto	Tiempo total [s]	Demanda Energética Ruta [KWh]
Riobamba - Puyo	8879	15.25
Puyo - Riobamba	10389	24.68
Ruta 2: Riobamba-Pelileo-Puyo		
Trayecto	Tiempo total [s]	Demanda Energética Ruta [KWh]
Riobamba - Puyo	8690	20.16
Puyo - Riobamba	9477	26.76

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

A partir de los valores obtenidos del modelo energético basado en los ciclos representativos para cada viaje de ida y regreso de la tabla 4-1, se puede mencionar que la ruta 1 es aquella que representa una menor demanda energética para un vehículo eléctrico, por lo cual inicialmente se puede inferir que realizar un viaje de Riobamba-Puyo o Puyo-Riobamba es más eficiente por la ruta mencionada.

4.2.2. Resultados Ruta 1

A continuación, se presentan distintos escenarios de estudio junto con los resultados de los valores de SOC obtenidos a la llegada de cada estación, mediante la simulación para el trayecto Riobamba-Puyo-Riobamba en la ruta 1. Las estaciones A y D son las estaciones en las ciudades inicial y final, mientras que las estaciones B y C son las que se ubicaran en la carretera.

Para el trayecto de ida se utilizó solamente una estación de carga rápida puesto que mediante simulaciones previas se pudo realizar el reajuste de las ubicaciones para las estaciones permitiendo optimizar el modelo según los requerimientos de la ruta. Para el trayecto de regreso se mantienen las dos estaciones de carga con su *MDFC* correspondiente.

4.2.2.1. Escenario 1

Se establece un SOC inicial del 95%, establecido en el capítulo 2 como carga completa, durante el viaje de ida se tiene un SOC mínimo de 61.24%, llegando a la estación de carga se tiene un SOC de 71.33% y realizando una carga de 15 minutos en la estación intermedia se llega al destino con un 83.07% de carga. Cumpliendo ampliamente las condiciones mínimas del vehículo para realizar el viaje. Los resultados se presentan en la tabla 4-2

Tabla 4-2: SOC de batería escenario 1 trayecto de ida

Resultados Ida Riobamba-Puyo					
Estación A	Estación B		Estación C		Estación D
SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]
95	71.33	94.31	-	-	83.07

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

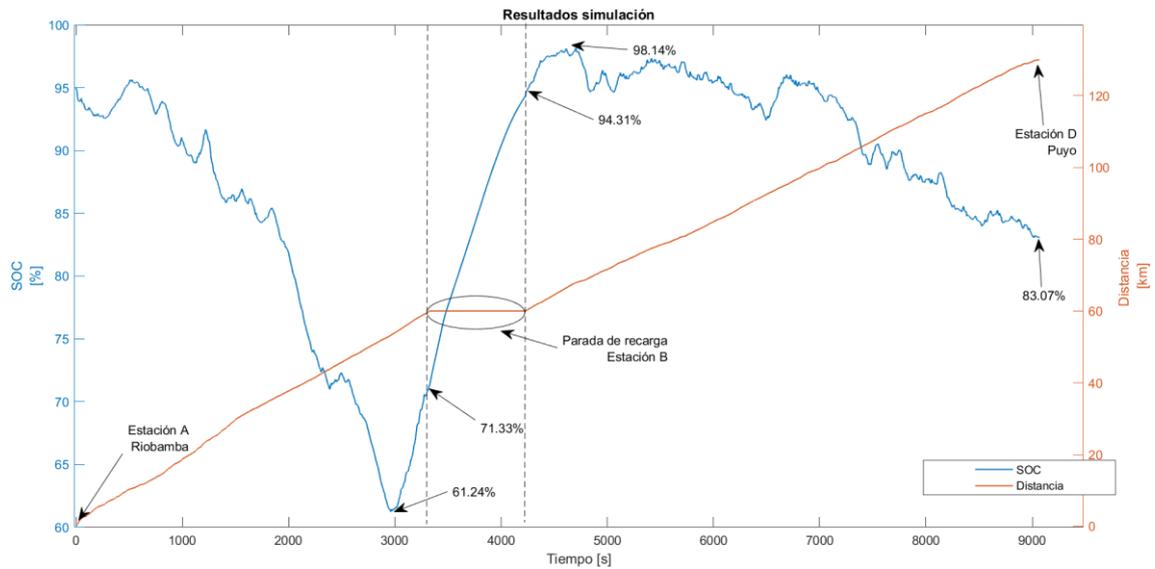


Ilustración 4-2: Resultados de la simulación del escenario 1. Ruta 1 ida

Fuente: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

En cuanto al viaje de regreso Puyo-Riobamba se inicia igualmente con un SOC del 95%, un MDFC de 40 km, y el %SOC mínimo durante el trayecto es del 37.19%, en vista que el viaje de regreso representa el un perfil de ascenso y por lo tanto tiene un mayor consumo energético de las baterías, se establece un tiempo de recarga para cada una de las estaciones de 20 minutos. En la tabla 4-3 se presenta el %SOC que se tendría al llegar a cada estación.

Tabla 4-3: SOC de batería escenario 1 trayecto de regreso

Resultados Ida Puyo-Riobamba					
Estación D	Estación E		Estación F		Estación A
SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]
95	54.94	93.91	39.59	87.65	53.23

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

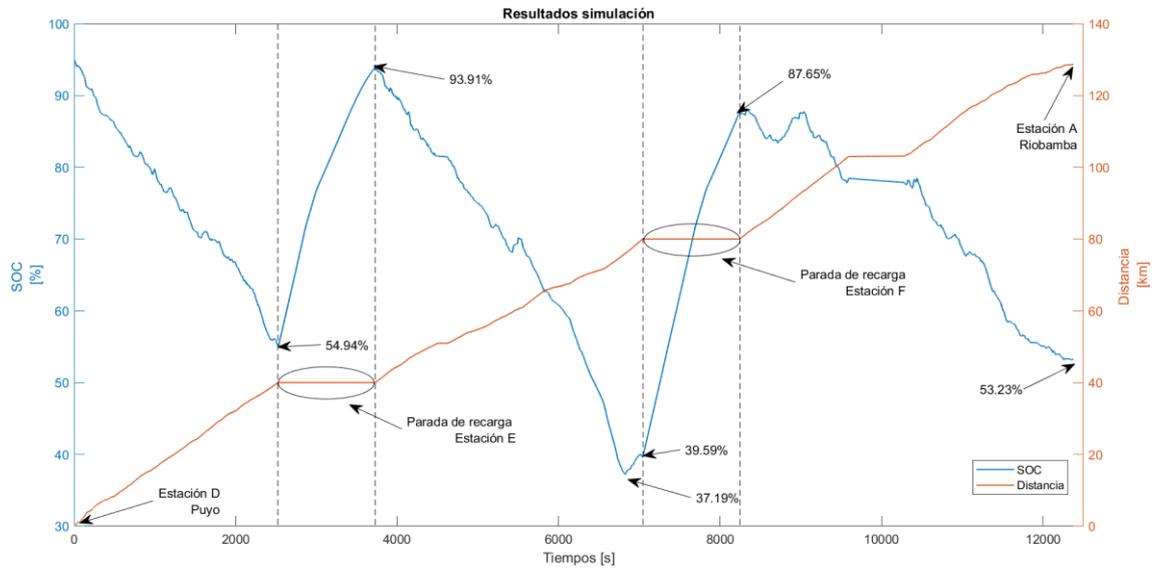


Ilustración 4-3: Resultados de la simulación del escenario 1. Ruta 1 regreso

Fuente: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

4.2.2.2. Escenario 2

Según lo descrito en el capítulo anterior se realiza la simulación del segundo escenario el cual pretende simular lo que sucedería cuando el vehículo parta desde la ciudad de origen con un nivel de carga de batería del 65%. El tiempo de recarga en cada estación es nuevamente de 15 minutos, teniendo así en el trayecto de ida un % SOC mínimo de 31.24, el %SOC de llegada a la estación de carga rápida y a la estación en la ciudad de destino final se presenta en la tabla 4-4 presentada.

Tabla 4-4: SOC de batería escenario 2 trayecto de ida

Resultados Ida Riobamba-Puyo					
Estación A	Estación B		Estación C		Estación D
SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]
65	41.33	80.71	-	-	69.47

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

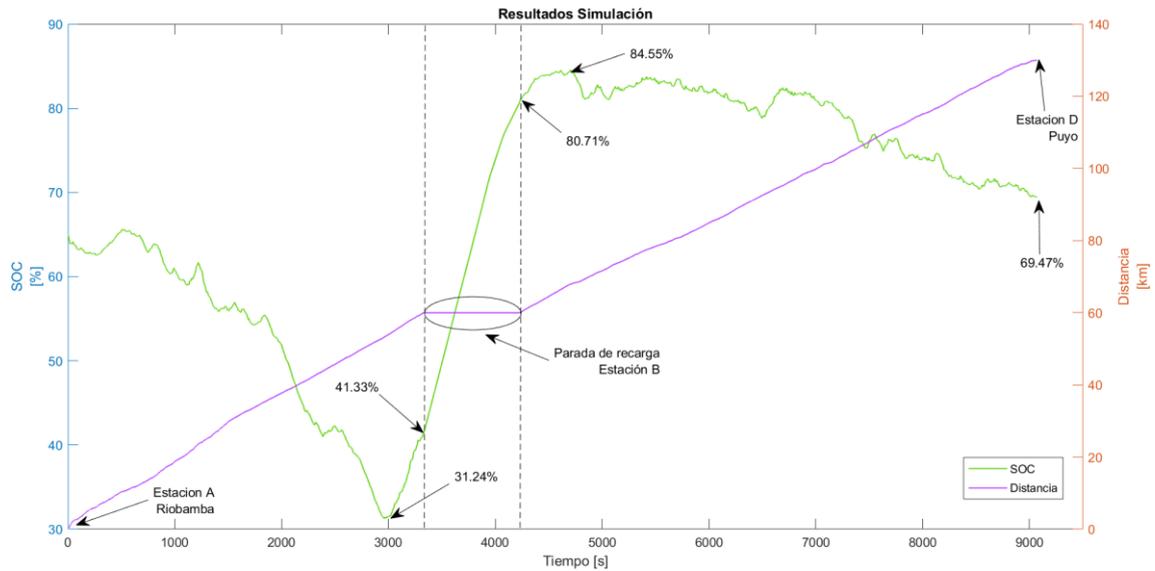


Ilustración 4-4: Resultados de la simulación del escenario 2. Ruta 1 Ida

Fuente: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

Para este escenario usando el perfil de altitud y consumo de energía obtenido durante el viaje de regreso Puyo-Riobamba se inicia igualmente con un *SOC* del 65%, MDFC de 40 km, el %*SOC* mínimo obtenido durante el trayecto es del 22.86%, el tiempo de recarga para las estaciones es de 20 minutos. En la tabla 4-5 se presentan los %*SOC* que se tendría al llegar a cada estación.

