

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico Automotriz*

PROYECTO TÉCNICO:

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO
KIA SOUL EN RUTAS DE INTERCONEXIÓN PROVINCIAL
MEDIANTE EL MODELADO MATEMÁTICO APLICANDO
“CORRELACIÓN DE PEARSON”, PARA LA DETERMINACIÓN DE
LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL CONSUMO DE ENERGÍA”**

AUTORES:

PIZARRO ZAMBRANO GUIDO ALBERTO

TINOCO CARRIÓN JANETH ALEXANDRA

TUTOR:

ING. ADRIÁN XAVIER SIGÜENZA REINOSO, M.SC.

CUENCA - ECUADOR

2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Guido Alberto Pizarro Zambrano con documento de identificación N° 0705347730 y Janeth Alexandra Tinoco Carrión con documento de identificación N° 0704584580 manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO KIA SOUL EN RUTAS DE INTERCONEXIÓN PROVINCIAL MEDIANTE EL MODELADO MATEMÁTICO APLICANDO “CORRELACIÓN DE PEARSON”, PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL CONSUMO DE ENERGÍA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, abril del 2019

Guido Alberto Pizarro Zambrano

C.I.: 070534773-0

Janeth Alexandra Tinoco Carrión

C.I.: 070458458-0

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO KIA SOUL EN RUTAS DE INTERCONEXIÓN PROVINCIAL MEDIANTE EL MODELADO MATEMÁTICO APLICANDO “CORRELACIÓN DE PEARSON”, PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL CONSUMO DE ENERGÍA”**, realizado por Guido Alberto Pizarro Zambrano y Janeth Alexandra Tinoco Carrión, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, abril del 2019



Ing. Adrián Xavier Sigüenza Reinoso, MSc.

C.I.: 010382736-6

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Guido Alberto Pizarro Zambrano con documento de identificación N° 0705347730 y Janeth Alexandra Tinoco Carrión con documento de identificación N° 0704584580, autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO KIA SOUL EN RUTAS DE INTERCONEXIÓN PROVINCIAL MEDIANTE EL MODELADO MATEMÁTICO APLICANDO “CORRELACIÓN DE PEARSON”, PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL CONSUMO DE ENERGÍA”** certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, abril del 2019



Guido Alberto Pizarro Zambrano
C.I.: 070534773-0



Janeth Alexandra Tinoco Carrión
C.I.: 070458458-0

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por tenerme con salud y vida, también por ayudarme a culminar una etapa más en mi vida.

A mis queridos padres, en especial a mi madre por apoyarme siempre y confiar en mí, a mi esposa por estar siempre junto conmigo a pesar de los momentos difíciles que nos tocó pasar, pero siempre hemos salido adelante y de manera especial a mi hijo Mathias por darme las fuerzas para jamás rendirme y ser uno de extraordinario regalo que Dios me ha brindado.

A mi hermana, sobrinos, cuñados y a mi suegra por brindarme ese aliento de confianza durante mi carrera universitaria y mostrarme ese camino a la superación.

Al Ing. Adrián Sigüenza por la enseñanza de las diferentes cátedras que nos supo inculcar y también por saber guiarnos en nuestro trabajo de titulación.

A profesores, compañeros de universidad, amigos y familiares por demostrarme su apoyo incondicional.

Guido Alberto Pizarro Zambrano

AGRADECIMIENTO

Agradecer primeramente a mi Dios y a la Virgen Santísima por permitirme culminar una meta más en mi vida.

A mi querida madre, por su apoyo fundamental y pilar en mi vida gracias por consejos que siempre me han ayudado ser una persona de bien, a mi esposo tu ayuda ha sido fundamental en los momentos más difíciles que nos tocó pasar lejos de nuestro hijo y a mi Mathias, mi hijo por ser la inspiración para no rendirme y llegar a obtener esta meta tan anhelada.

A mis hermanos, mis cuñados, mis sobrinos y a mi suegra por ser también parte de este largo y arduo camino.

Al Ing. Adrián Sigüenza y demás profesores de esta prestigiosa Institución por la instrucción durante mi carrera y por saber guiarnos en nuestro trabajo de titulación.

Janeth Alexandra Tinoco Carrión

DEDICATORIA

Este proyecto le dedico a mi querida Madre Rosa Edita Zambrano Ordoñez, ya que fue un pilar importante por su gran apoyo durante toda mi carrera y enseñarme a jamás darme por vencido; una frase que siempre me recalaba “Hijo estudia que este es el mejor regalo que tu madre te puede dar, algún rato yo me he de acabar y ya tienes como sacar adelante tu familia”

A mi esposa Janeth Alexandra Tinoco Carrión por siempre estar junto a mí, por lograr esta meta juntos, por ser mi compañera de aula y de titulación.

A mi hijo Mathias Elijah Pizarro Tinoco porque a su corta edad fue mi mayor inspiración para no darme por vencido, pese a que no estuviste con nosotros eres muy cariñoso y este título te lo dedico a ti hijo, eres mi inspiración y mi vida para dar cada paso.

Guido Alberto Pizarro Zambrano

DEDICATORIA

Este proyecto le dedico a toda mi familia, especialmente a mi querida Madre Rosa Elena Carrión Morales, ya que fue una base elemental en el transcurso de mi realización como profesional, brindándome su confianza y los recursos necesarios para hacerlo posible.

A mi esposo que siempre estuvo brindándome su apoyo con cariño y amor constante.

A mi querida hermana, Laura y a mi sobrina, María del Cisne quienes cuidaron la crianza de mi hijo durante el tiempo que duro mi formación, sin su apoyo no hubiese posible hacer realidad este logro en mí vida.

A mi hijo Mathias Elijah Pizarro Tinoco tu afecto es el impulso para buscar cada día ser mejor y tu cariño fortalecen las ganas para enfrentar todas las adversidades y terminar este proyecto con éxito.

Janeth Alexandra Tinoco Carrión



RESUMEN

En el siguiente proyecto técnico se analiza el comportamiento del vehículo eléctrico Kia Soul en rutas de interconexión provincial: Cuenca- Guayaquil, Cuenca-Machala, Cuenca-Cañar y Cuenca- Loja, mediante el modelo matemático aplicando correlaciones de Pearson para la determinación de las variables que intervienen de manera significativa en el gasto energético de la autonomía del vehículo eléctrico. Esto se realiza para evaluar el comportamiento del automóvil eléctrico en las diferentes rutas de interconexión antes mencionadas y analizar como las diferentes condiciones de las rutas experimentales afectan en el consumo de la autonomía, tomando en consideración: la congestión vehicular, vías rápidas y vías de interconexión.

La obtención de los datos se efectuó con el programa Emolab 2.0.1, el software es el encargado de entregarnos la base de datos de las pruebas tomadas, esta entrega el desempeño del automóvil eléctrico durante el tiempo en que se toma las muestras de las diferentes rutas de estudio, se toman en cuenta las mismas consideraciones para las pruebas como: las personas dentro del automóvil, los periféricos del automóvil, altimetría de las rutas, para que la variación de las muestras sea mínima; es decir, debe existir el mismo número de consideraciones para que las rutas no se vean alteradas.

En la obtención de datos debemos realizar transformación de las variables que nos da el software Emolab 2.0.1, es decir, en primera instancia nos entrega el Time lo transformamos a la variable de Tiempo de Recorrido, SOC Display lo transformamos a km disponibles y Odometer lo transformamos en distancia de autonomía, con las variables ya transformadas se procede a realizar el análisis y determinar el comportamiento del automóvil para las diferentes rutas de interconexión provincial.

Con la correlación de Pearson, se determina del total de las variables de la base de datos del software Emolab las variables que presentan mayor incidencia en el comportamiento del automóvil reduciendo su autonomía; siendo estas: tiempo de recorrido, porcentaje de SCO, voltaje de la batería DC, carga acumulativa de corriente, descarga acumulativa de corriente, carga acumulativa de energía, descarga acumulativa de energía y distancia de recorrido, con estas variables se genera una base de datos.

Con los datos que se adquiere de manera experimental se generan gráficas del comportamiento del consumo de autonomía con respecto a las variables significativas.



SUMMARY

The following technical project analyzes the behavior of the Kia Soul electric vehicle in provincial interconnection routes: Cuenca-Guayaquil, Cuenca-Machala, Cuenca-Cañar and Cuenca-Loja, using the mathematical model applying Pearson correlations for the determination of the variables that intervene significantly in the energy expenditure of the autonomy of the electric vehicle. This is done to evaluate the behavior of the electric car in the different interconnection routes mentioned above and analyze how the different conditions of the experimental routes affect the consumption of autonomy, taking into account: vehicular congestion, fast roads and interconnection routes.

The data was obtained with the Emolab 2.0.1 program, the software is in charge of giving us the database of the tests taken, this delivers the performance of the electric car during the time in which samples are taken from the different study routes, the same considerations are taken into account for the tests such as: the people inside the car, the peripherals of the automobile, altimetry of the routes, so that the variation of the samples is minimal; that is, there must be the same number of considerations so that the routes are not altered.

In obtaining data we must perform transformation of the variables that gives us the Emolab 2.0.1 software, that is, in the first instance it gives us the Time we transform it to the variable of Time of Travel, SOC Display we transform it to available km and Odometer we transform it into distance of autonomy, with the variables already transformed, proceeds to carry out the analysis and determine the behavior of the car for the different routes of provincial interconnection.

With the Pearson correlation, it is determined from the total variables of the Emolab software database the variables that have the greatest incidence in the behavior of the car, reducing its autonomy; these being: travel time, percentage of SOC, DC battery voltage, cumulative charge of current, cumulative discharge of current, cumulative charge of energy, cumulative discharge of energy and distance of travel, with these variables a database is generated.

With the data that is acquired experimentally, graphs of the consumption behavior of autonomy with respect to the significant variables are generated.