Tabla 4-5: SOC de batería escenario 2 trayecto de regreso

Resultados Regreso Puyo-Riobamba					
Estación D	Estación E		Estación F		Estación A
SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]
65	24.94	79.58	25.25	79.75	45.34

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

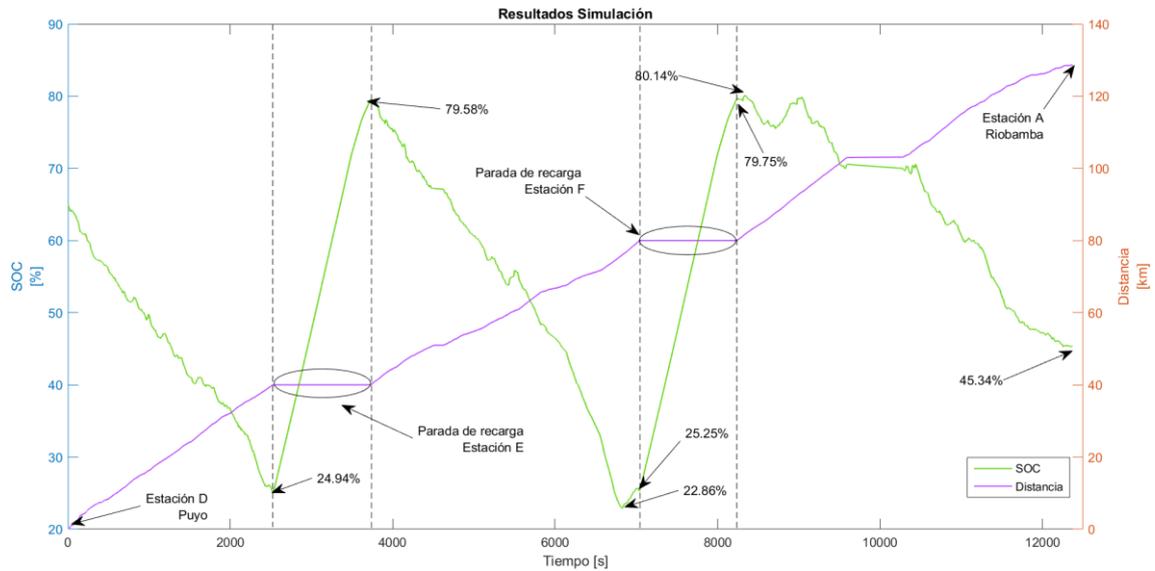


Ilustración 4-5: Resultados de la simulación del escenario 2. Ruta 1 Regreso

Fuente: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

4.2.2.3. Escenario 3

Los resultados del posible escenario 3 se presentan a continuación en la tabla 4-6 el cual presenta un inicio con carga completa, pero sin hacer uso de las estaciones de carga rápida en la vía. Obteniendo así un %SOC mínimo de 60.06%, coincidiendo así con el SOC al final del trayecto.

Tabla 4-6: SOC de batería escenario 3 trayecto de ida

Resultados Ida Riobamba-Puyo			
Estación A	Estación B	Estación C	Estación D
SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Llegada [%]	SOC Llegada [%]
95	-	-	60.06

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

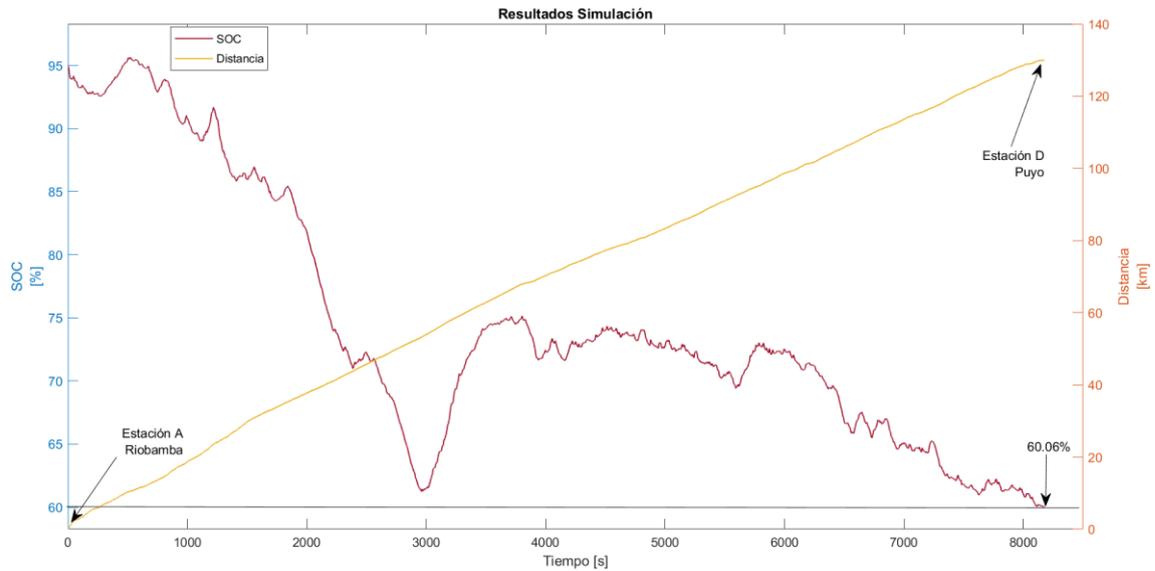


Ilustración 4-6: Resultados de la simulación del escenario 3. Ruta 1 Ida

Fuente: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

En cuanto al trayecto de regreso se plantea el mismo escenario, durante este trayecto se tiene un %SOC mínimo de 0% cuando llega al km 74, lo cual demuestra la incapacidad que tendrá el vehículo para realizar el trayecto Puyo-Riobamba sin el uso de estaciones de carga y en la tabla 4-7 se plasman estos valores.

Tabla 4-7: SOC de batería escenario 3 trayecto de regreso

Resultados Regreso Puyo-Riobamba			
Estación D	Estación E	Estación F	Estación A
SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Llegada [%]	SOC Llegada [%]
95	-	-	0%

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

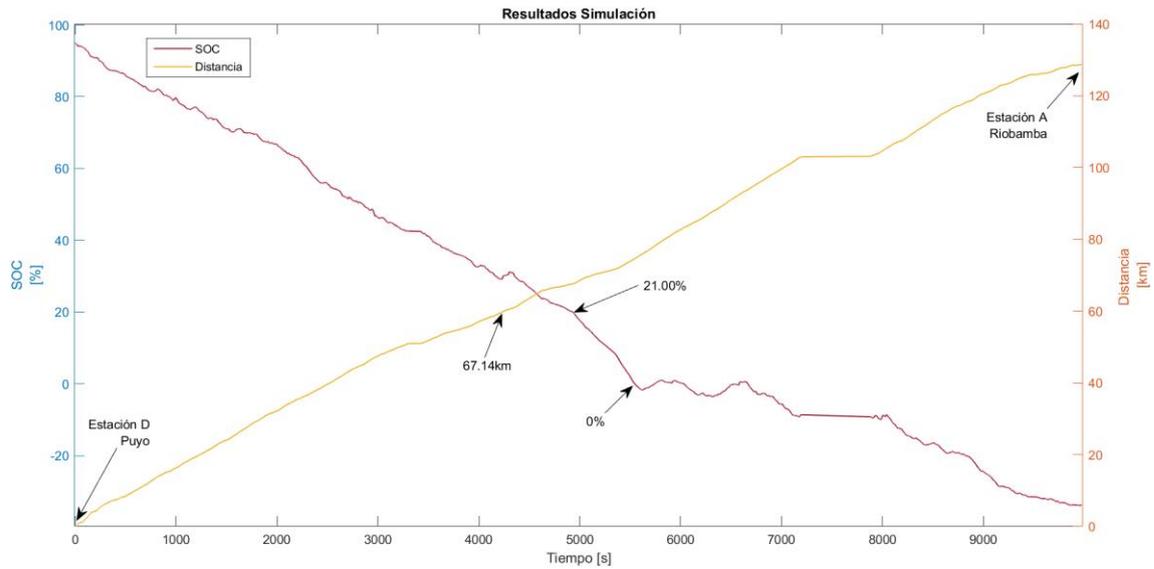


Ilustración 4-7: Resultados de la simulación del escenario 3. Ruta 1 Regreso

Fuente: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

4.2.3. Resultados Ruta 2

Según lo indicado en los resultados de la Ruta 1, se considera las mismas condiciones planteadas para el desarrollo del análisis de la Ruta 2. A pesar de la obtención del BHCI, se realiza el reajuste en la simulación para lograr resultados óptimos, es decir, se requiere que el vehículo tenga las mínimas cargas durante el trayecto para evitar el deterioro prematuro de la batería.

4.2.3.1. Resultados del Escenario 1

En las tablas 4-8 y 4-9 se exponen los resultados que se adquirieron en la simulación del primer escenario detallado en el capítulo 3, en este caso se obtiene que la operación del vehículo eléctrico a la llegada de la estación B es de aproximadamente del 63.32% de SOC, un valor dentro de los límites establecidos de operación de la batería. La ilustración 4-8 muestra el comportamiento que tiene el SOC en función a la distancia y el tiempo recorrido, en ella, se puede apreciar que el SOC de llegada al punto de destino es de alrededor del 70.71%.