INDICE

Capítulo 1	14
1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL PROYECTO	14
1.1 INTRODUCCIÓN.....	14
1.2 AUTOMÓVIL ELÉCTRICO	15
1.2.1 Tipos de automóviles eléctricos	15
1.3 COMPONENTES DE LOS VE.....	16
1.3.1 Baterías de los VE.	16
1.3.2 Características básicas de las baterías.	16
1.3.3 Tipos de baterías de automóviles eléctricos	17
1.3.4 Importancia de las baterías en la definición de autonomía.....	23
1.4 VARIABLES INFLUYENTES EN LA REDUCCIÓN ACELERADA DE LAS AUTONOMÍAS.....	25
1.4.1 Modo de conducción	26
1.4.2 Velocidad del automóvil.....	26
1.4.3 Factores climáticos.	26
1.4.4 Pendiente.	26
Capítulo 2	29
2 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE SELECCIÓN PARA LAS RUTAS DE INTERCONEXIÓN PROVINCIAL DEL AUSTRO	29
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS RUTAS DE ESTUDIO.	29
2.1.1 Congestión vehicular.	30
2.1.2 Altimetría en las rutas a recorrer	30
2.1.3 Vías de conexión interprovincial. (Comercio).	30
2.1.4 Vías de mayor afluencia vehicular. (Turismo)	30
2.2 DEFINICIÓN DE RUTAS PARA LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	31
2.2.1 Ruta 1: Terminal terrestre Cuenca – Terminal terrestre Guayaquil.	31
2.2.2 Ruta 2: Terminal terrestre Cuenca – Terminal terrestre Machala	35
2.2.3 Ruta 3: Terminal Terrestre de Cuenca – Terminal Terrestre Reina del Cisne Loja 39	
2.2.4 Ruta 4: Terminal Terrestre Cuenca – Cañar	43
Capítulo 3	48
3 ESTUDIO DE LAS VARIABLES QUE INCIDEN EN LA DEFINICIÓN DEL TRABAJO DEL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO MEDIANTE ANÁLISIS EXPERIMENTAL	48

3.1	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA EMOLAB 2.0.1.....	48
3.1.1	Frecuencia de muestreo.	49
3.1.2	VARIABLES OBTENIDAS POR EL PROGRAMA EMOLAB 2.0.1.....	49
3.2	VARIABLES A CONSIDERAR EN LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES	50
3.2.1	VARIABLES DE BLOQUEO.	50
3.2.2	VARIABLES DE RUIDO.....	51
3.3	DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO MEDIANTE LOS ÍNDICES DE CORRELACIÓN DE PEARSON.	52
3.3.1	Coefficientes de correlación de Pearson.	52
3.3.2	VARIABLES DE CORRELACIÓN DE LA RUTA CUENCA-MACHALA.	53
3.3.3	VARIABLES DE CORRELACIÓN DE LA RUTA CUENCA-GUAYAQUIL.	58
3.3.4	VARIABLES DE CORRELACIÓN DE LA RUTA CUENCA-CAÑAR.	62
3.3.5	VARIABLES DE CORRELACIÓN DE LA RUTA CUENCA-LOJA.....	66
3.4	VARIABLES DE ESTUDIO.....	68
Capítulo 4.....		70
4 OBTENCIÓN DE BASE DATOS MEDIANTE PRUEBAS EXPERIMENTALES A TRAVÉS DE SOFTWARE EMOLAB.....		70
4.1	BASE DATOS	70
4.2	CARACTERIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES	72
4.3	ANÁLISIS DE REGRESIÓN.....	74
4.3.1	Análisis de residuos	76
Capítulo 5.....		78
5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA LA EVALUACIÓN DE LA AUTONOMÍA DEL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO.....		78
5.1	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES SIGNIFICATIVAS VS AUTONOMÍA.....	78
5.1.1	Análisis de efectos principales.	78
5.1.2	Análisis del comportamiento de variables.....	79
CONCLUSIONES		83
RECOMENDACIONES.		85
BIBLIOGRAFÍA		86
ANEXOS.....		88

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Tipos de automóviles eléctricos según la generación de electricidad.	16
Figura 1.2. Estado de carga monitor de energía.	25
Figura 1.3 Freno regenerativo del Kia Soul Ev.	27
Figura 1.4: Flujo de generación de energía del motor eléctrico durante el accionamiento del freno del automóvil Kia Soul Ev.	28
Figura 2.1: Ruta 1 Terminal terrestre Cuenca – Terminal terrestre Guayaquil.....	32
Figura 2.2: Elevación de la Ruta Terminal terrestre Cuenca – Terminal terrestre Guayaquil ...	35
Figura 2.3: Ruta 2 Terminal Terrestre Cuenca – Terminal Terrestre de Machala.....	36
Figura 2.4: Elevación de la ruta Cuenca –Machala.....	39
Figura 2.5: Ruta Terminal Terrestre de Cuenca – Terminal Terrestre Reina del Cisne Loja	40
Figura 2.6: Elevación de la ruta Terminal Terrestre de Cuenca – Terminal Terrestre Reina del Cisne Loja Fuente: Google Earth.	43
Figura 2.7: Ruta Terminal Terrestre Cuenca – Cañar.	44
Figura 2.8 : Elevación de la ruta Terminal Terrestre Cuenca – Cañar.....	47
Figura 3.1 Ventana del programa Emolab 2.0.1.....	49
Figura 3.2: Fuerzas de los índices de Pearson.....	53
Figura 3.3: Matriz de correlación de Pearson Cuenca-Machala.	54
Figura 3.4 Resultado correlación del tramo de la ruta Machala-Santa-Isabel.....	56
Figura 3.5: Resultado correlación del tramo de la ruta Santa-Isabel-Cuenca.	57
Figura 3.6: Resultado correlación de la ruta Cuenca-Guayaquil viaje de ida.	59
Figura 3.7: Correlación de Pearson de la ruta Cuenca-Guayaquil retorno.....	61
Figura 3.8: Correlación de Pearson de la ruta Cuenca-Cañar ida.	63
Figura 3.9: Resultado correlación de la ruta Cuenca-Cañar viaje de regreso.	65
Figura 3.10: Resultado correlación de la ruta Cuenca-Loja.....	67
Figura 4.1: Base de datos original.	71
Figura 4.2: Base de datos de variables influyentes transformada.	72
Figura 4.3: Desempeño de la autonomía en las rutas de estudio.....	73
Figura 4.4: Comportamiento de altimetría vs desempeño del automóvil	74
Figura 4.5: Resultado de regresión múltiple.	75
Figura 4.6 Residuos para la Autonomía.	76
Figura 5.1: Gráfica de efectos principales.....	78
Figura 5.2: Gráfica del comportamiento de los efectos principales.	79
Figura 5.3: Comportamiento del tiempo respecto al rendimiento del automóvil.....	80
Figura 5.4: Comportamiento del voltaje batería DC vs consumo de energía.	80
Figura 5.5: Comportamiento de la carga acumulativa de corriente.	81
Figura 5.6: Comportamiento de la descarga acumulativa de corriente.	81
Figura 5.7: Comportamiento de los km recorridos.	82

INDICE DE TABLAS.

Tabla 2-1: Ruta 1: Terminal terrestre Cuenca – Terminal terrestre Guayaquil.....	32
Tabla 2-2: Caracterización de la ruta Cuenca-Guayaquil.....	33
Tabla 2-3: Ruta 2 Terminal terrestre Cuenca – Terminal terrestre Machala.....	36
Tabla 2-4: Caracterización de la ruta Cuenca-Machala.	37
Tabla 2-5: Ruta Terminal Terrestre de Cuenca – Terminal Terrestre Reina del Cisne Loja.	40
Tabla 2-6: Caracterización de la ruta 3.....	41
Tabla 2-7: Ruta 4: Terminal Terrestre Cuenca – Cañar.	44
Tabla 3-1 Variables obtenidas del Emolab 2.0.1.....	50
Tabla 3-2: Resultado de la correlación de la ruta 1.	55
Tabla 3-3 Variables obtenidas del resultado de correlación.	58
Tabla 3-4: Variables significativas de la ruta Cuenca-Guayaquil.	60
Tabla 3-5: Variables significativas de la ruta Guayaquil-Cuenca.	62
Tabla 3-6: Variables significativas de la ruta Cuenca-Cañar.	64
Tabla 3-7: Variables significativas de la ruta Cuenca-Cañar.	66
Tabla 3-8 Variables significativas de la ruta Cuenca-Loja.....	68
Tabla 3-9 Variable más influyentes en el comportamiento de automóvil.....	69
Tabla 4-1 Resultado del ANOVA.....	75



Capítulo 1

1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL PROYECTO

El presente capítulo se refiere a los fundamentos teóricos del automóvil eléctrico, donde se describe los elementos que conforman al automóvil eléctrico y su funcionalidad. Además, se explica que es la autonomía del automóvil eléctrico y como ha ido evolucionando la tecnología de las baterías de alto voltaje con el fin de aumentar la autonomía.

1.1 INTRODUCCIÓN.

Los automóviles eléctricos no pueden ser considerados como una invención moderna, porque estos existían antes que los automóviles a diésel y gasolina. Ya en entre los años 1832 y 1839, Robert Anderson creó el primer automóvil eléctrico puro. Los vehículos eléctricos poseen menor autonomía en comparación con los automóviles que tienen motores de combustión, aunque son ideales para movilizarse por la ciudad, la autonomía de un automóvil eléctrico está directamente relacionada con las baterías las cuales son el factor principal que limita el rendimiento de este, pero como automóvil urbano tiene un buen desempeño (Peugeot, 2019).

En la actualidad en el Ecuador se están realizando cambios en la matriz energética con el fin de obtener una matriz sostenible y considerar en un futuro la utilización de los vehículos eléctricos como medio de transporte convencional.

Con el desarrollo de este proyecto se analiza el comportamiento del automóvil eléctrico Kia Soul en rutas de interconexión provincial, para definir el rendimiento de autonomía con la determinación de variables influyentes, y conseguir eliminar las causas limitantes que impiden cumplir los recorridos deseados con la implementación de puntos estratégicos de carga rápida de la batería.



1.2 AUTOMÓVIL ELÉCTRICO

El automóvil eléctrico es un medio de transporte capaz de avanzar utilizando únicamente uno o más motores eléctricos, este aprovecha la energía química que se encuentra almacenada en las baterías de alto voltaje.

“Un vehículo eléctrico es un automóvil impulsado por uno o más motores eléctricos que aprovecha la energía eléctrica almacenada en las baterías para conseguir con los motores la tracción necesaria para desplazarse” (Peugeot, 2019).

1.2.1 Tipos de automóviles eléctricos

Un automóvil eléctrico puede utilizar uno o más motores eléctricos. Los diferentes diseños de automóviles que hay de acuerdo con el suministro de energía son: los que necesitan de una estación de recarga directa, los que trabajan con energía acumulada y están los que se alimentan mediante un generador abordo como un automóvil híbrido (Valera, 2018).

La eficiencia de los automóviles eléctricos es aproximadamente 3 veces más que los de combustión interna; debido a que ellos no consumen energía cuando no tiene movimiento, a diferencia de los de combustión, que continúan funcionando incluso en situaciones de trabajo de bajas revoluciones (en ralentí). Considerando las emisiones de gases contaminantes, un automóvil eléctrico es mucho menos contaminante que los vehículos que utilizan un motor de combustión, en los países donde la generación de electricidad es mediante hidroeléctricas la eficiencia de un automóvil eléctrico es comparable con los de combustión, por el contrario en países como Estados Unidos donde la producción de electricidad proviene de combustibles fósiles (carbón y gas natural) el automóvil eléctrico no se consideraría como un medio de transporte del todo ecológico. (Valera, 2018).

En la Figura 1.1 se indican los tipos de automóviles eléctricos según la generación de electricidad.

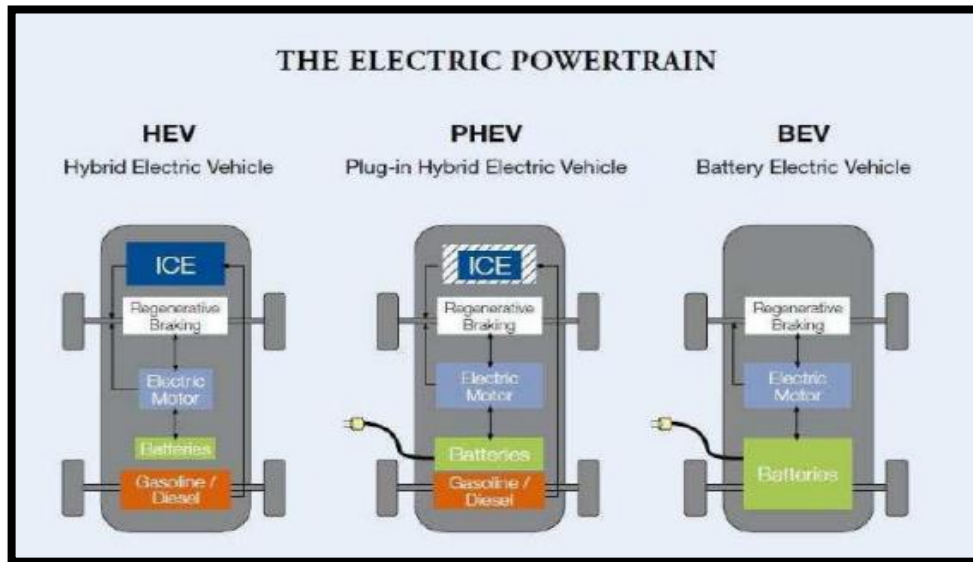


Figura 1.1: Tipos de automóviles eléctricos según la generación de electricidad.

Fuente: (ShokingSolutions)

1.3 COMPONENTES DE LOS VE

1.3.1 Baterías de los VE.

Las baterías o también denominadas pilas secundarias están conformadas por dos materiales electroquímicos que se encargan de transformar la energía química en energía eléctrica a través de un proceso químico transitorio; si la reacción es irreversible la batería es de un solo uso y si por el contrario es reversible la batería es recargable (Areny, 2006).

1.3.2 Características básicas de las baterías.

1.3.2.1 Densidad energética.

Es la energía que puede acumular una batería de acuerdo al peso de esta. Al momento de mover un automóvil eléctrico es un factor de gran importancia que interfiere en el consumo de autonomía y en las prestaciones. La densidad energética está representada en Wh/kg (Watio-hora por kilogramo) (Alguacil, 2017)

1.3.2.2 Potencia específica

Es la potencia que puede generar cada kilogramo de peso presente en la batería, esta potencia se representa en W/kg. Cada batería posee un límite de potencia que puede suministrar,



si se sobrepasa este límite la se aumentan la temperatura y las pérdidas energéticas son bástate notables.

1.3.2.3 Eficiencia energética carga-descarga

Es la relación que existe entre la energía introducida durante la carga y la que realmente proporciona. Las baterías modernas suelen poseer una eficiencia de aproximadamente el 90 %. El 10 % restante se pierde por el calor generado por los procesos químicos.

1.3.2.4 Ciclos de vida

Las baterías que son recargables tienden a perder su capacidad de forma gradual con el número de recargas. La vida útil depende mucho de la tecnología utilizada para su fabricación y pueden ir desde 100 hasta varios miles de recargas. Para mitigar este efecto los fabricantes trabajan en baterías de fácil reemplazo (Alguacil, 2017).

1.3.2.5 Capacidad nominal

Es la capacidad que puede otorgar una batería que se encuentra completamente cargada hasta llegar a una tensión de descarga establecida con una temperatura del medio delimitada y una tasa de descarga en particular.

1.3.2.6 Velocidad de recarga

Se define como la cantidad de tiempo para recargar una batería, siendo más característico y funcional el tiempo de carga hasta el 80 % de su capacidad.

1.3.2.7 Autodescarga

Al mantenerse una batería en circuito abierto su capacidad tiende a disminuir; normalmente, la autodescarga de una batería se expresa como la proporción que pierde de su capacidad, en relación a su capacidad nominal en el transcurso de un tiempo determinado.

1.3.3 Tipos de baterías de automóviles eléctricos

1.3.3.1 Baterías de Níquel - Cadmio

Las baterías que se componen de níquel -cadmio son muy empleadas en el ámbito automotor. Estas baterías están más enfocadas para el uso en aviación, o automóviles militares,



por su rendimiento en temperaturas bajas, y su capacidad cada vez se va reduciendo con cada recarga (Ordoñez, 2011).

1.3.3.1.1 Características constructivas de las baterías níquel-cadmio

- Contaminantes por la utilización del Cadmio
- Voltaje por celda igual 1.2 v.

1.3.3.1.2 Características Funcionales de las baterías níquel-cadmio

- Densidad energética 40-60 Wh/kg.
- Potencia específica 150 W/Kg.
- Proceso de carga normal de 10h a 14h.
- Vida útil mayor 1500 ciclos de carga y descarga.
- Autodescarga del 10% mensual.
- Buen comportamiento de temperatura (-40°C a 60°C).
- Eficiencia energética 72.5 %.

1.3.3.2 Baterías de Níquel - Hierro.

Es una batería muy robusta que es tolerante al abuso, y puede tener muy larga vida, su rendimiento es similar la batería de NiCd, la diferencia radica en que poseen un cátodo compuesto de hidruro metálico y ánodo compuesto de hidróxido de níquel lo que las convierte en baterías libres de cadmio. (Gutiérrez, 2013).

Las baterías de níquel-hierro tienen características eléctricas similares las de níquel-cadmio.

1.3.3.2.1 Características constructivas de las baterías níquel – hierro

- Hidróxido de níquel como ánodo.
- Hidruro metálico como cátodo.
- Voltaje por celda 1.2v.

1.3.3.2.2 Características funcionales de las baterías níquel - hierro

- Densidad energética 30-80 [Wh/kg].
- Potencia específica 250-1000 [W/Kg]
- Proceso de carga normal de 2h a 4h
- Vida útil 300-500 ciclos de carga y descarga
- Autodescarga del 20% mensual



- Eficiencia energética 70 %.

1.3.3.3 Baterías de Ion Litio (LiCoO₂).

Hoy en día, este tipo de baterías son las más comercializadas en el mercado, están constituidas por electrolito de sal y los electrodos de: cobalto, litio y oxido, lo cual permite conseguir energías con una eficiencia alta. Hoy en día se posicionan como la mejor solución para un automóvil eléctrico, pero también suelen estar presentes en gran cantidad de aparatos electrónicos que requieren violentas descargas de corriente, por ejemplo los teléfonos móviles, portátiles, etc. (Ordoñez, 2011) (Gutiérrez, 2013).

1.3.3.3.1 Características constructivas de las baterías ion litio

- Voltaje por celda 3.3v-3.7v
- Poseen un sistema de seguridad para sostener los voltajes mínimos y máximos por cada celda.
- No requieren mantenimiento.
- No tienen efecto memoria.

1.3.3.3.2 Características funcionales de las baterías ion litio.

- Densidad energética 100-250 Wh/kg.
- Potencia específica 250-340 W/Kg
- Proceso de carga normal de 2h a 4h
- Vida útil 400-1200 ciclos de carga y descarga
- Autodescarga del 25% mensual
- Eficiencia energética 90 %.

1.3.3.4 Baterías de LiFePO₄

Esta batería presenta Ion-litio la cual es semejante a la LiCoO₂ con la única discrepancia de que no usa el cobalto, lo cual les permite tener mayor seguridad y un alto grado de estabilidad para su uso. Otras ventajas, es que presentan ciclos de vida más largos y por ende mayor potencia. Como inconvenientes es que presentan una menor densidad energética y un alto costo de producción (Gutiérrez, 2013).

1.3.3.4.1 Características constructivas de las baterías LiFePO₄

- Alta tensión en circuito abierto (3.3v).



- No requieren mantenimiento.
- No tienen efecto memoria.

1.3.3.4.2 Características funcionales de las baterías LiFePO4.

- Densidad energética 130-200 Wh/kg.
- Potencia específica 7100 W/Kg.
- Proceso de carga de 1h a 1.5h.
- Vida útil 2000 ciclos de carga y descarga
- Autodescarga del 10% mensual
- Eficiencia energética 90 %.

1.3.3.5 Baterías de Polímero de litio.

Este tipo de baterías se consideran una innovación de las baterías de Ion-litio que presentan ciertas mejoras, tienen mayor densidad energética y por lo tanto también tienen una elevada potencia. Son baterías eficaces, ligeras y también no poseen efecto memoria. Una desventaja radica en el alto coste de fabricación y poco ciclo de vida (Yisi Lui, 2017) (Javier, 2018).

1.3.3.5.1 Características constructivas baterías polímero de litio.

- Tienen componentes de litio y plomero
- Confirmandas por unidades de 10 o 14 celdas unidas en serie.
- El circuito en serie de cada unidad de 10 o 14 celdas, también presenta una conexión en serie.
- Poseen una configuración de 8 módulos (96 celdas) unidos en serie.
- Para controlar la temperatura de la batería consta de un sensor de temperatura.

1.3.3.5.2 Características funcionales baterías polímero de litio.

- Voltaje 360 V.
- Potencia específica mayor a 3000 W/kg.
- Densidad energética 200 Wh/kg.
- Peso 274 kg.
- Proceso de carga convencional aproximadamente 6-8h.
- Proceso de carga rápida de 15-30 minutos.



- Vida útil 1000 ciclos de carga y descarga.
- Eficiencia energética 90 %. (Gutiérrez, 2013)

1.3.3.6 Batería ZEBRA.

Estas baterías, también conocidas por el nombre de sal fundida, trabajan a una temperatura de 250 °C y cuentan como electrolito cloro aluminato de sodio triturado. La batería zebra se considera compleja ya que posee mayor contenido químico, con esto se consigue unas prestaciones de potencia y energía excepcionales (Yisi Lui, 2017).

Cuando no se utiliza, es decir, permanece en reposo, el electrolito se endurece, por lo tanto, necesita de un tiempo de fundición para alcanzar su temperatura ideal y ofrecer de nuevo su carga completa. Tienen el mejor ciclo de vida en comparación a todas las baterías, pero poseen un inconveniente ocupan demasiado espacio y su potencia es considerablemente baja (electromovilidad, 2017).

Este tipo de baterías se utilizan en autobuses, automóviles, camiones e incluso trenes debido a su posibilidad de operar a voltajes altos como 600 voltios.