Tabla 4-8: Resultados de la simulación del escenario 1. Riobamba-Puyo

Estación A	Estación B		Estación C	Estación D
SOC Salida	SOC Llegada	SOC Salida	SOC Llegada	SOC Llegada
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]

95	63.32	90.13	-	70.71
----	-------	-------	---	-------

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

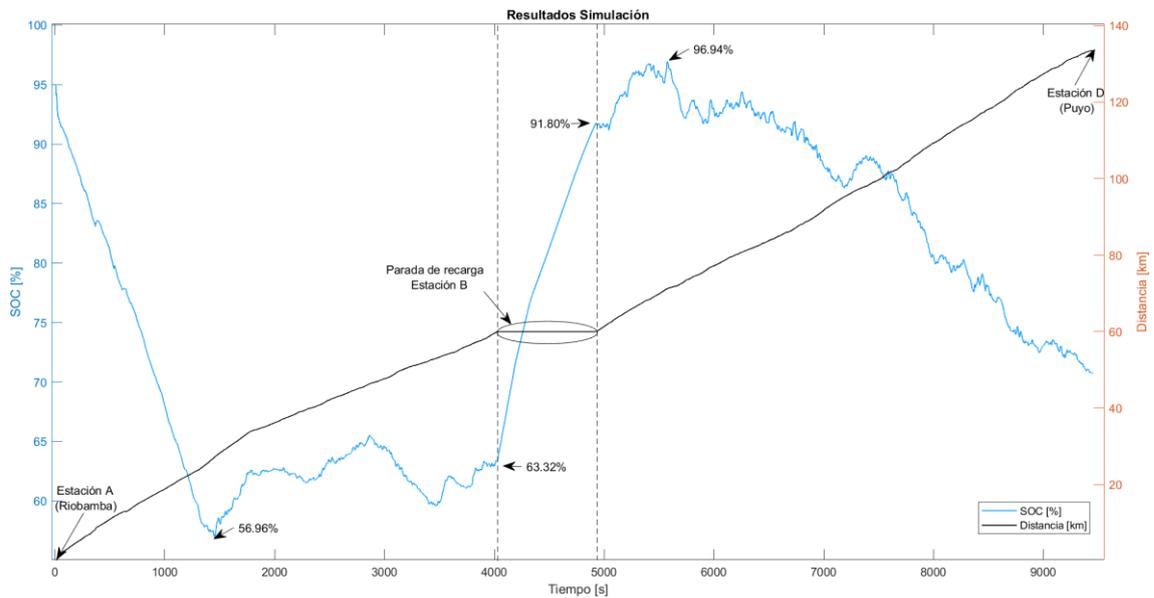


Ilustración 4-8: Resultados de la simulación del escenario 1. Ruta 2 ida

Fuente: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

Para el recorrido de regreso se realiza el mismo análisis, no obstante, por las pendientes que existe durante el viaje es necesario la intervención de dos estaciones de carga y a distintas distancias que el de ida. La tabla 4-9 indica los SOC de llegada a las estaciones de carga:

Tabla 4-9: Resultados de la simulación del escenario. Puyo-Riobamba

Estación D	Estación E		Estación F		Estación A
SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]
95	53.95	93.63	38.44	87.02	45.73

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

Tal como lo muestra la ilustración 4-9; el SOC siempre sobre pasa el 20%, cabe recalcar que el comportamiento del estado de carga es en base al recorrido realizado.

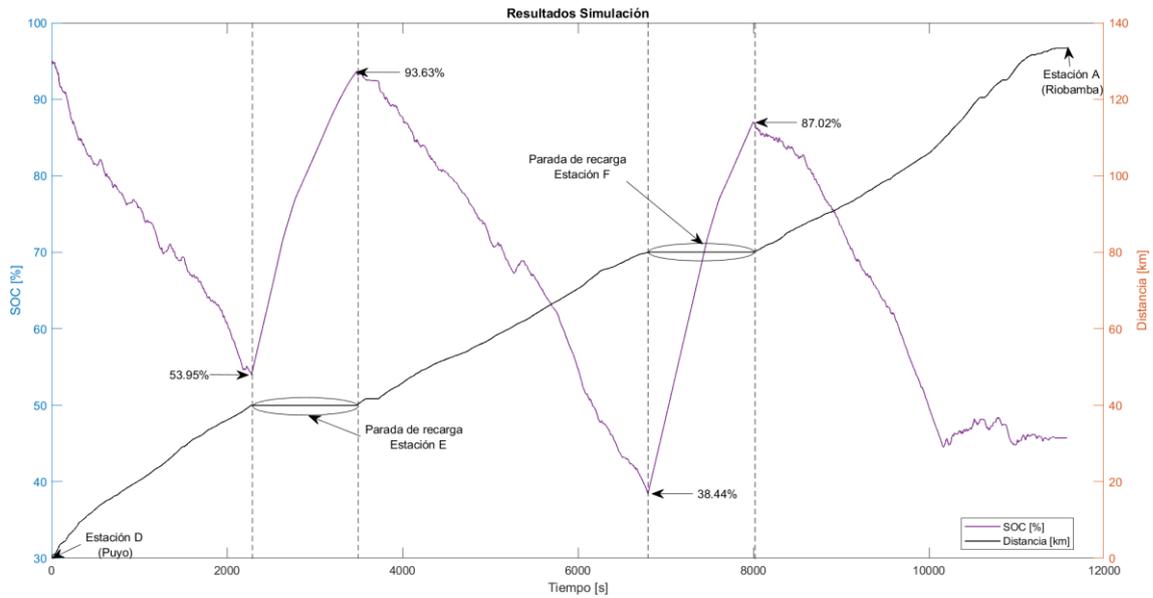


Ilustración 4-9: Resultados de la simulación del escenario 1. Ruta 2 Regreso

Fuente: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

Con respecto al SOC final tanto de ida como de regreso, se aprecia que el BHCI específicamente en la ruta de regreso permite al Kia Soul EV llegar a su destino con un SOC mayor al 20%, además de tener un SOC mínimo del 38.44%. Otro aspecto importante es que en la infraestructura de carga está restringida para que no sobrepase el porcentaje del 95% de carga, además de tener un tiempo considerable de 20 minutos para la carga, permitiendo realizar un viaje seguro.

4.2.3.2. Resultados del Escenario 2

En lo que se refiere al segundo escenario, en la tabla 4-10 y la 4-11 se exponen los valores que dieron en la simulación siendo que el SOC final en el trayecto de ida es de 55.19% y para el regreso se tiene 37.67%. El SOC con el que llega a cada estación está por arriba del 23.84%. Al observar las ilustraciones 4-10 y 4-11, se aprecia que para el viaje de regreso opera sobre el límite cercano al 20% en las dos estaciones intermedias, cabe recalcar que los valores se encuentran dentro del rango recomendado

Tabla 4-10: Valores obtenidos en la simulación del escenario 2. Riobamba-Puyo

Estación A	Estación B		Estación C	Estación D
SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Llegada [%]
65	33.32	76.25	-	55.19

Realizado por: Jiménez. B y Ocampo. D, 2023

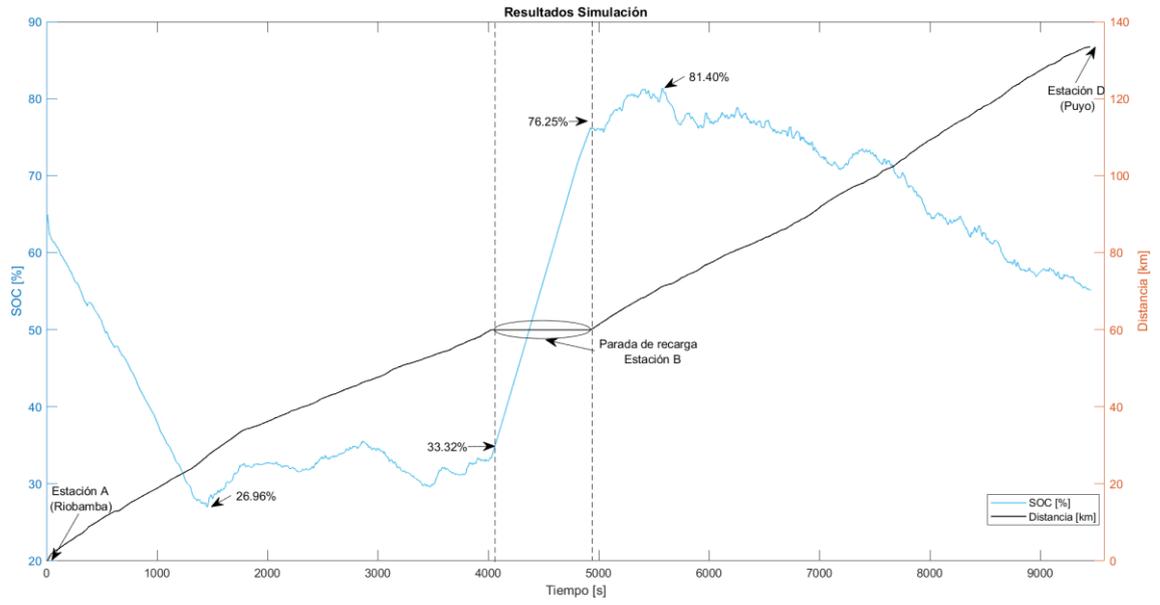


Ilustración 4-10: Resultados de la simulación del escenario 2. Ruta 2 ida

Fuente: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

Tabla 4-11: Valores obtenidos en la simulación del escenario 2. Puyo-Riobamba

Estación D	Estación E		Estación F		Estación A
SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]
65	23.95	79.03	23.84	78.97	37.67

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

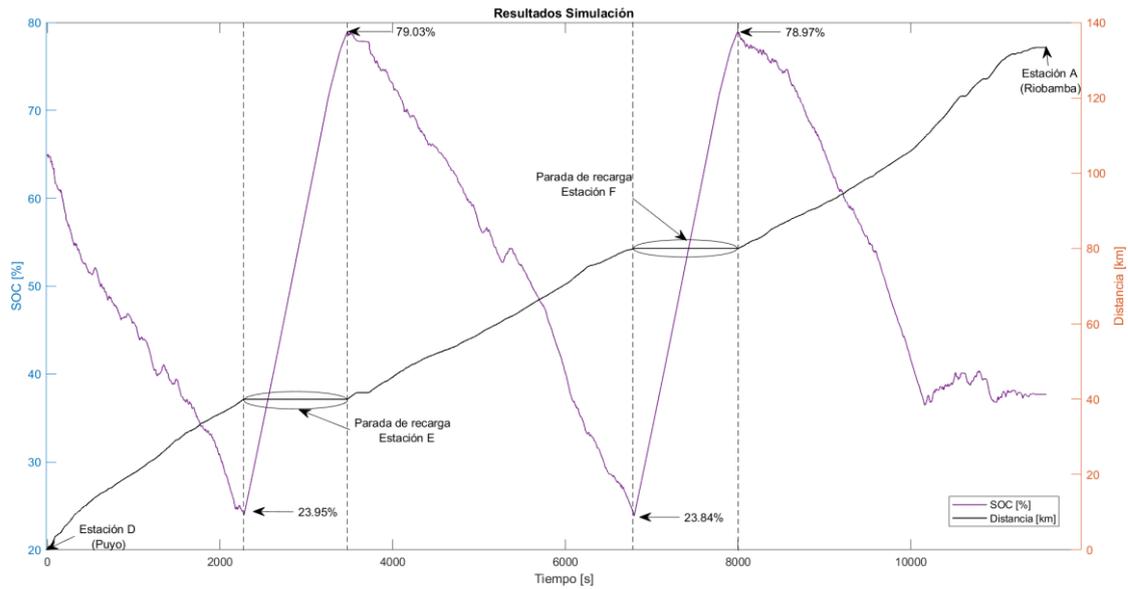


Ilustración 4-11: Resultados de la simulación del escenario 2. Ruta 2 Regreso

Fuente: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

4.2.3.3. Resultados del Escenario 3.

Finalmente, para este último escenario se realiza la simulación sin estaciones de carga, esto con la finalidad de comprobar si el vehículo puede realizar el recorrido de ida y regreso sin la necesidad de realizar las cargas. Verificando de esta manera la autonomía que tiene el vehículo respecto a la ruta de estudio. Siendo así en la tabla 4-12 se muestra el valor de SOC de salida y de llegada que tiene en el recorrido Riobamba-Puyo respectivamente:

Tabla 4-12: Resultados de la simulación del escenario 3. Riobamba-Puyo

Estación A	Estación B	Estación C	Estación D
SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Llegada [%]	SOC Llegada [%]
95	-	-	42.21

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

En la ilustración 4-12 se observa que, a pesar de no existir estaciones de carga, puede llegar a su destino, esto es debido al uso del freno regenerativo que tiene el vehículo. El freno regenerativo en términos generales aprovecha toda la energía cinética que tiene el vehículo en el momento de la desaceleración (debido a la pendiente decreciente que tiene en la mayoría del trayecto) para recargar la batería, sin desperdiciar energía en forma de calor en el sistema de frenado. (Monroy et al., 2020)

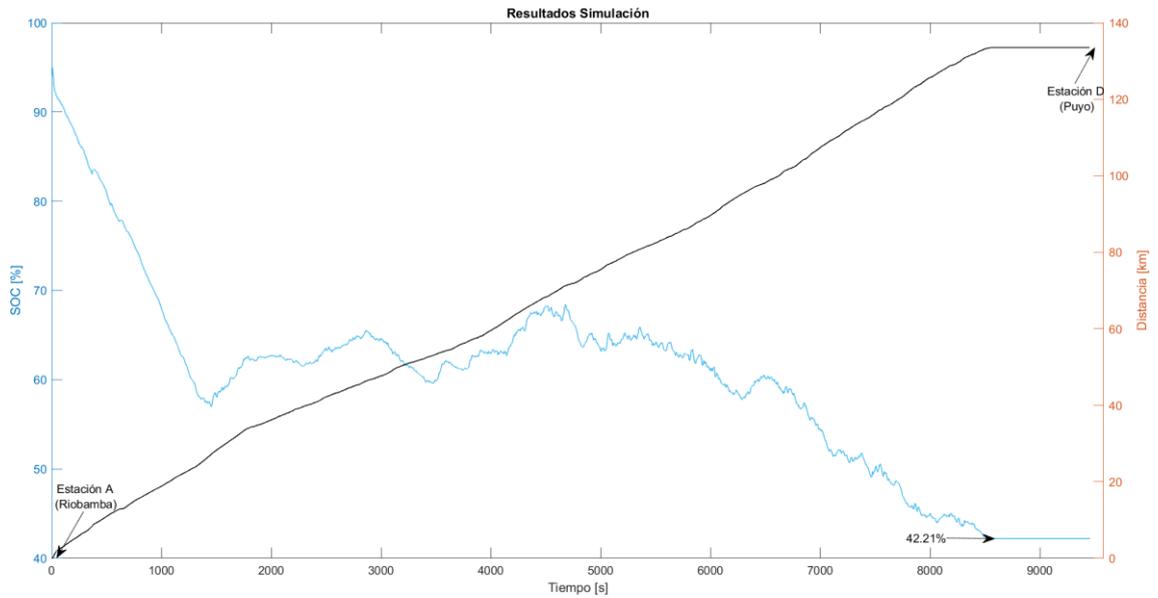


Ilustración 4-12: Resultados de la simulación del escenario 3. Ruta 2 Ida

Fuente: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

Además, se realizó el análisis para el regreso, aunque en este caso obviamente el vehículo no llega a su destino, sin embargo, esta resalta la importancia de la implementación de estaciones de carga al menos en la ruta de regreso, es decir, Puyo Riobamba. En la ilustración 4-13 se muestra que después de recorrer 67.72 km el vehículo se encuentra inhabilitado para seguir con su recorrido

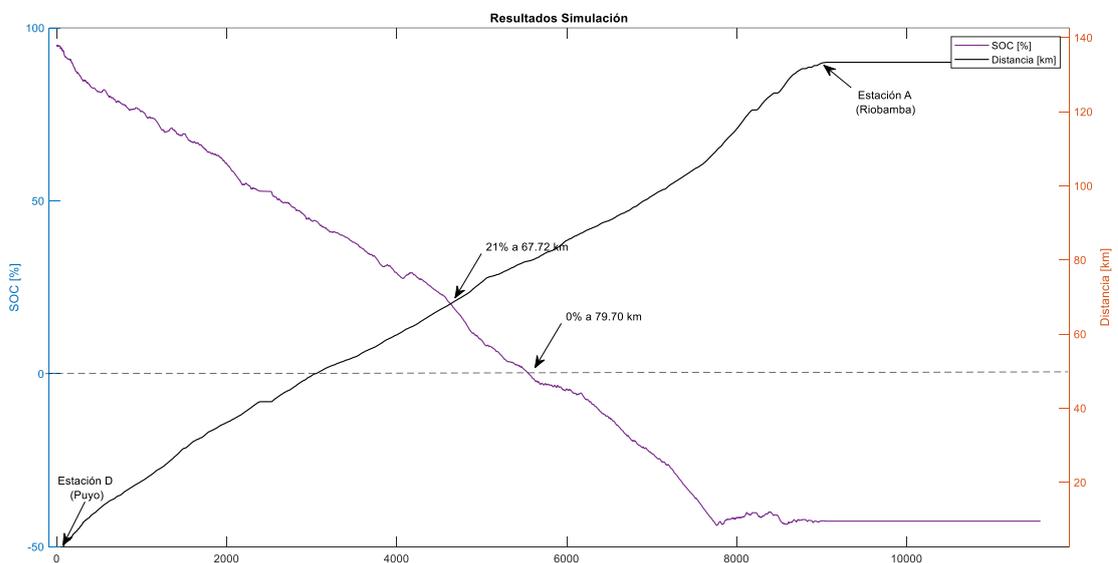


Ilustración 4-13: Resultados de la simulación del escenario 3. Ruta 2 Regreso

Fuente: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

Para corroborar los resultados obtenidos durante la simulación de los ciclos de conducción con el

modelo de consumo energético planteado inicialmente, se realiza la siguiente tabla 4-13 en la cual mediante el análisis de la demanda energética de las rutas y junto con las eficiencias del vehículo por cada trayecto se determinó que la ruta 1 es aquella que representa menor demanda energética y por lo tanto es la más eficiente para que un vehículo eléctrico pueda cubrir dichos trayectos.

Tabla 4-13: Comparación de la demanda y eficiencia energética de las rutas

Ruta 1: Riobamba-Penipe-Puyo			
Trayecto	Tiempo total [s]	Demanda Energética Ruta [KWh]	Eficiencia Energética del V.E [Wh/km]
Riobamba - Puyo	8879	9.43	72.56
Puyo - Riobamba	10389	34.79	270.26
Ruta 2: Riobamba-Pelileo-Puyo			
Trayecto	Tiempo total [s]	Demanda Energética Ruta [KWh]	Eficiencia Energética del V.E [Wh/km]
Riobamba - Puyo	8690	14.25	106.78
Puyo - Riobamba	9477	37.16	278.70

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

4.3. Ubicaciones definitivas de las estaciones de carga

4.3.1. Ubicaciones de las estaciones de carga para la ruta 1

Una vez analizado los resultados y realizado los reajustes de MDFC para las estaciones de carga en base a la demanda y consumo energético del vehículo para la ruta 1, se estableció que para el trayecto de ida de Riobamba-Puyo se debe implementar 1 estación de carga y para el trayecto de regreso, es decir, Puyo-Riobamba se deberán implementar dos estaciones de carga, a continuación, en la ilustración 4-14 se muestran las ubicaciones necesarias.

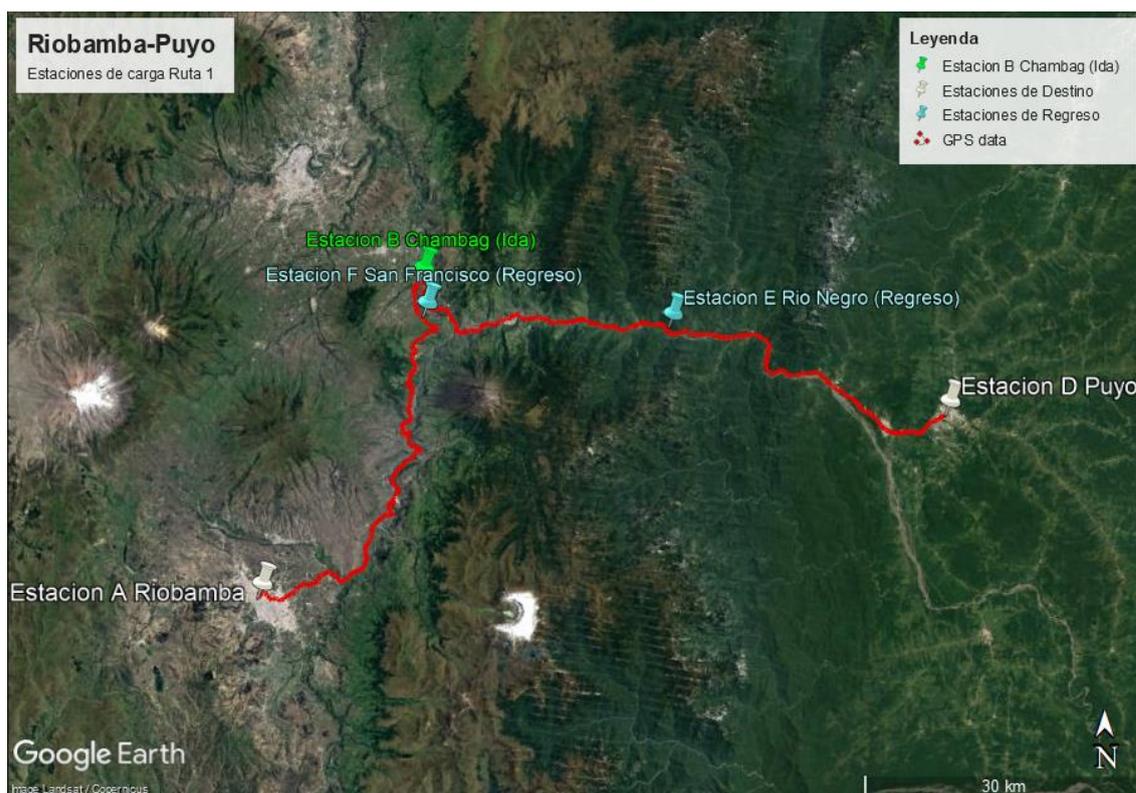


Ilustración 4-14: Ubicaciones definitivas de las estaciones de carga ruta 1

Fuente: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

En la tabla 4-14, se detallan las coordenadas geográficas de las ubicaciones para las estaciones de carga rápida, tanto para el trayecto de ida como para el trayecto de regreso.