1.3.3.6.1 Características constructivas de las baterías ZEBRA (NaNiCl)

- Tienen como electrolito cloro aluminato de sodio triturado.
- Celdas sin mantenimiento, completamente selladas y sin gasificación.
- Alto costo de fabricación.

1.3.3.6.2 Características funcionales de las baterías ZEBRA (NaNiCl)

- Voltaje de operación 600 V.
- Densidad energética 125 Wh/kg.
- Peso 270 Kg.
- Sin autodescarga.
- Proceso de carga normal aproximadamente 7 h.
- Proceso de carga rápido se puede cargar el 50 % de capacidad en 40 minutos.
- Altas temperaturas de trabajo (270°C -350°C).
- Eficiencia energética 92.5 %.
- Vida útil 1000 ciclos de carga y descarga.

1.3.3.7 Batería de aluminio –aire.



Denominadas también por el nombre de “pilas de combustible” por qué se reemplaza los electrodos de metal que ya han cumplido su vida útil por unos nuevos. Este tipo de baterías tienen una alta capacidad para almacenar energía de hasta 10 veces comparadas con las de Ion-litio y también su densidad energética no se compara con el resto, a pesar de sus características no ha tenido una buena aceptación en el mercado debido a sus problemas para realizar la recarga y a la fiabilidad que ofrecen. Aún están en fase experimental, sin embargo, este tipo de batería podría brindar 700 km de autonomía a un automóvil eléctrico (Gil, 2018) (electromovilidad, 2017) (Yisi Lui, 2017).

1.3.3.7.1 Características constructivas de las baterías aluminio –aire

- Ánodo de aluminio.
- Cátodo de oxígeno.
- Voltaje nominal por celda 1.2V.
- Mayor capacidad energética e incluso mayor que la del combustible.
- Reciclable.
- Mayor seguridad (no fugas, no inflamable)

1.3.3.7.2 Características funcionales de las baterías aluminio –aire

- Densidad energética 1300-2500 Wh/kg.
- Potencia específica 200 W/kg.
- Pila no recargable (reemplazo del metal).
- Vida útil 200 ciclos de carga y descarga.
- Eficiencia energética mayor al 90%.

1.3.3.8 Batería de Zinc-Aire

Este tipo de batería aún está en desarrollo, pero posee una mejor tecnología que las baterías de aluminio-aire, estas baterías requieren extraer el oxígeno presente en la atmósfera para producir una corriente. Se diferencian por tener un potencial energético alto, una buena fiabilidad y además son capaces de acumular 3 veces más energía que las de Ion-litio en un volumen igual y con costos menores. (Leal, 2017) (Yisi Lui, 2017).

1.3.3.8.1 Características constructivas baterías Zinc-Aire

- Ánodo solido de zinc.
- Cátodo de oxígeno.



- Voltaje nominal por celda 1.0V.
- Rango de tamaño muy variado.
- Sensibles a temperaturas extremas.
- Son baterías primarias.

1.3.3.8.2 Características funcionales baterías Zinc-Aire

- Densidad energética 1700-2500 Wh/kg.
- No son recargables (recarga mecánica).
- Excelente vida útil con tasas de autodescarga del 2%.

1.3.4 Importancia de las baterías en la definición de autonomía

La importancia de la batería en la autonomía se relaciona directamente con la capacidad disponible que posee la batería para generar un recorrido, la misma es comparable con el tanque de combustible de un automóvil; esta se representa como un porcentaje de una referencia de carga completa, el cual debe ser actualizado frecuentemente, debido a que la batería pierde capacidad paulatinamente con la cantidad de recargas (Pérez & Yorly, 2016), el estado de carga (SOC) corresponde al indicador de combustible para el paquete de baterías en un automóvil eléctrico de batería (BEV).

Por lo general, el SOC no se puede medir directamente, pero se puede estimar a partir de variables de medición directas de dos maneras: fuera de línea y en línea.

- **Estimación de medición directa en línea.**

Este método puede aplicarse a todas las baterías y utiliza la inclusión de parámetros característicos del batería como: la tensión de circuito abierto (OCV) y la corriente, para utilizar este método de estimación de carga solo es necesario mapear la curva de voltaje vs corriente hasta que la batería se encuentre plenamente cargada o descargada (Pilatuña, 2018).

- **Estimación de medición directa fuera línea.**

Para estimar el SOC con la medición fuera de línea, la batería tiene que cargarse y descargarse a una velocidad constante, como el conteo de Coulomb, para poder medir la corriente de descarga constante, este valor se multiplica con el tiempo de descarga obteniendo la capacidad de la batería (Seyed, Bathaee, & Golkar, 2016).



El porcentaje de carga es fundamental para obtener un buen funcionamiento del sistema que controla los vehículos eléctricos, por este motivo es necesario estimar el porcentaje de carga, siendo el envejecimiento de la batería uno de los factores que interfieren en la estimación del SOC (Wei, Williard, Chen, & Pecht, 2013)

Los ciclos tanto de carga como la descarga disminuyen la capacidad de cada una de las celdas que conforman la batería al transcurrir el tiempo y por esta causa es necesario actualizar periódicamente el máximo estado de carga disponible de la batería ya que este es la referencia para evaluar el estado de carga. Si no se actualiza el máximo estado de carga el cálculo puede contener errores de peso. Otros factores que actúan en la estimación del SOC son los siguientes:

1.3.4.1 Tasa de carga y descarga

Cuando se carga y descarga una batería sucede un proceso químico que se demora un tiempo finito y este necesariamente no es menor que el efecto eléctrico que se encarga de cargar la batería, debido a esto durante la carga puede producirse un pulso de descarga lo cual podría producir errores en el valor del SOC. Además, cuando se carga y descarga una batería el mismo proceso consume energía, por lo tanto, la energía generada por la batería será menor a la que se utilizó para cargarla por completo. Esta cantidad de energía se la denomina eficiencia coulombica y puede llegar a afectar hasta un 3% de la capacidad disponible (Wei, Williard, Chen, & Pecht, 2013).

1.3.4.1.1 Factores que considerar en la tasa de carga y descarga de las baterías.

1.3.4.1.1.1 Histéresis

La histéresis se considera como la propensión de un material a mantener una de sus propiedades cuando se quita el estímulo que la ha generado, esto afecta cuando se carga y descarga la batería debido a que el voltaje de una batería en circuito abierto tras una carga va a ser mayor que al medido tras una descarga (Pérez & Yorly, 2016).

1.3.4.1.1.2 Temperatura y tasa de descarga

La temperatura afecta directamente a la capacidad disponible en una batería, debido a que la batería necesita reaccionar químicamente para funcionar y como en cualquier reacción química la temperatura es una variable que considerar.

Una batería a temperaturas elevadas mejora su rendimiento ya que a mayor temperatura se reduce la resistencia que tiene internamente y por ende se acelera la velocidad de la reacción



química, por el contrario, cuando existen temperaturas frías la resistencia interna de la batería aumenta y disminuye su capacidad (Inostroza, 2016).

1.3.4.1.1.3 Autodescarga

Al pasar del tiempo, las baterías sufren de autodescarga que generalmente es menor al 3% al transcurrir un mes. Cuando los tiempos de carga son extensos se puede apreciar este consumo de energía.

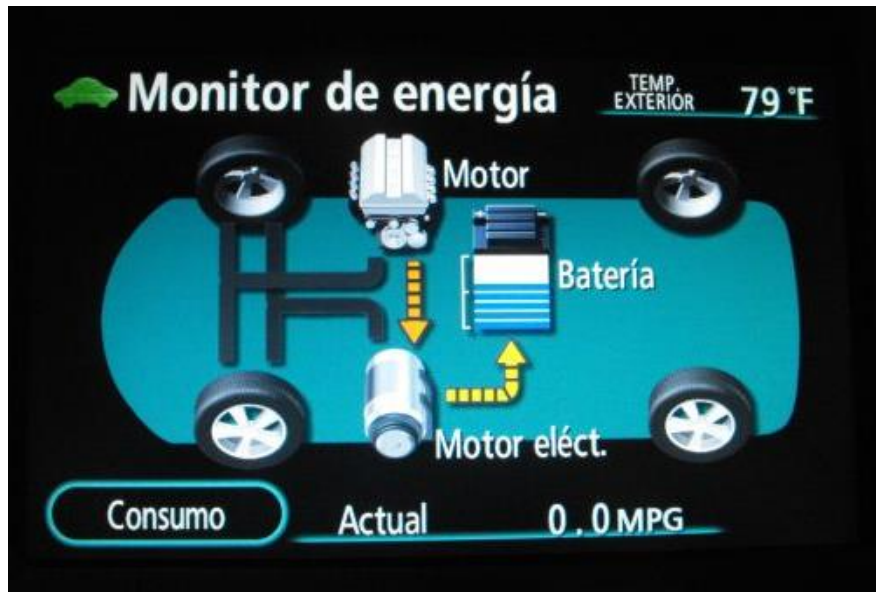


Figura 1.2. Estado de carga monitor de energía.

Fuente: (Corp, 2012)

Según menciona Aurregui (2012) el porcentaje de carga de la batería puede estar establecido por segmentos; la Figura 1.2, muestra en este caso que los 5 segmentos representarían un 60 % del estado de carga.

Así mismo Aurregui dice que; que es necesario un SOC bajo para que exista más espacio para cargar una batería con fuentes externas como la red eléctrica de AC, pero es importante no excederse a llegar a un punto muy bajo de SOC, porque el automóvil podría quedarse sin asistencia eléctrica de alimentación y podrían producirse problemas químicos en las baterías e incluso se podrían dañar las baterías por descargas profundas (Augeri, 2012).

1.4 VARIABLES INFLUYENTES EN LA REDUCCIÓN ACELERADA DE LAS AUTONOMÍAS



El automóvil eléctrico depende en gran medida de diferentes variables que intervienen en su autonomía, como el modo de conducción, factores climáticos, pendiente y congestión vehicular (Bueno Juela & Quizpe Sinchire, 2017).

1.4.1 Modo de conducción

El modo de conducción de cada conductor frente al volante afecta de manera directa si el conductor es demasiado agresivo al manejar, es decir acelera excesivamente el consumo de corriente eléctrica será elevado y, por el contrario, cuando el conductor es demasiado pasivo y se dispone a frenar seguidamente el consumo de energía disminuirá y la batería se cargará.

1.4.2 Velocidad del automóvil

Esta es una variable muy importante para considerar, por ejemplo, si el conductor exagera al momento de presionar el acelerador incrementando la velocidad del automóvil, el desempeño se ve afectado consumiendo más energía de la batería de forma rápida en relación a un conductor que mantenga una velocidad constante del automóvil, debido a que la velocidad es directamente proporcional a la descarga del automóvil (Bueno Juela & Quizpe Sinchire, 2017).

1.4.3 Factores climáticos.

En un automóvil eléctrico, la variación de clima no afectaría en el desempeño de su funcionamiento, sin embargo, el utilizar accesorios como el aire acondicionado afecta el consumo de energía del automóvil (Bueno Juela & Quizpe Sinchire, 2017).