Tabla 4-14: Ubicaciones definitivas de las estaciones de carga ruta 1

N° de estación	Denominación	Localización	
		Latitud (DMS)	Longitud (DMS)
A	Estación Riobamba	1°39'42.84"S	78°39'46.69"O
D	Estación Puyo	1°29'25.44"S	78° 0'21.00"O
B	Estación Chambag (ida)	1°21'40.79"S	78°30'31.28"O
E	Estación Rio Negro (Regreso)	1°24'20.27"S	78°16'20.53" O
F	Estación San Francisco (Regreso)	1°23'41.78"S	78°30'20.66"O

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

4.3.2. Ubicaciones de las estaciones de carga para la ruta 2

Al igual que la ruta 1, se realiza un análisis de los resultados y se establece un reajuste del MDFC,

estableciendo una infraestructura de carga para el trayecto Riobamba-Puyo a 60 km del punto de partida y para el recorrido Puyo-Riobamba se implementan dos infraestructuras de carga cada 40 km desde el inicio del viaje, en la ilustración 4-15 se especifica las ubicaciones que tendrán las estaciones de carga en mencionada Ruta.

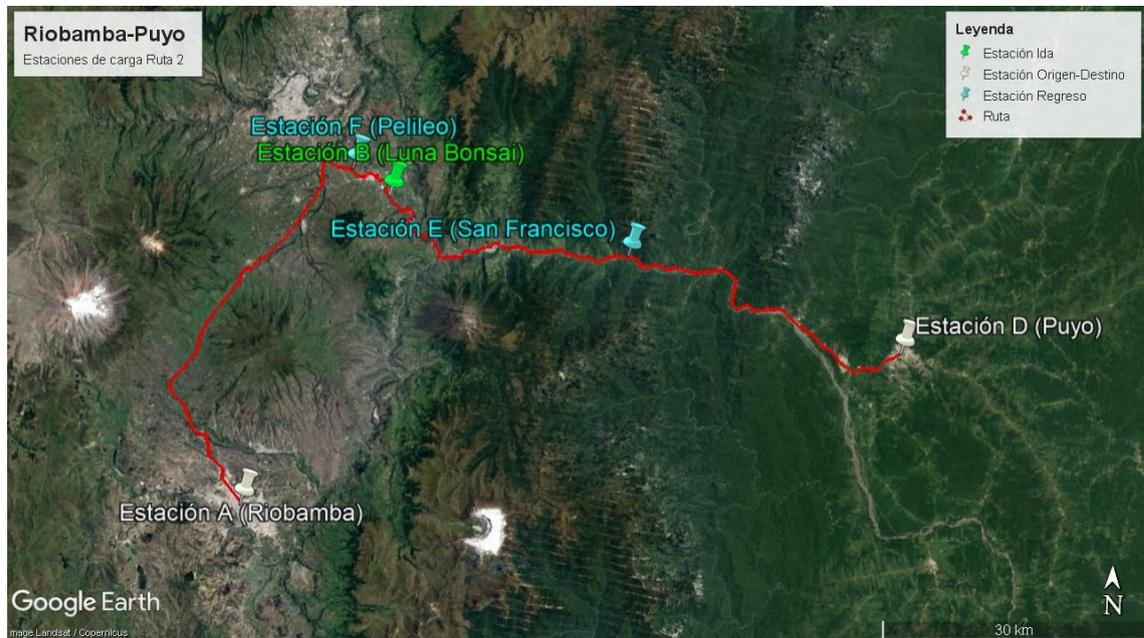


Ilustración 4-15: Ubicaciones definitivas de las estaciones de carga ruta 2

Fuente: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

Se detalla las coordenadas geográficas de las ubicaciones de las infraestructuras de carga tanto de ida como de regreso en la tabla 4-15

Tabla 4-15: Ubicaciones definitivas de las estaciones de carga ruta 2

Estación	Denominación	Localización	
		Latitud (DMS)	Longitud (DMS)
A	Estación Riobamba	1°39'41.76"S	78°39'47.45"O
B	Estación Luna Bonsai (Ida)	1°20'53.63"S	78°31'31.76"O
D	Estación Puyo	1°29'25.22"S	78° 0'21.20"O
E	Estación San Francisco (Regreso)	1°24'5.87"S	78°17'8.38"O
F	Estación Pelileo (Regreso)	1°19'25.03"S	78°33'46.01"O

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

4.4. Comprobación de la Hipótesis

Para la validación del presente trabajo de investigación se efectúa la comprobación de la hipótesis planteada inicialmente, para ello se considera los resultados presentados en el capítulo 4, los cuales a través de las simulaciones de escenarios permiten determinar si el vehículo es capaz de cumplir con los trayectos planteados, entonces, se presentan las hipótesis que se pretenden validar.

H_0 = La ubicación de las estaciones de carga rápida en la ruta Riobamba – Puyo no permiten que un vehículo eléctrico (V.E) pueda realizar un viaje de ida y vuelta tomando en cuenta los parámetros de autonomía y eficiencia.

H_1 = La ubicación de las estaciones de carga rápida en la ruta Riobamba – Puyo permiten que un vehículo eléctrico (V.E) pueda realizar un viaje de ida y vuelta tomando en cuenta los parámetros de autonomía y eficiencia.

Los parámetros de validación de hipótesis son; principalmente que el porcentaje de SOC de la batería deberá ser siempre superior al 20% en los ciclos, incluyendo las recargas en las estaciones, después se analiza si el vehículo será capaz de completar su viaje por la ruta seleccionada. Estas condiciones deberán ser analizadas para el ciclo de conducción más representativo de la ruta que represente la menor demanda energética, tanto para el trayecto Riobamba-Puyo, como Puyo-Riobamba.

Tomando en cuenta las condiciones anteriores y las hipótesis planteadas se procede a formular las expresiones matemáticas:

$$H_0 = SOC \leq 20\% \quad \text{No se puede completar el trayecto}$$

$$H_1 = SOC > 20\% \quad \text{Se puede completar el trayecto}$$

El método que se utiliza es la prueba T de una muestra a través del programa Minitab, la cual permite determinar si la media de una población es significativamente diferente de los valores conocidos o planeados en una hipótesis, tomando en cuenta los niveles de confianza entre los valores. (Silvente y Rubio, 2011, p.87), en la prueba T se analiza el parámetro “p” en comparación con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, siendo este valor el más utilizado, cabe recalcar que al

comparar el p-valor (p), con el nivel de significancia (α), decimos que si el valor “p” es menor o igual a α , la decisión es rechazar la hipótesis nula. (Minitab.LLC, 2023)

Siendo la ruta 1 la cual representa el menor consumo energético para un vehículo eléctrico y siendo el ciclo de conducción más representativo para el trayecto de ida el registro 10 tomado de la tabla 3-13 y para el trayecto de regreso el registro 3 obtenido de la tabla 3-14. Se analiza el escenario 1 de 95% de nivel de carga para la aceptación o rechazo de las hipótesis planteadas anteriormente.

Escenario 1: Trayecto Riobamba-Puyo

Una vez realizado la prueba T de una muestra en el software usando los valores de la tabla 4-16, se obtiene el p-valor de 0.001, según lo mostrado en la ilustración 4-16, el cual a su vez deberá ser comparado con el nivel de significancia de 0.05.

$$p_{valor} < \alpha \rightarrow \text{Se rechaza } H_0$$

$$0.001 < 0.05 \rightarrow \text{Se rechaza } H_0$$

Prueba	
Hipótesis nula	$H_0: \mu = 20$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 20$
<u>Valor T</u>	<u>Valor p</u>
11.81	0.001

Ilustración 4-16: Resultados de la prueba estadística para el

Escenario 1: Trayecto Riobamba-Puyo

Fuente: (Minitab, 2023)

Comprobando que las ubicaciones de las estaciones de cargas son las ideales para que un vehículo eléctrico pueda cumplir su trayecto, según lo analizado en la tabla resumen 4-16.

Tabla 4-16: Resumen de SOC de llegada y salida de las Estaciones

Resumen de SOC de llegada y salida de las Estaciones				
Estación A	Estación B		Estación D	Cumple con el trayecto
SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SI
95	71.33	94.31	83.07	

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

Escenario 1: Trayecto Puyo-Riobamba

De manera similar, se realiza el análisis para el recorrido Puyo-Riobamba, usando los valores de la tabla resumen 4-17 y para finalmente obtener así el p-valor mostrado en la ilustración 4-17:

$$p_{valor} < \alpha \rightarrow \text{Se rechaza } H_0$$

$$0.002 < 0.05 \rightarrow \text{Se rechaza } H_0$$

Prueba	
Hipótesis nula	$H_0: \mu = 20$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 20$
<u>Valor T</u>	<u>Valor p</u>
5.13	0.002

Ilustración 4-17: Resultados de la prueba estadística para el

Escenario 1: Trayecto Puyo-Riobamba

Fuente: (Minitab, 2023)

Para este caso se obtiene un p-valor de 0.002 el cual es menor al valor significativo α de 0.05, rechazando así la hipótesis nula, en la tabla 4-17 se presenta los valores de SOC y la afirmación de que el vehículo completa el viaje satisfactoriamente.

Tabla 4-17: Resumen de SOC de llegada y salida de las Estaciones

Resumen de SOC de llegada y salida de las Estaciones						
Estación D	Estación E		Estación F		Estación A	Cumple con el trayecto
SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SOC Salida [%]	SOC Llegada [%]	SI
95	54.94	93.91	39.59	87.65	53.23	

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

5. MARCO PROPOSITIVO

5.1. Propuesta de características técnicas de la infraestructura de carga

Para este apartado se considera que las estaciones de carga rápida satisfacen las necesidades de los usuarios al realizar los trayectos analizados, pero de una forma netamente investigativa, en caso de que se necesitare la implementación de la infraestructura de carga rápida en las vías interurbanas, será necesario ajustar los parámetros de carga a las características de los vehículos eléctricos homologados que existe en el país, y al ser un estudio para carga rápida, todas las estaciones de carga deberán contar con puntos de carga de corriente directa. Seguidamente, se mencionan las características técnicas que deberán cumplir las estaciones de carga.

El tipo de carga que se plantea integrar a los vehículos eléctricos es el nivel 3 y modo 4 de carga, esto según lo especificado anteriormente, sin embargo, existen ciertas normativas que se deben cumplir para implementar estos modos, siendo así una de ellas la norma EN 61851 la cual establece los requisitos generales que debe tener un sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos, o también se tiene que cumplir con la norma IEEE 2030.1.1-2021 la cual marca un estándar para especificaciones técnicas de una estación de carga rápida.(IEEE, 2015)

Dentro de la comisión internacional electrotécnica (IEC) se destaca la norma IEC 61851-23:2014 la cual establece otros requisitos para las estaciones de carga rápida y la conexión conductiva al vehículo. De igual manera para los conectores entre el vehículo y la EVSE se tienen que cumplir normas internacionales como la ICE 62196-1:2022 de la cual se obtiene el conector CCS o Combo

y establece que el funcionamiento de los cables o accesorios no exceda una tensión nominal de 1500V en CC y a una corriente nominal no superior a los 800 [A].