1.4.4 Pendiente.

1.4.4.1 Pendiente positiva

Desplazándose el automóvil por una pendiente positiva (subiendo por una cuesta) una fracción del peso se transfiere de forma contraria a la marcha, esto produce una oposición que impide el avance necesitando una mayor potencia y esto se convierte en un mayor consumo de energía de las baterías.

1.4.4.2 Pendiente negativa.

Cuando el automóvil se desplaza por una pendiente negativa (descendiendo de una cuesta),



se puede poner en marcha el proceso de restablecimiento de la batería con el freno regenerativo aprovechando la energía cinética.

1.4.4.2.1 Freno regenerativo

El frenado regenerativo significa, utilizar el motor eléctrico como generador durante el frenado para transformar la energía cinética del automóvil en eléctrica que carga la batería de alto voltaje. Esto minimiza la pérdida de energía almacenada en las baterías y extiende el rango de rendimiento de estas, la eficiencia de las baterías es alta especialmente cuando el automóvil se conduce en las calles de la ciudad, donde con frecuencia se detiene.

Es decir, los frenos regenerativos permiten generar energía eléctrica a partir de la cinética del automóvil, para cargar las baterías de alto voltaje de los VE e híbridos.

En la Figura 1.3 se muestra el de manera esquemática el sistema del freno regenerativo del automóvil Kia Soul Ev.

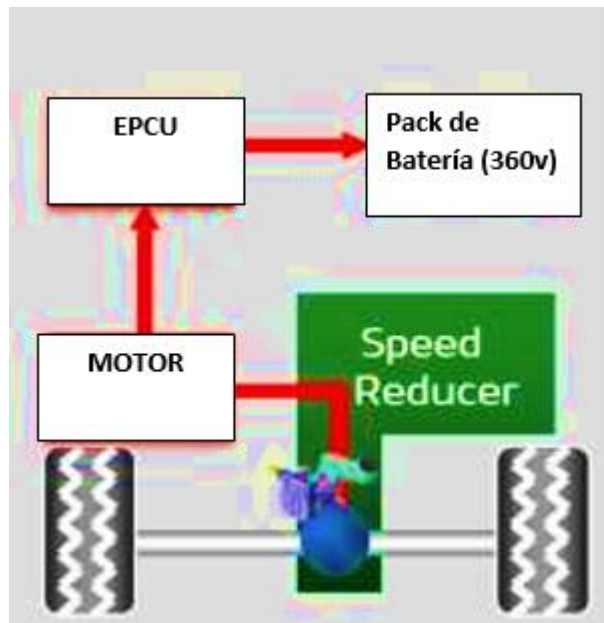


Figura 1.3 Freno regenerativo del Kia Soul Ev.

Fuente: autores

El sistema de frenos EV puede aplicar el frenado regenerativo, pero para esto necesita un sistema que ajuste la presión del aceite del freno en función de las condiciones de conducción, este sistema se llama AHB (Active Hydraulic Booster).

En la figura 1.4 se puede apreciar el esquema de generación de energía del automóvil Kia Soul Ev.

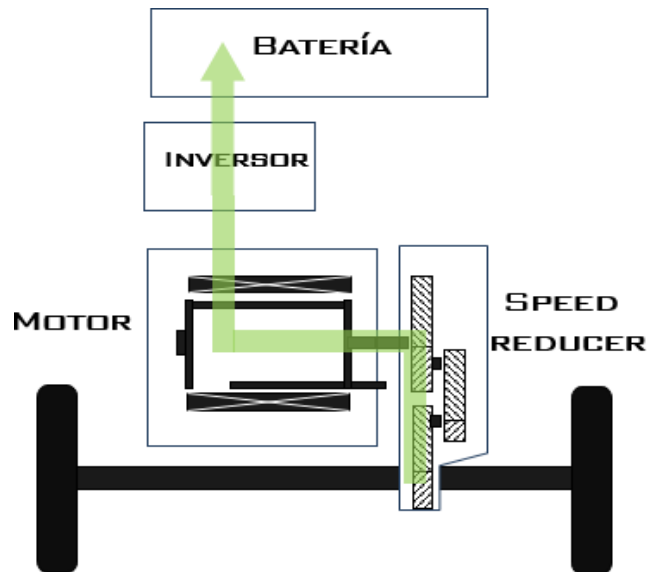


Figura 1.4: Flujo de generación de energía del motor eléctrico durante el accionamiento del freno del automóvil Kia Soul Ev.

Fuente: (Active Hydraulic Booster).

1.4.4.2.2 Desaceleración y frenado (almacenar energía eléctrica):

El frenado en un automóvil eléctrico puede proporcionar muy valiosa energía para las baterías de forma que bien gestionada la manera de utilizar el freno se alarga el rendimiento del automóvil. Para obtener una buena frenada regenerativa se debe incluir una variación en la mentalidad del conductor que ayude a la utilidad de las baterías, utilizando el freno con anticipación de esta manera aprovechar el primer tramo del pedal de freno. Al predecir la actuación de los frenos mecánicos se puede recuperar mayor energía.

Durante el frenado regenerativo, el motor de accionamiento sirve como un generador que convierte la energía cinética producida por la desaceleración en energía eléctrica para cargar la batería. El flujo de energía durante la aceleración y el frenado regenerativo es todo lo contrario.

- El freno regenerativo reduce la velocidad de manera eficaz.
- No toda la energía disipada es aprovechada por el sistema de acumulación de energía.



Capítulo 2

2 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE SELECCIÓN PARA LAS RUTAS DE INTERCONEXIÓN PROVINCIAL DEL AUSTRO.

En el presente capítulo se delimitan las rutas de interconexión provinciales del Austro, que serán utilizadas para las pruebas experimentales (Cuenca- Guayaquil, Machala, Loja, y Cañar), bajo la consideración de los criterios de movilidad y redes de transporte definidas como: congestión vehicular, número de vehículos que transitan en las vías y las rutas de conexión interprovincial con un alto número de circulación vehicular debido al comercio que existe entre provincias y el turismo.

De cada ruta se caracterizan variables como: el perfil de altimetría, el cual representa una incidencia representativa sobre el consumo de energía, en condiciones de ascenso (pendiente negativa) y favorables en descenso en los procesos de regeneración de energía; así como el tiempo estimado en el trayecto, la distancia recorrida en kilómetros, el número de carriles existentes, la semaforización, y los límites de velocidad máximos al cual se puede circular.

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS RUTAS DE ESTUDIO.

En las rutas de estudio se consideran parámetros que definen cambios de comportamiento en el funcionamiento del automóvil eléctrico, reduciendo su capacidad para recorrer mayor distancia:

- Congestión vehicular
- Altimetría
- Vías de conexión interprovincial. (Comercio)
- Vías de mayor afluencia vehicular. (Turismo)



2.1.1 Congestión vehicular.

Representa la afluencia extrema de carros en determinadas ubicaciones y horas del día, afectando la circulación normal de los vehículos y el tránsito se vuelve más lento es decir toma más tiempo ir de un lugar a otro; al circular en el sector urbano y por rutas cortas este factor no afectaría de manera significativa el consumo de energía del automóvil eléctrico, sin embargo, como el estudio se basa en rutas de interconexión provincial que poseen mayor recorrido la congestión vehicular afectaría el consumo de autonomía debido al tiempo necesario para cubrir la ruta.

La congestión vehicular se encuentra relacionada de forma íntima a la oferta y demanda en las vías, debido a que el parque automotor crece con gran rapidez (Sarmiento, 2014).

2.1.2 Altimetría en las rutas a recorrer

La altimetría permite trazar la elevación del terreno del muestreo entre un punto con respecto a un plano de referencia (Bruces, 2016). Por lo tanto, el porcentaje de inclinación de la calzada o pendiente influye en la disminución del desempeño del VE, por ejemplo, al ascender por una pendiente pronunciada se necesita mayor abastecimiento de energía de las baterías siendo el porcentaje de aceleración del automóvil mayor.

2.1.3 Vías de conexión interprovincial. (Comercio).

Son las vías que permiten una conexión bidireccional entre provincias facilitando el comercio y traslado de materiales, productos y servicios entre diferentes entidades o países, con el fin de comercializarlos, estas actividades se realizan de forma cotidiana y con el uso del automóvil eléctrico en estas actividades se estaría reduciendo la emisión de gases contaminantes que emiten los automóviles con motores de combustión, por este motivo es necesario conocer el desempeño del automóvil eléctrico en las vías de interconexión provincial.

2.1.4 Vías de mayor afluencia vehicular. (Turismo)

Vías con localizaciones estratégicas para el turismo que atraen las personas cuando viajan (UNWTO, s.f.). La población de la ciudad tiende a buscar espacios o lugares en sus momentos libres para vacacionar o en su defecto simplemente se movilizan a otro lugar por intereses



culturales, sociales o negocios, por estas razones se consideran las zonas de mayor afluencia vehicular para determinar si el automóvil eléctrico puede cubrir estos destinos sin inconvenientes.

2.2 DEFINICIÓN DE RUTAS PARA LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.

Las rutas seleccionadas para la experimentación son aquellas, que se utilizan como conexión interprovincial y de mayor afluencia vehicular bajo este criterio se establecen las siguientes:

2.2.1 Ruta 1: Terminal terrestre Cuenca – Terminal terrestre Guayaquil.

2.2.1.1 Parámetros de selección de ruta.

Para seleccionar la ruta Cuenca-Guayaquil se consideran los parámetros de:

- Rutas de conexión Interprovincial (Comercio)
- Vías de alta afluencia de automóviles. (Turismo)

La ruta seleccionada (Figura 2.1) es de conexión interprovincial, tiene lugares turísticos en su trayecto, es una vía con poca semaforización por lo cual se considera como una vía rápida que consta de dos carriles para la circulación de automóviles desde Cuenca, mientras que en Duran se extiende a tres carriles hasta llegar al terminal terrestre de Guayaquil, y además es considerada por la alta circulación de: vehículos livianos, de transporte interprovincial de pasajeros y pesados que circulan por las vías de esta ruta con dirección hacia la ciudad de Guayaquil. Rigiéndose a las redes de transporte se menciona que gran parte de las empresas encargadas de transporte interprovincial de pasajeros se moviliza por esta ruta, como también la mayoría de la ciudadanía utiliza esta ruta de conexión con la ciudad de Guayaquil por motivos de: movilidad laboral, comercial, y turística



Tabla 2-1: Ruta 1: Terminal terrestre Cuenca – Terminal terrestre Guayaquil.

Ruta seleccionada	Lugar de Partida	Llegada	Distancia de recorrido (km)	Duración del recorrido (min)	Velocidad Promedio
Guayaquil vía el Cajas	Terminal Terrestre de Cuenca	Terminal Terrestre de Guayaquil	191 km	3 h 37 min	60 (km/h)

Fuente: Autores.