Las normas ICE 61851-23 y ICE 61851-24 se aplican para la comunicación digital entre una estación de carga de corriente continua y un vehículo eléctrico, realizando así el control de carga en DC de entrada de hasta 1500V. En cuanto al conjunto total de la estación de carga se plantea un rendimiento superior al 90% y brindando una salida de corriente de entre 50-500 V, la intensidad de corriente esperada está en el rango de 0-125 amperios y finalmente el factor de potencia de carga superior al 0.95 operando en la potencia nominal. En la tabla (5-1) y (5-2) se resumen cuáles deberían ser las especificaciones técnicas recomendadas para poder implementar las estaciones de carga rápida en la ruta.

Tabla 5-1: Características técnicas de la estación de carga rápida

Conjunto EVSE			
Comunicación	Potencia	Voltaje	Conector
CAN OBD2 Active ISO 11898-2	Mayor a 50 [KW]	400-1000 [V] en [DC]	CCS-1 CHAdeMO J1772

Fuente: (IEC, 2022)

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

En cuanto a la infraestructura civil para los puntos de carga se recomienda que deben existir en las cercanías transformadores de corriente y equipos de subestación, así también manteniendo las normas de seguridad y señalización para la estación. El cableado debe cumplir con las características 33/11 KV, los cuales son específicamente usados para estaciones y subestaciones eléctricas. El área de cada punto de carga debe estar debidamente dimensionada para el ingreso y salida de vehículos, lugares de aparcamiento y fuera de las zonas de riesgo en caso de accidentes o deslizamientos de tierra.

Tabla 5-2: Requerimientos civiles mínimos para la estación de carga rápida

Infraestructura Civil			
Transformador	Cableado	Área requerida	Longitud de cableado
480 [V]	33/11 KV	12-15 [m ³] por cada estación	140000 m

Fuente: (González-Salas et al. 2021)

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

Además, es indispensable tener en cuenta un costo estimado para la implementación de la infraestructura de carga de ser el caso, se sugiere explorar la viabilidad de integrar fuentes de energía renovable, sin embargo, en la siguiente tabla 5-3 se detalla una estimación de costos basadas en información por proveedores nacionales que disponen de los equipos necesarios.

Tabla 5-3: Costos de instalación de estaciones de carga rápida

Ítem	Costo (USD)
Equipo de carga para VE	25000
Instalación por punto de carga	3500
Subestación para 50 kW	5000
Conexión de línea de alimentación	7500
Concesión	1500
Obra civil	914.93
Total	43414.93

Fuente: (Gnann et al.,2018)

Realizado por: Jimenez. B & Ocampo. D, 2023

Cabe recalcar que los costos pueden variar según la ubicación y las condiciones que se presenten. Además, para obtener una estimación más precisa de los costos para la implementación de dicha infraestructura, se recomienda consultar a empresas y/o expertos especializados en instalación de estaciones de carga para vehículos eléctricos.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Mediante revisión bibliográfica de diferentes trabajos de investigación referentes a la ubicación de estaciones de carga rápida se pudo determinar que los parámetros necesarios de localización fueron: las coordenadas geométricas, altitud, velocidad, características técnicas de los vehículos, distancia total del trayecto y tiempo empleado.

Los datos de las rutas que conectan Riobamba-Puyo-Riobamba se recolectaron mediante el uso de la aplicación MATLAB, usando su función de posicionamiento en tiempo real, los datos

obtenidos se procesaron mediante un modelo matemático que determinó el ciclo de conducción representativo del total de viajes realizados por las dos rutas seleccionadas.

Se determinó que la ruta más eficiente que puede recorrer un V.E durante el trayecto Riobamba-Puyo-Riobamba, es la denominada Ruta 1 la cual transita por Penipe, tiene una demanda energética de 15.25 kWh en el trayecto de ida y 24.68 kWh en el trayecto de regreso, en cambio, la Ruta 2 que se recorre por Pelileo, tiene unos valores de 20.16 kWh para Riobamba-Puyo y 26.76 kWh para el trayecto Puyo-Riobamba; determinado así que la ruta 1 es la más eficiente.

Se estableció que para la Ruta 1 se instalaría una estación de carga a 60 km desde el punto de partida (Riobamba) que se encuentra localizado en el sector de Chambag, para el regreso se propuso 2 estaciones de carga en cada 40 km desde el origen del camino, una estación ubicada en Río Negro y la otra en San Francisco. Mientras que para la ruta 2 se toma las mismas consideraciones, es decir, para el trayecto de ida tras 60 km desde el inicio situada en “Luna Bonsai” y dos para el regreso ubicadas a 40 km entre ellas, teniendo como localizaciones en San Francisco y Pelileo.

6.2. Recomendaciones

Realizar estudios posteriores en otras vías interurbanas o interprovinciales del país, con la finalidad de crear un mapa precedente de estaciones de carga rápida a nivel nacional, permitiendo promover a la electromovilidad.

A futuro se podría realizar una investigación sobre la comparativa del consumo energético que podría tener un vehículo de motor de combustión interna frente a un vehículo eléctrico en el presente caso de estudio Riobamba-Puyo,

Contemplar la posibilidad de realizar las pruebas en vehículos eléctricos reales, ya que actualmente solo se realiza el análisis de resultados mediante simulación, y de esta forma, determinar de manera empírica que tan factible es el uso de vehículos eléctricos en esta vía interurbana.

Revisar y comparar entre distintos métodos, dispositivos y programas que permitan realizar la recolección de datos antes de realizar los ciclos de conducción para cada ruta, en vista que determinados programas o equipos pueden brindar datos más precisos de localización o pueden

ser menos propensos a pérdidas de señal al transitar por lugares de bajas coberturas.

Generar un plan logístico para realizar la toma de datos en los ciclos de conducción, tal que permita administrar de manera óptima los recursos tecnológicos, económicos y evitar pérdidas de tiempo durante el proceso, permitiendo así realizar la mayor cantidad de pruebas.

Una vez que ya se han generado las ubicaciones de estaciones de carga recomendamos que se utilicen otras estrategias de estaciones de carga, pero esta vez implementando ya como tal una estación de carga rápida, utilizando estrategias como por ejemplo la captura de flujo eléctrico en dónde se busca instalar estaciones de carga en lugares tales como gasolineras, las cuales pueden estar en las cercanías de las ubicaciones propuestas.

GLOSARIO

Bus CAN: Controller Area Network o conocido como la red de buses de datos de control conforma un eje a través del cual se estableces as comunicaciones electrónicas de un vehículo. (RENTING FINDERS, 2020)

Ciclo de conducción: Los ciclos de conducción son curvas de velocidad vs tiempo, que describen los parámetros típicos de manejo de una determinada ciudad o región. (Cordero y Davalos, 2017)

Conectores: Los conectores para los VE sirven para que el vehículo como la infraestructura de recarga tengan una comunicación, pudiendo controlar la potencia para realizar la recarga y el porcentaje de carga de la batería. (RACE, 2022)

Control piloto: Sirve para asegurar la seguridad eléctrica y la transmisión de datos directa entre el vehículo eléctrico y la red de alimentación usando un sistema específico para dichos datos. (PUYALTO, 2021)

Electrolisis: Proceso químico por medio del cual una sustancia o un cuerpo inmersos en una disolución se descomponen por la acción de una corriente eléctrica continua. (OXFORD LANGUAGES, 2020)

EVSE: Equipo de suministro de vehículos eléctricos o más comúnmente conocida como estación de carga para vehículos eléctricos. (BARRERO S, 2022)

Homologados: Certificación que valida la fabricación de un vehículo de manera particular, privada o de distribuidores para su puesta en circulación. (HELLO A, 2023)

Puerto de proximidad: El puerto de proximidad o control de proximidad evita el movimiento del vehículo mientras está conectado el cargador. (ELECTRICOS C, 2013)

SOC: El estado de carga o State of Charge, representa una medida relativa de la cantidad de energía almacenada en una batería. (MATHWORKS, 2023)

BIBLIOGRAFIA

1. **ACEA.** “Fuel types of new cars: battery electric 12.1%, hybrid 22.6% and petrol 36.4% market share full-year 2022”. *ACEA - European Automobile Manufacturers' Association* [en línea], 2023. [consultado el 15 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.acea.auto/fuel-pc/fuel-types-of-new-cars-battery-electric-12-1-hybrid-22-6-and-petrol-36-4-market-share-full-year-2022/>
2. **AEADE.** Anuario AEADE 2021. AEADE [en línea]. Marzo, 2022, Ecuador. [consultado el 17 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2022/03/Anuario-Aeade-2021.pdf>
3. **AGUILAR, R., ET AL.** *La Estadística como una Herramienta en la Metodología Científica* [en línea]. S.l.: La Caracola Editores; Índice Científico Editorial, 2022. [consulta: 2 junio 2023]. ISBN 9789942409805. Disponible en: <http://cimogsys.esepoch.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-01-18-130629-L2022-005.pdf>.
4. **ASAMBLEA NACIONAL.** República del Ecuador, Ley Orgánica de Eficiencia Energética. 2019, [En línea]. Disponible en: [Ley-Eficiencia-Energética.pdf \(recursosyenergia.gob.ec\)](http://recursosyenergia.gob.ec/Ley-Eficiencia-Energética.pdf)
5. **ARCONEL.** PLIEGO TARIFARIO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA
6. **BARRERO, Sebastian.** Que Es EVSE | PDF. Scribd [en línea]. 14 de marzo de 2022 [consultado el 1 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/presentation/461629091/Que-es-EVSE>
7. **BARROS, Henry.** Análisis y Diseño de la instalación eléctrica de una electrolinera en la ciudad de Cuenca. [En línea] (Tesis de grado) (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca. 2018. [consulta: 2023-05-02]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16376/1/UPS-CT007975.pdf>

8. **BASCO, Barabara.** Coches híbridos: ¿Qué son y de qué tipos existen? - ALD Noticias. *ALD Noticias* [en línea]. 9 de marzo de 2020 [consultado el 25 de abril de 2023]. Disponible en: <https://noticias-renting.aldautomotive.es/coches-hibridos-tipos/>
9. **BERNALDO, Inés.** *Ventajas e inconvenientes del vehículo eléctrico comparación con el coche de combustión.* En: <https://repositorio.comillas.edu> [base de datos en línea]. 11531. Universidad Pontificia de Comillas, 2018 [consultado el 8 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/18630/TFG-%20Bernaldo%20de%20QuirA%20Aparicio,%20InA@s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
10. **BUENAÑO, Luis and TORRES, Hugo,** 2023. Location of the Interurban Fast Charging Infrastructure for Electric Vehicles Using the Methodology for Calculating the Maximum Distance between Fast Charges (MDFC) and Simulation: A Case Study in Ecuador. *World Electric Vehicle Journal* [online]. Vol. 1, p. 25. Retrieved from: <https://www.mdpi.com/2032-6653/14/5/129>
11. **CAJAMARCA ZAMBRANO, Johann. & RINCÓN GUERRERO, Juan.** Metodología para la ubicación de estaciones de carga de EVs, mediante análisis de estabilidad estacionaria. [En línea] (Trabajo de grado) (Ingeniería) Universidad de La Salle. Bogotá. 2022. [Consulta: 2023-05-03]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/638
12. **Comité de Comercio Exterior (COMEX),** «Resolución No. 016-2019». 2019, [En línea]. Disponible en: <http://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/RESOLUCIO%CC%81N-COMEX-016-2019.pdf>.
13. **CSONKA, Balint & CSABA, Ciszár.** Determination of charging infrastructure location for electric vehicles. *ScienceDirect* [en línea]. 2018, **3**, 8 [consultado el 29 de mayo de 2023].

Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517310128?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=7d023d164d956d9e

14. **CORDERO, Daniel & Danilo DAVALOS.** Dspace de la Universidad del Azuay: Obtención de un ciclo típico de conducción para los vehículos de la unión de taxistas del Azuay. Dspace de la Universidad del Azuay: Página de inicio [en línea]. 12 de junio de 2017 [consultado el 1 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7274>
15. **DÁVALOS FIGUEROA, Danilo Santiago.** *Obtención de un ciclo típico de conducción para los vehículos.* En: Dspace de la Universidad del Azuay [base de datos en línea]. Tesis de posgrado, Universidad del Azuay, 2017 [consultado el 1 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7274/1/13217.pdf>
16. **DÍEZ GONZÁLEZ, P., 2019.** *PRINCIPIOS BÁSICOS DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO* [en línea]. Valladolid: Universidad de Valladolid. [consulta: 17 mayo 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/222807924.pdf>.
17. **ELÉCTRICA.** <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec> [en línea]. 2 de marzo de 2021 [consultado el 12 de mayo de 2023]. Disponible en: https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2021/06/Resolucion_003-21_pliego_tarifario_spee.pdf#:~:text=ARCONEL-035/19%20de%2023%20de%20diciembre%20de%202019,%20aprobó,Directorio%20de%20la%20Ex%20ARCONEL,%20aprobó:%20%20%20Artículo%201.-
18. **ELÉCTRICOS, Coches.** SAE J1772. *Recarga Coches Electricos* [en línea]. 5 de marzo de 2013 [consultado el 1 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://www.recargacocheselectricos.com/sae-j1772-2/>
19. **Faen.es.** *Recarga del Vehículo Eléctrico.* [en línea], [sin fecha]. [consulta: 17 mayo 2023]. Disponible en: https://www.faen.es/batterie/Recarga_vehiculo_electrico.pdf.

20. **FASTNED.** Kia. *Fastned FAQ* [en línea]. 12 de marzo de 2023 [consultado el 20 de junio de 2023]. Disponible en: <https://support.fastned.nl/hc/en-gb/articles/4408899202193-Kia>
21. **FIORI, Chiara, AHN, Kyoungho and RAKHA, Hesham A.,** 2016. Power-based electric vehicle energy consumption model: Model development and validation. *Applied Energy*. Vol. 168, pp. 257–268. DOI 10.1016/j.apenergy.2016.01.097.
22. **FLORES HERNÁNDEZ, A.S.,** 2022. Tipos de cargadores en autos híbridos enchufables y eléctricos. [en línea]. S.l.: [consulta: 22 mayo 2023]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/794569/ficha_tecnica_cargadores.pdf.
23. **FRIAS, Pablo. ROMAN, Jaime.** Vehículo eléctrico: situación actual y perspectivas futuras. Researchgate [En línea]. 2019 (España) pp.1-11. [consulta: 28 abril 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/337293264_Vehiculo_electrico_situacion_actual_y_perspectivas_futuras
24. **GNANN, T., FUNKE, S., JAKOBSSON, N., PLÖTZ, P., Sprei, F., & BENNEHAG, A.** (2018). Fast charging infrastructure for electric vehicles: Today's situation and future needs. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 314–329. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.03.004>
25. **GOMEZ PEÑA, Julio Roberto.** Impacto de las estaciones de carga para vehículo eléctrico en la ciudad de Cuenca-Ecuador. Maskana [En línea], 2017 (Ecuador) volumen (8), pp. 1-8. [Consulta: 03 abril 2023]. ISSN 239–246. Disponible en: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1983/1415>
26. **GONZÁLEZ-SALAS, Alberto et al.,** 2021. Transport Electrification: Regulatory Guidelines for the Development of Charging Infrastructure. *Transport Electrification: Regulatory Guidelines for the Development of Charging Infrastructure*. Vol. 1, p. 110.

DOI 10.18235/0003383.

27. **GPS.GOV**, 2022. GPS accuracy. *Gps.gov* [en línea]. [consulta: 21 junio 2023]. Disponible en: <https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>.
28. **HELLO A**. Hello Auto. *Hello Auto* [en línea]. 12 de febrero de 2023 [consultado el 1 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://helloauto.com/glosario/homologacion#:~:text=Es%20el%20caso%20de%20la,acoger%20tambi%C3%A9n%20fabricantes%20y%20distribuidores.>
29. **IEC**, 2022. Enchufes, tomas de corriente, conectores y entradas de vehículos - Carga conductiva de vehículos eléctricos. *Comision electrotecnica internacional* [online]. Vol. 4. Retrieved from : <https://webstore.iec.ch/publication/59922>
30. **IEEE**, 2015. IEEE Standard for Technical Specifications of a DC Quick and Bidirectional Charger for Use with Electric Vehicles. *2030.1.1-2021*. 18 February 2015.
31. **JARAMILLO, Jonathan & UCHUARI, Alex**. Análisis de la ubicación de electrolineras en la ciudad de Loja. [En línea] (Tesis de grado) (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana. Loja. 2021. [Consulta: 2023-05-02]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20346/1/UPS-CT009154.pdf>
32. **KIA**. ¿Cuál es la autonomía de un coche eléctrico? | Kia Go Electric. *Startseite | Kia Deutschland GmbH* [en línea]. 2 de noviembre de 2018 [consultado el 16 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.kia.com/es/todo-sobre-kia/experiencias/kia/tecnologia/electrificacion/autonomia-coches-electricos/>
33. **LONDOÑO, Andrés Arias y Mauricio GRANADA-ECHEVERRI**. Optimal placement of freight electric vehicles charging stations and their impact on the power distribution network. *International Journal of Industrial Engineering Computations* [en línea]. 2019, 535–556 [consultado el 08 de agosto de 2023]. ISSN 1923-2934. Disponible

en: doi:10.5267/j.ijiec.2019.3.002

34. **LUGENERGY**, 2020. Modos de recarga Coches Eléctricos. *Lugenergy / Soluciones para la recarga coches eléctricos* [en línea]. [consulta: 22 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.lugenergy.com/modos-de-recarga-vehiculos-electricos/>.
35. **LUGENERGY**, 2023 ¿Qué es un Vehículo Eléctrico? | Características y Modelos. *Lugenergy / Soluciones para la recarga coches eléctricos* [en línea]. [consultado el 26 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.lugenergy.com/que-es-vehiculo-electrico/>
36. **MACÍAS, Nelson**. Diseño de prototipo de carga para vehículos eléctricos basado en sistemas fotovoltaicos híbridos. [En línea] (Tesis de grado) (Ingeniería) Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 2022. [Consulta: 2023-05-03]. Disponible en: [Diseño de prototipo de carga para vehículos eléctricos basado en sistemas fotovoltaicos híbridos. - 10596/47678 \(unad.edu.co\)](https://repositorio.unad.edu.co/handle/document/10596/47678)
37. **MALDONADO LÓPEZ, Pascual y Ramiro Willy PERALTA URÍA**. Análisis energético de un vehículo eléctrico liviano en bolivia. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* [en línea]. 2022, **6**(5), 685–713 [consultado el 29 de abril de 2023]. ISSN 2707-2215. Disponible en: doi:10.37811/cl_rcm.v6i5.3120
38. **MARTÍN, Jesús**. Cómo funciona un coche de pila de combustible de hidrógeno. *Motorpasion - Coches y actualidad del motor. Vehículos, marcas y modelos* [en línea]. 27 de febrero de 2020 [consultado el 15 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/revision/como-funciona-coche-pila-combustible-hidrogeno>
39. **MATHWORKS**. Battery State of Charge. *MathWorks - Creadores de MATLAB y Simulink - MATLAB y Simulink - MATLAB & Simulink* [en línea]. 2 de octubre de 2022[consultado el 1 de octubre de 2023]. Disponible

en: [https://la.mathworks.com/solutions/electrification/battery-state-of-charge.html#:~:text=El%20estado%20de%20carga%20\(SOC,tiempo%20y%20la%20capacidad%20total.](https://la.mathworks.com/solutions/electrification/battery-state-of-charge.html#:~:text=El%20estado%20de%20carga%20(SOC,tiempo%20y%20la%20capacidad%20total.)

40. **MICROSOFT.** Previsión mensual de Banos, Tungurahua | MSN El Tiempo. *MSN* [en línea]. [sin fecha] [consultado el 17 de agosto de 2023]. Disponible en: https://www.msn.com/es-es/eltiempo/pronosticomensual/in-Banos,Tungurahua?loc=eyJzIjoiQmFub3MiLCJyIjoiVHVuZ3VyYWwh1YSIsInIyIjoiQmHDsW9zIiwieYyI6IkJvjdWFkb3IiLCJpIjoiRUMiLCJ0IjoxMDIsImciOiJlcy1lcyIsIngiOiItNzguNDIINSIsInkiOiItMS40MjUxIn0=&weadegreetype=C&ocid=ansm_snewsweather&cvid=25d2da337fd242d8dec6fb4081d79f22
41. **Minitab,LLC.** (2023). Interpretar todos los estadísticos para 1 proporción - Minitab. Support | Minitab. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/1-proportion/interpret-the-results/all-statistics/>
42. **MONROY, Cristian y SIACHOQUE Cristian.** Estudio Comparativo de un Sistema de Freno Regenerativo y Regeneración con Energía Cinética Constante en Vehículos Eléctricos de Batería. *Scielo* [en línea]. 2021, **25**(3), 305 [consultado el 16 de junio de 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/inge/v25n3/0121-750X-inge-25-03-305.pdf>
43. **MONROY LAVERDE, Cristian Camilo et al.** Estudio comparativo de un sistema de freno regenerativo y regeneración con energía cinética constante en vehículos eléctricos de batería. *Ingeniería* [en línea]. 2020, **25**(3), 305–322 [consultado el 01 de agosto de 2023]. ISSN 2344-8393. Disponible en: doi:10.14483/23448393.16220
44. **MONTORO, Javier.** Así es el funcionamiento de un coche híbrido enchufable. *carwow.es* [en línea]. 19 de mayo de 2021 [consultado el 22 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.carwow.es/blog/funcionamiento-coche-hibrido-enchufable>