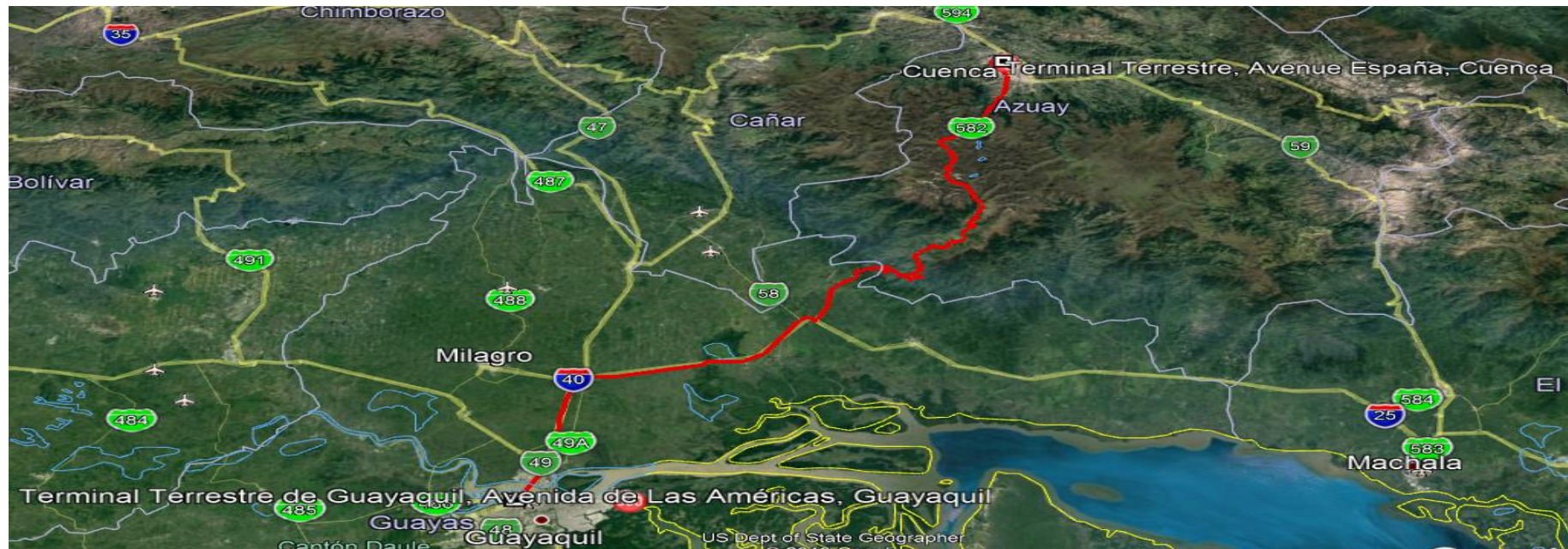


Figura 2.1: Ruta 1 Terminal terrestre Cuenca – Terminal terrestre Guayaquil.

Fuente: Google Earth.



2.2.1.2 Caracterización de la ruta Cuenca-Guayaquil.

La Tabla 2-2 muestra las características que describen al trayecto Cuenca-Guayaquil.

Tabla 2-2: Caracterización de la ruta Cuenca-Guayaquil.

Denominación	N° de carriles por sentido de vía	Ancho de carriles [m]	Velocidad de circulación (Km/h)
Calle Sebastián de Benalcázar	2	4	30
Av. Héroes de Verde loma	2	4	30
Av. De las Américas	3	4	50
Av. Ordoñez Lasso	2	4	50
Panamericana E582	1	4	90
Troncal de la Costa/E25	2	4	90
Descripción de la ruta			
Orientación		NORESTE-SUROESTE	
Caracterización geométrica			
Distancia (km)	197 km	N° de intersecciones Semaforizadas	32
Direccionalidad	Doble vía		
N° promedio de carriles	2		
Selección Ruta 1 Terminal terrestre Cuenca – Terminal terrestre de Guayaquil			
Parámetros de selección de ruta	Altimetría en las rutas a recorrer		
	Congestión y movilización vehicular		
	Vías de mayor afluencia vehicular (Turismo).		
	Vías de mayor recorrido		
	Vías de conexión Interprovincial (Comercio)		



Ruta 1 Terminal terrestre de Cuenca – Terminal terrestre de Guayaquil

La ruta seleccionada es considerada como una vía de conexión interprovincial que comprende viajes medianos y largos para la activación tanto del turismo y comercio, así como también una vía que conecta con distintos destinos turísticos lo cual la convierte en una vía de gran afluencia de automóviles.

Fuente: Autores.

La ruta inicia desde el terminal terrestre de Cuenca por la calle Sebastián de Benalcázar hasta llegar a la Av. Héroes de Verdeloma que consta de dos carriles con una velocidad permitida de circulación de 30 Km/h. y un recorrido de 1.8 km para tomar la Av. de las Américas que consta de 3 carriles con una velocidad de 50 Km/h, con una longitud de recorrido de 1.7 km, hasta la intersección con la Av. Ordoñez Lasso, que consta de 2 carriles con un límite de circulación de 50 Km/h, se continua por esta avenida 6.4 km hasta llegar a la Parroquia San Pedro de Sayausi, tomando la vía Cuenca- Molleturo- Naranjal/E582 que se reduce a un solo carril, en todo este tramo de 113 km de la ruta tiene más congestión de automóviles debido a la reducción de un carril hasta la vía Troncal de la Costa/E25 que consta de 2 carriles con un límite de circulación de 90 Km/h, por esta vía se recorre 39.9 km hasta llegar a tomar la vía Transversal Austral (Vía a la Costa) que conecta con el Puente de la Unidad Nacional. Las vías Cuenca- Molleturo- Naranjal/E582 y la Troncal de la Costa/E25 se consideran como vías rápidas, ya que estas poseen un límite de circulación de 90 [km/h] para vehículos livianos y 60 [km/h] para vehículos pesados.

De acuerdo con Google Maps en la ruta Cuenca (terminal terrestre) – Guayaquil (terminal terrestre) el recorrido tiene un tiempo estimado de 3h 37 minutos. En el trayecto de ida tiene una distancia de 191 km de recorrido, de la misma manera en el trayecto de retorno.

La ruta Cuenca -Guayaquil se caracteriza por tener una alta variación en el perfil de altimetría llegando a puntos altos sobre el nivel del mar con pendientes de hasta el 12 %. En la Figura 2.2 se puede observar que el perfil de elevación de la ruta Cuenca- Guayaquil posee pendientes positivas y negativas en su trayecto.



Figura 2.2: Elevación de la Ruta Terminal terrestre Cuenca – Terminal terrestre Guayaquil

Fuente: Google Earth.

2.2.2 Ruta 2: Terminal terrestre Cuenca – Terminal terrestre Machala

2.2.2.1 Parámetros de selección de ruta.

La selección de la ruta Cuenca -Machala se define de acuerdo a los parámetros:

- Vías de alta tránsito vehicular.
- Vías de desplazamiento rápido.
- Congestión Vehicular

El trayecto de la ruta seleccionada (Fig. 2.3), Cuenca- Machala tiene una amplia zona residencial por este motivo, por esta ruta de conexión interprovincial circulan los buses que brindan servicio de transporte interprovincial de pasajeros desde la Ciudad de Cuenca hasta la Ciudad de Machala; también se toma en cuenta la popularidad del destino, junto con las atracciones turísticas que ha hecho que las personas acudan con frecuencia a hosterías y quintas vacacionales que se encuentran en el trayecto de la ruta, convirtiéndola en una vía de gran afluencia vehicular.



Tabla 2-3: Ruta 2 Terminal terrestre Cuenca – Terminal terrestre Machala.

Ruta seleccionada	Lugar de Partida	Llegada	Distancia	Duración del recorrido (h/min)	Velocidad Promedio
Panamericana/Troncal de la Sierra/E35 y E59	Terminal Terrestre de Cuenca	Terminal Terrestre de Machala	168 km	2 h 55 min	60 km/h

Fuente: Autores.

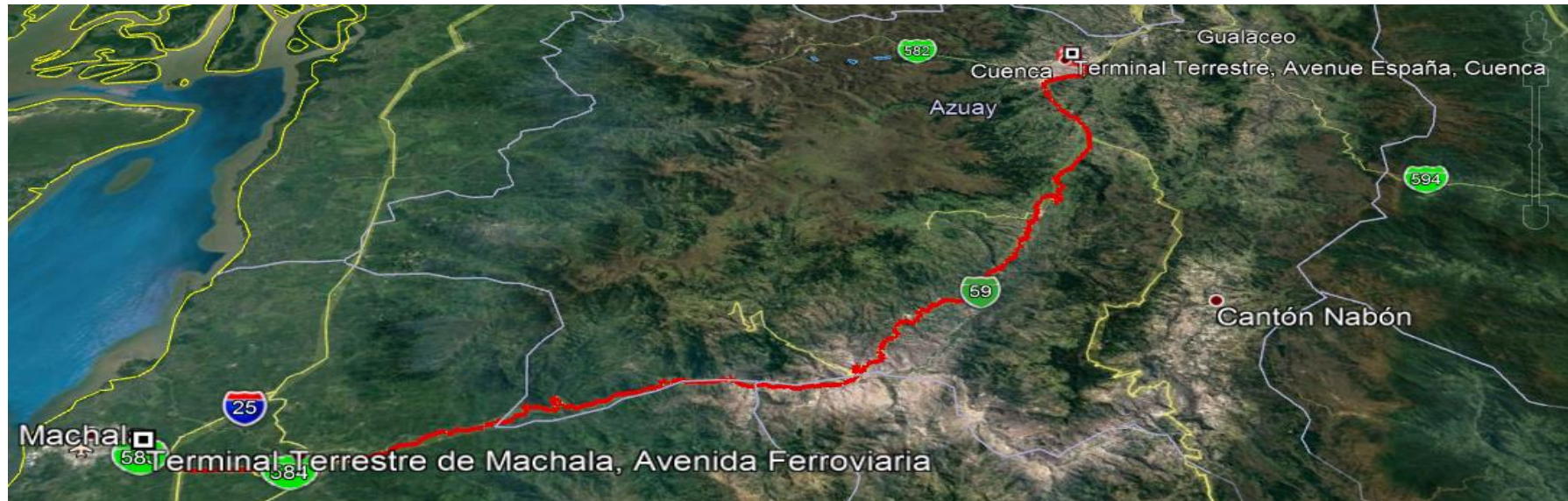


Figura 2.3: Ruta 2 Terminal Terrestre Cuenca – Terminal Terrestre de Machala

Fuente: Google Earth.



2.2.2.2 Caracterización de la ruta Cuenca-Machala

Tabla 2-4: Caracterización de la ruta Cuenca-Machala.