45. **NARVAEZ ENRIQUEZ, María Fernanda.** Ubicación de estaciones de recarga de vehículos eléctricos en sistemas de distribución usando una técnica heurística [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Universidad tecnológica de Pereira, Pereira. 2019. [Consulta: 2023-04-19]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/5158a697-52db-40c2-9a54-3d69f16202ce/content>.
46. **OTERO, Patricia. MERA, Luis. & CALLE, Emilio.** 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” [en línea], 2021 (Ecuador) volumen (17), ISSN 2602-8492. DOI 10.37116/revistaenergia.v17.n2.2021.434. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.37116/revistaenergia.v17.n2.2021.434>.
47. **OXFORD LANGUAGES.** Bevor Sie zur Google Suche weitergehen. *Google* [en línea]. 18 de febrero de 2020 [consultado el 30 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.google.com/search?client=opera&q=Concepto+de+electrolisis&sourceid=opera&ie=UTF-8&oe=UTF-8#ip=1>
48. **PALACIO RODRIGUEZ, Carlos.** Marco de referencia para la implementación de tecnología de redes inteligentes y mapa de inversión. Caso práctico: Empresa de Alumbrado de Ceuta. [En línea] (Tesis Doctoral) (Doctorado) Universidad Pontificia de Comillas. Ceuta. 2015. [Consulta: 2023-05-02]. Disponible en: [Microsoft Word - Tesis completa_CDP_acs r9 final a imprimir \(uned.es\)](#)
49. **PARDO, Diana.** Estudio de las estaciones de carga para vehículo eléctrico particular para aplicaciones hogar, trabajo, parqueaderos en carga lenta y rápida. [En línea] (Tesis de grado) (Ingeniería) UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Quito. 2021. [Consulta: 2023-05-03]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/14969/u615541.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- 50. PAUTE TORRES, Jorge & SEMPETEGUI MOSCOSO, María.** Desarrollo de una metodología para la ubicación de estaciones de carga de vehículos eléctricos, caso de estudio: ruta Cuenca–Guayaquil [En línea] (Tesis de Pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca. 2020. [Consulta: 2023-04-02]. Disponible en: [Repositorio Institucional Universidad de Cuenca: Desarrollo de una metodología para la ubicación de estaciones de carga de vehículos eléctricos, caso de estudio: ruta Cuenca–Guayaquil \(ucuenca.edu.ec\)](https://repositorio.institucional.udc.edu.ec/handle/documento/1122)
- 51. PUMASHUNTA PUMASHUNTA, Jose Alberto.** Propuesta de implementación de una estación de carga para baterías eléctricas vehiculares [En línea] (Trabajo de Pregrado). (Tecnólogo) Universidad de las fuerzas armadas ESPE, Latacunga. 2021. [Consulta 2023-04-12]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/31126/1/M-ESPEL-MAT-0149.pdf>
- 52. PUYALTO, David.** Recarga de Vehículo Eléctrico. *MME* [en línea]. 22 de septiembre de 2021 [consultado el 1 de octubre de 2023]. Disponible en: [https://www.mme-eic.com/post/recarga-de-vehiculo-elctrico#:~:text=La%20funci3n%20Control%20Piloto%20sirve,y%20la%20transmisi3n%20de%20datos.&text=En%20este%20modo%20la%20conexi3n,Alimentaci3n%20Espec3fico%20de%20Veh3culo%20Elctrico\).](https://www.mme-eic.com/post/recarga-de-vehiculo-elctrico#:~:text=La%20funci3n%20Control%20Piloto%20sirve,y%20la%20transmisi3n%20de%20datos.&text=En%20este%20modo%20la%20conexi3n,Alimentaci3n%20Espec3fico%20de%20Veh3culo%20Elctrico).)
- 53. QUIR3S TORT3S, Jairo, VICTOR GALLARDO, Luis Fernando, MARTINEZ BARBOZA, Juan, BEJARANO VILLACHICA, Ricardo, RUIZ AGUILAR, Luis, ANGULO PANIAGUA, Jam & FUENTES SOTO, Daniel.** Propuesta de ubicación de la infraestructura de recarga rápida para vehículos eléctricos en Costa Rica [En línea] (Tesis de Maestría). (Maestría) Universidad de Costa Rica. 2018 [Consulta 2023-04-03] Disponible en: <https://sepse.go.cr/documentos/Propuesta-de-ubicacion-de-L3.pdf>
- 54. RACE.** Tipos de conectores de los coches eléctricos | RACE. *RACE* [en línea]. 25 de agosto de 2022 [consultado el 1 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://www.race.es/tipos-de-conectores-para-coches-electricos#:~:text=Sirven%20para%20que%20tanto%20el,est3%20al%20100%,%20etc.>

- 55. RENTING FINDERS.** ¿Qué Es El Can Bus Del Coche? | Renting Finders. *Renting Finders* [en línea]. 2 de junio de 2020 [consultado el 1 de octubre de 2023]. Disponible en: [https://rentingfinders.com/glosario/can-bus/#:~:text=El%20Can%20Bus%20\(Controller%20Area,el%20equipamiento%20de%20los%20coches.](https://rentingfinders.com/glosario/can-bus/#:~:text=El%20Can%20Bus%20(Controller%20Area,el%20equipamiento%20de%20los%20coches.)
- 56. RESTREPO, José y TOBON, Diego.** Desarrollo de estación de carga de vehículos eléctricos. Redalyc [en línea], 2018 (Colombia) volumen (19). [consulta: 17 abril 2023]. DOI 10.21501/21454086.2532. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/6139/613964506003/html/>.
- 57. RESTREPO V, Alvaro H., Yamid A. CARRANZA S y Juan E. TIBAQUIRA G.** Diseño y aplicación de una metodología para determinar ciclos de conducción vehicular en la ciudad de Pereira. *Scientia et Technica Año XIII* [en línea]. 2007, (37), 229–234 [consultado el 1 de agosto de 2023]. ISSN 0122-1701. Disponible en: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4071/2241>
- 58. RODRIGUEZ, Hermenegildo.** Pilas de Combustible. *ingemecánica* [en línea]. 14 de febrero de 2023 [consultado el 15 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn115.html>
- 59. Rubio Hurtado, M. J., & Berlanga Silvente, V.** (2011). Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS. Caso Práctico. *REIRE*, 5(2), 87.
- 60. SANCHEZ, Carlos.** 150.000 vehículos eléctricos vendidos en Europa en 2017 - Movilidad Eléctrica. *Movilidad Eléctrica* [en línea]. 30 de enero de 2018 [consultado el 12 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://movilidadelectronica.com/150-000-vehiculos-electricos-vendidos-europa-2017/>

61. **SANCHEZ, Rider.** Implementación de una Electrolinera para Vehículos Livianos en la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador Extensión Guayaquil. [En línea] (Tesis de grado) (Ingeniería) Universidad Internacional del Ecuador. Guayaquil. 2021. [consulta: 2023-05-02]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/4689/1/T-UIDE-0183.pdf>
62. Schneider, Adam. (2003-2019). GPS Visualizer. [En línea] (2003-2019). [Citado el: 23 de 06 de 2023.] <https://www.gpsvisualizer.com/>.
63. **SHAILENDRA, Jain.** *Fundamentals of Power Electronics Controlled Electric Propulsion* [en línea]. 4^a ed. India, 2018 [consultado el 19 de abril de 2023]. Disponible en: doi:10.1016/B978-0-12-811407-0.00035-0
64. **SIMON.** El vehículo eléctrico: elementos principales y funcionamiento | SIMON. *El vehículo eléctrico: elementos principales y funcionamiento* / SIMON [en línea]. 10 de enero de 2019 [consultado el 22 de abril de 2023]. Disponible en: <https://www.simonelectric.com/blog/el-vehiculo-electrico-elementos-principales-y-funcionamiento>
65. **SMARTWALLBOXES,** 2022. Los conectores de carga EV: toda la información que necesitas saber. Smart Wallboxes [en línea]. [consulta: 17 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.smartwallboxes.com/conectores-de-carga-ev/>.
66. **Sociedad de Técnicos de Automoción,** El Vehículo Eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio. Libbooks, 2011.
67. **VARELA FOX,** Oscar Adolfo. Diseño y especificaciones técnicas para la instalación de una estación de carga rápida para vehículos eléctricos. [En línea] (Tesis de grado). (Ingeniería) Universidad de los Andes. Ecuador. 2018. [Consulta 2023-04-30]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/17214/u703687.pdf?sequence=1>

68. **VARUS**. Catálogo de vehículos eléctricos particulares en Ecuador. *VARUS* [en línea]. 16 de enero de 2021 [consultado el 8 de junio de 2023]. Disponible en: <https://varusecuador.com/vehiculos-particulares/>
69. **VÁSQUEZ BERNAL, Freddy Norberto**. Propuesta de localización de estaciones de carga rápida para vehículos eléctricos en áreas urbanas. Caso de estudio ciudad de Cuenca [en línea]. Tesis de Pregrado, Universidad del Azuay, 2019 [consultado el 2 de abril de 2023]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9621/1/15254.pdf>
70. **VÁZQUEZ CASILLAS, Rodrigo**. El vehículo eléctrico, una solución medioambiental sostenible y eficiente. [En línea] (Tesis de fin de grado) (Ingeniería) Universidad Carlos 3 de Madrid. Leganés. 2018 [Consulta: 2023-05-04]. Disponible en: [El vehículo eléctrico, una solución medioambiental sostenible y eficiente \(uc3m.es\)](http://El%20veh%C3%BAculo%20el%C3%A9ctrico,%20una%20soluci%C3%B3n%20medioambiental%20sostenible%20y%20eficiente%20(uc3m.es))
71. **VIDYANANDAN, K**. Overview of Electric and Hybrid Vehicles. *Researchgate* [En línea]. 2018. (India) [consulta: 1 mayo 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/323497072_Overview_of_Electric_and_Hybrid_Vehicles
72. **VILLA, D. y MONTOYA, A.**, 2019. MODELOS PRÁCTICOS DE ESTIMACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS. *Revista SEMILLEROS* [en línea], vol. VI, [consulta: 7 junio 2023]. ISSN 2343-6395. Disponible en: <https://revistas.fio.unam.edu.ar/index.php/semillero/article/view/288/603>.
73. **V2C, P.**, 2018. Modos y tipos de recarga en el mercado de los coches eléctricos. *V2C* [en línea]. [consulta: 22 mayo 2023]. Disponible en: <https://v2charge.com/es/modos-y-tipos-de-recarga-en-el-mercado-de-los-coches-electricos/>.
74. **WALIÑO, Pablo**. Vehículos híbridos. Pasado, presente y futuro. [En línea] (Tesis de fin de Máster). (Maestría) Escola Técnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Barcelona. 2020. [Consulta: 2023-05.02] Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/329690/tfm-wali-o-pablo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

75. WONG, J. *Theory of Ground Vehicles* [en línea]. 3. Ottawa-Canada: John Wiley & Sons, inc. 2022. [Consulta: 2023-04-04]. Disponible en: 9781119719984