Denominación	Nº de carriles por sentido de vía	Ancho de carriles [m]	Velocidad de circulación (Km/h)
Calle Sebastián de Benalcázar	2	4	30
Av. Gil Ramírez Davalos	2	4	30
Av. España	2	4	30
Av. De las Américas	3	4	50
Panamericana E35	1	4	90
Colectora E59	1	4	90
Colectora E583	2	4	50
Descripción de la ruta			
Orientación		NORESTE-SUROESTE	
Caracterización geométrica			
Distancia	168 km	Nº de intersecciones Semaforizadas	16
Direccionalidad	Doble vía		
Nº promedio de carriles	2		
Selección Ruta 2 Terminal terrestre Cuenca – Terminal terrestre Machala			
Parámetros de selección de ruta	Altimetría en las rutas a recorrer		
	Congestión y movilización vehicular		
	Vías de mayor afluencia vehicular (Turismo).		
	Vías de conexión Interprovincial (Comercio)		
Ruta 2 Terminal terrestre Cuenca– Terminal Terrestre Machala	La ruta 2 seleccionada está conformada por vías de conexión interprovincial por donde circulan vehículos livianos y pesados que realizan viajes medianos y largos, también es una ruta que conecta distintos lugares turísticos lo cual la convierte en una vía de alto tránsito vehicular.		

Fuente: Autores.



El trayecto de la ruta parte del terminal terrestre de Cuenca por la Calle Sebastián de Benalcázar, hasta la Av. Gil Ramírez Dávalos que consta de dos carriles de circulación con una velocidad de 30 Km/h, y un recorrido de 1.8 km para tomar la Av. España que consta de 2 carriles con una velocidad de 30 Km/h, hasta llegar a la Avenida de la Américas que consta de tres carriles de circulación con una velocidad máxima de 50 Km/h hasta tomar la Autopista Azogues -Cuenca que cuenta con 3 carriles de circulación con una velocidad de 90 Km/h, hasta el control sur de la ciudad de Cuenca para tomar la Panamericana Sur/Troncal de la Sierra/E35 que se reduce a un solo carril de circulación a una velocidad de 60 Km/h, recorriendo por esta vía 23.4 km hasta la Colectora Cumbe -Y de Corralitos/E59 que es una vía de un carril con velocidad máxima de 90 km/h que pasa por Girón, Santa Isabel, Casacay hasta llegar al Pasaje, se continua por la Colectora Cumbe -Y de Corralitos/E59 hasta el Cambio y se toma la E583 2.2 km hacia la Transversal Terminal Terrestre de Machala.

De acuerdo con Google Maps, la ruta Cuenca (Terminal terrestre) – Machala (Terminal terrestre) en su recorrido tiene un tiempo estimado de 2 horas y 55 minutos en el trayecto de ida de igual manera el mismo tiempo de retorno, y la distancia recorrida en el trayecto de ida de 168 km, con doble sentido de circulación.

El perfil de altimetría de la ruta Cuenca -Machala se indica en la Figura 2.4, donde se puede verificar que la ruta posee un menor tramo de ascenso si se realiza el viaje desde Cuenca con destino a Machala en comparación al viaje de retorno que es su mayoría se tiene que ascender lo cual afectaría de manera significativa el consumo de autonomía del automóvil.



Figura 2.4: Elevación de la ruta Cuenca –Machala.

Fuente: Google Earth.

2.2.3 Ruta 3: Terminal Terrestre de Cuenca – Terminal Terrestre Reina del Cisne Loja

2.2.3.1 Parámetros de selección de ruta.

Se consideraron para la selección de la ruta los parámetros de:

- Vías con alto tránsito.
- Vías de recorridos largos.

La Figura 2.5 muestra que la ruta seleccionada tiene una vasta zona comercial y es una vía por donde circulan automóviles livianos y pesados, además cuenta con lugares turísticos en su trayecto como por ejemplo Saraguro que es un atractivo turístico por su cultura. Con el recorrido de esta ruta se pretende corroborar si la distancia tiene efecto en el rendimiento del automóvil eléctrico ya que esta es la ruta de mayor distancia la cual nos va a generar mayor consumo de energía de la batería de alto voltaje con respecto al tiempo, desde el terminal terrestre de Cuenca hasta llegar al terminal terrestre de Loja existe una distancia de 218 km.



Tabla 2-5: Ruta Terminal Terrestre de Cuenca – Terminal Terrestre Reina del Cisne Loja.

Ruta seleccionada	Lugar de Partida	Llegada	Distancia (km)	Duración del recorrido (min)	Velocidad Promedio
Av. Panamericana Troncal de la Sierra /E35	Terminal Terrestre de Cuenca	Terminal Terrestre Reina del Cisne de Loja	218 km	3 h 43 min	60 (km/h)

Fuente: Autores.



Figura 2.5: Ruta Terminal Terrestre de Cuenca – Terminal Terrestre Reina del Cisne Loja

Fuente: Google Earth



2.2.3.2 Caracterización de la ruta Cuenca-Loja.

Las propiedades de ruta Cuenca-Loja se indican en la Tabla 2-6.

Tabla 2-6: Caracterización de la ruta 3.

Denominación	Número de carriles por sentido de vía	Ancho de carriles [m]	Velocidad de circulación (Km/h)
Calle Sebastián de Benalcázar	2	4	30
Av. Gil Ramírez Davalos	2	4	30
Av. España	2	4	30
Av. De las Américas	3	4	50
Panamericana E35	1	4	90
Calle Azuay	1	4	40
Calle 10 de marzo	1	4	30
Av. Pablo Palacio	2	4	50
Descripción de la ruta			
Orientación		NOROESTE-SURESTE	
Caracterización geométrica			
Distancia	218 km	N° de intersecciones semaforizadas	23
Direccionalidad	Doble vía		
No de carriles promedio	2		
Selección Ruta 3 Terminal Terrestre Cuenca – Terminal Terrestre Reina del Cisne Loja			
Parámetros de selección de ruta	Altimetría en las rutas a recorrer		
	Congestión y movilización vehicular		
	Vías de mayor afluencia vehicular (Turismo).		
	Vías de mayor recorrido		
	Vías de conexión Interprovincial (Comercio)		



Selección Ruta 3 Terminal Terrestre Cuenca – Terminal Terrestre Reina del Cisne Loja	La ruta 3 seleccionada conecta la ciudad Cuenca con la ciudad de Loja y es una vía por donde circulan vehículos livianos y pesados que realizan viajes largos, también es una que cruza por distintos lugares como la Paz, Susudel, Oña Y Saraguro que es un atractivo turístico por su cultura ruta lo cual la convierte en una vía de alto tránsito vehicular.
--	--

Fuente: Autores.

La ruta parte del terminal terrestre de Cuenca por la Calle Sebastián de Benalcázar hasta la Av. Gil Ramírez Dávalos que consta de dos carriles de circulación con una velocidad de 30 Km/h se recorre una distancia de 1.8 km para tomar la Av. España que consta de 2 carriles con una velocidad de 30 Km/h, hasta llegar la Avenida de las Américas que consta de tres carriles de circulación con una velocidad máxima de 50 Km/h hasta llegar a la Autopista Azogues - Cuenca que cuenta con 3 carriles de circulación con una velocidad de 90 Km/h, hasta el sector del control sur de la ciudad de Cuenca para tomar la Panamericana Sur/Troncal de la Sierra/E35 que pasa por la Paz, Susudel, Oña hasta llegar a Saraguro y se continúa por la calle Azuay hasta la Calle 10 de marzo y retomar la Panamericana Troncal de la Sierra/E35 hasta llegar a Loja y continuar por la avenida Pablo Palacio hasta llegar al sitio de destino (Terminal Terrestre Reina del Cisne).

Según Google Maps el tiempo estimado para cubrir la ruta Cuenca- Loja es de 3 horas y 43 minutos en el trayecto de ida y de igual manera el mismo tiempo de retorno.

De acuerdo con el perfil de altimetría que se indica en la Figura 2.6 de la ruta Cuenca-Loja, la energía de la batería se disminuiría en los tramos de ascenso y se regeneraría en los tramos de descenso esto se daría de manera repetitiva.



Figura 2.6: Elevación de la ruta Terminal Terrestre de Cuenca – Terminal Terrestre Reina del Cisne Loja

Fuente: Google Earth.

2.2.4 Ruta 4: Terminal Terrestre Cuenca – Cañar

2.2.4.1 Parámetros de selección de ruta.

Se consideran los siguientes parámetros para la selección de la ruta:

- Tráfico vehicular.
- Vías de desplazamiento rápido.

Se considera la ruta (Figura 2.7) por la afluencia del turismo en la ciudad, así como también la circulación vehicular debido a actividades: laborales y de comercio de la ciudadanía, con el recorrido de esta ruta se pretende verificar si el consumo autonomía del automóvil eléctrico tiene cambios por la carga eléctrica del automóvil, al momento de recorrer la ruta debido a que en esta ruta no existe mayor posibilidad de una regeneración de energía en el trayecto de ida al ser una ruta de pendiente positiva.



Tabla 2-7: Ruta 4: Terminal Terrestre Cuenca – Cañar.

Ruta seleccionada	Lugar de Partida	Llegada	Distancia (km)	Duración del recorrido (min)	Velocidad Promedio
Av. Panamericana	Terminal terrestre de Cuenca	Cañar	66 km	1 h 15 min	60 (km/h)

Fuente: Autores.



Figura 2.7: Ruta Terminal Terrestre Cuenca – Cañar.

Fuente: Google Earth.



2.2.4.2 Caracterización de la ruta Cuenca-Cañar

La caracterización de la ruta Cuenca-Cañar se observa en la Tabla 2-8.

Tabla 2-8: Características de la ruta Cuenca- Cañar.

Denominación	Número de carriles por sentido de vía	Ancho de carriles[m]	Velocidad de circulación (Km/h)
Calle Sebastián de Benalcázar	2	4	30
Av. Gil Ramírez Davalos	2	4	30
Av. España	2	4	30
Av. De las Américas	3	4	50
Autopista Cuenca-Azogues	3	4	90
Av. Ernesto Che Guevara	2	4	40
Panamericana E35	2	4	90
Descripción de la ruta			
Orientación		NORESTE-SURESTE	
Caracterización Geométrica			
Distancia	66 km	Nº de intersecciones semaforizadas	10
Direccionalidad	Doble vía		
Nº Promedio de carriles	2		
Selección Ruta 4 Terminal Terrestre Cuenca – Cañar			
Parámetros de selección de ruta	Altimetría en las rutas a recorrer		
	Congestión y movilización vehicular		
	Vías de mayor afluencia vehicular (Turismo).		
	Vías de conexión Interprovincial (Comercio)		



Ruta 4 Terminal Terrestre Cuenca – Cañar	La ruta Terminal Terrestre Cuenca – Cañar está conformada por vías rápidas y de conexión interprovincial por donde circulan automóviles livianos y pesados que realizan viajes cortos y largos por motivos de movilidad laboral, comercial, y turística.
---	--

Fuente: Autores.

El trayecto de la ruta inicia del terminal terrestre de Cuenca por la Calle Sebastián de Benalcázar, hasta la Av. Gil Ramírez Dávalos que consta de dos carriles de circulación con una velocidad de 30 Km/h hacia la Av. España que consta de 2 carriles con una velocidad de 30 Km/h, hasta la Avenida de la Américas que consta de tres carriles de circulación con una velocidad máxima de 60 Km/h hasta llegar la Autopista Cuenca -Azogues que cuenta con 3 carriles de circulación con una velocidad de 90 Km/h, hasta llegar a Azogues tomar la Av. Ernesto Che Guevara hacia el Terminal Terrestre Segundo Serrano y luego retomar la Av. Ernesto Che Guevara para seguir por Troncal de la Sierra/E35 pasar por Biblián y llegar hasta el lugar de destino Cañar.

De acuerdo con la información de Google Maps es necesario un tiempo estimado de 1 hora y 15 minutos para cubrir la ruta Cuenca – Cañar en el trayecto de ida de igual manera el mismo tiempo de retorno, y la distancia recorrida es de 66 Km, con doble sentido de circulación.

En la Figura 2.8, se puede observar que la ruta tiene grandes variaciones de altura con respecto al punto inicial de partida con pendientes positivas de hasta un 13 %.



Figura 2.8 : Elevación de la ruta Terminal Terrestre Cuenca – Cañar

Fuente: Google Earth



Capítulo 3

3 ESTUDIO DE LAS VARIABLES QUE INCIDEN EN LA DEFINICIÓN DEL TRABAJO DEL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO MEDIANTE ANÁLISIS EXPERIMENTAL.

En este capítulo se explica la metodología para la toma de los datos, con la ayuda del programa Emolab 2.0.1, estos datos se obtienen mediante las pruebas experimentales en las rutas de interconexión provincial, los cuales serán analizados con la ayuda de las correlaciones de Pearson para determinar las variables que tienen mayor influencia en el comportamiento del automóvil eléctrico con relación a su autonomía.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA EMOLAB 2.0.1.

Es un software desarrollado en la interfaz Labview [Ortiz, P] que registra la información emitida de variables de la ECU mediante una conexión OBD2 que posee el automóvil Kia Soul. Este programa entrega información del comportamiento de distintos parámetros de funcionamiento, como por ejemplo el par motor, la velocidad del automóvil, el porcentaje de carga de batería entre otros; con una frecuencia de muestreo de 1 segundo.



Figura 3.1 Ventana del programa Emolab 2.0.1

Fuente: Ortiz, Paul. MGs.

El interfaz de inicio del programa *Emolab 2.0.1* (Figura 3.1) indica el comportamiento del automóvil eléctrico como: voltaje de la batería DC, porcentaje de autonomía, velocidad del automóvil, porcentaje del pedal de aceleración, temperaturas, corriente de fase del motor, el odómetro, entre otras.

3.1.1 Frecuencia de muestreo.

La adquisición de los datos de las rutas se toma con una frecuencia de muestro de 1 segundo mediante el bluetooth del OBD2 conectado al automóvil.

3.1.2 Variables obtenidas por el programa Emolab 2.0.1.

Con el programa *Emolab 2.0.1* se obtienen un total de 49 variables las cuales se indican en la Tabla 3-1 de la cual se escogen las variables que tienen mayor influencia en la autonomía para su posterior análisis.



Tabla 3-1 Variables obtenidas del Emolab 2.0.1.

Time [HH:MM:SS]	Accel Pedal [%]	Speed [Kmh]	Available Charge Power [KW]	Available Discharge Power [KW]	Battery Current [A]	Battery DC Voltage [V]	Battery Max Temperature [-C]
Battery Min Temperature [-C]	Battery Module 1 Temperature [-C]	Battery Module 2 Temperature [-C]	Battery Module 3 Temperature [-C]	Battery Module 4 Temperature [-C]	Battery Module 5 Temperature [-C]	Battery Inlet Temperature [-C]	Max Cell Voltage [V]
Max Cell Voltage [No.]	Min Cell Voltage [V]	Min Cell Voltage [No.]	Auxiliary Battery Voltage [V]	Cumulative Charge Current [Ah]	Cumulative Discharge Current [Ah]	Cumulative Charge Energy [kWH]	Cumulative Discharge Energy [kWH]
Cumulative Operating Time [Sec]	Inverter Capacitor Voltage [V]	Drive Motor Speed [rpm]	Drive Motor Speed [rpm]	Isolation Resistance [Kohms]	Auxiliary Battery Voltage [V]	Motor Actual Speed [rpm]	Motor Phase Current [A]
Motor Torque Command [Nm]	Estimated Motor Torque [Nm]	Motor Temperature [-C]	MCU Temperature [-C]	Head Sink Temperature [-C]	Battery Module 6 Temperature [-C]	Battery Module 7 Temperature [-C]	Battery Module 8 Temperature [-C]
SOC Display [%]	Gear State P	Gear State R	Gear State N	Gear State D	Gear State B	ECO OFF Switch	Charge Cancel Switch
Odometer [Km]							

Fuente: Autores.

3.2 VARIABLES QUE CONSIDERAR EN LAS PRUEBAS EXPERIEMTALES

La autonomía de un automóvil eléctrico está afectada por distintas condiciones o variables que influyen en su funcionamiento como: el estado de carga, los pesos existentes, periféricos, velocidad, condiciones climáticas, las cuales intervienen de forma directa en el consumo en su rendimiento.

3.2.1 Variables de bloqueo.

Son variables controlables, que son consideradas para desarrollar el estudio experimental, a estas variables se les asigna valores iniciales para poder realizar el análisis con métodos estadísticos (Delgado & Ochoa, 2018).



3.2.1.1 Estado inicial de carga del automóvil.

Se debe verificar que el estado de carga de la batería del V.E este al 100%, para evitar problemas en el posterior análisis.

3.2.1.2 Pesos en el automóvil

Se considera el peso del conductor y pasajeros del automóvil, mientras exista más peso en el automóvil también se incrementará el consumo de energía porque el automóvil necesita más energía para poder desplazarse superando la fuerza de fricción de la carretera.

La determinación del peso es importante antes de realizar las pruebas experimentales ya que este no se podría modificar entre las muestras o de lo contrario se vería afectado el torque y la potencia que entrega el automóvil. Las pruebas se realizan con dos ocupantes más el conductor del automóvil.

3.2.1.3 Velocidad del automóvil.

La velocidad del automóvil es una variable que descarga el automóvil de forma exponencial según aumenta la misma, por esta razón se debe establecer un punto ideal de funcionamiento, normalmente este punto se encuentra entre 90 y 110 km/h (Emobility,2018).

3.2.2 Variables de ruido

Son variables sobre las cuales no se puede tener un control al momento de realizar el experimento o desarrollo normal del proceso.

3.2.2.1 Condiciones climáticas.

Las condiciones climáticas podrían afectar el desempeño del automóvil debido a que, si es necesario activar el sistema de aire acondicionado o la calefacción, la energía se toma de la batería de alta tensión del automóvil siendo una fuente de consumo directa al estar activado disminuyendo el porcentaje de la autonomía.



3.2.2.2 Periféricos del automóvil.

La autonomía de un automóvil eléctrico al estar encendidos los periféricos tiene un mayor consumo cuando se encuentra activado la calefacción y las luces altas, y si se utilizan por un tiempo prolongado el consumo es notable en el estado de carga de la batería (Guazhambo, 2018).

3.2.2.3 Emisividad.

Es un factor que incide directamente en el desarrollo del experimento y su dependencia afecta al consumo de la autonomía.

3.3 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO MEDIANTE LOS ÍNDICES DE CORRELACIÓN DE PEARSON.

Con las pruebas experimentales se adquieren 49 variables (tabla 3-1) con el programa Emolab de estas, no todas generan información relevante para el estudio, por este motivo es necesario realizar un análisis de los coeficientes de Pearson, para identificar las variables que tienen una mayor incidencia en la disminución del rendimiento del automóvil eléctrico.

3.3.1 Coeficientes de correlación de Pearson.

Estos coeficientes miden el grado de relación entre distintas variables para verificar si tienen relación lineal (W. 2012). Los coeficientes de correlación de Pearson dependen de:

- Si el valor de $C \approx 1$, indica que hay un fuerte nexo positivo entre las variables
- Si el valor de $C \approx -1$, indica que hay un fuerte nexo negativo entre las variables.
- Si el valor de $C = 0$, en este caso no existe ningún nexo entre las variables.



Se toman en consideración las variables con un índice de correlación de Pearson mayor a $+0.75$ que indica una relación buena o importante, un coeficiente alto indica que las variables presentan influencia en el estudio (Bueno Juela & Quizpe Sinchire, 2017).

3.3.2 Variables de correlación de la ruta Cuenca-Machala.

El análisis estadístico en Matlab de la correlación de Pearson entrega los resultados de forma gráfica y numérica, en la Figura 3.3 se indica el resultado del grupo de variables del viaje de ida Cuenca con destino Machala.

Según la Figura 3.2 se considera un grado de coeficiente de correlación entre -1 a -0.75 y 0.75 a 1 que indica una correlación fuerte entre variables, de igual forma el color azul y rojo de los círculos indican esta correlación.

La correlación de todas las variables se analiza de acuerdo con la autonomía en km del automóvil (SOC Display \rightarrow [km]).

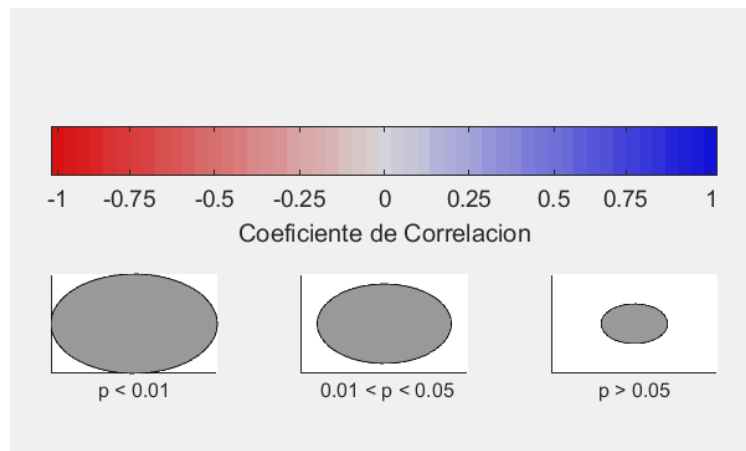


Figura 3.2: Fuerzas de los índices de Pearson.

Fuente: Autores

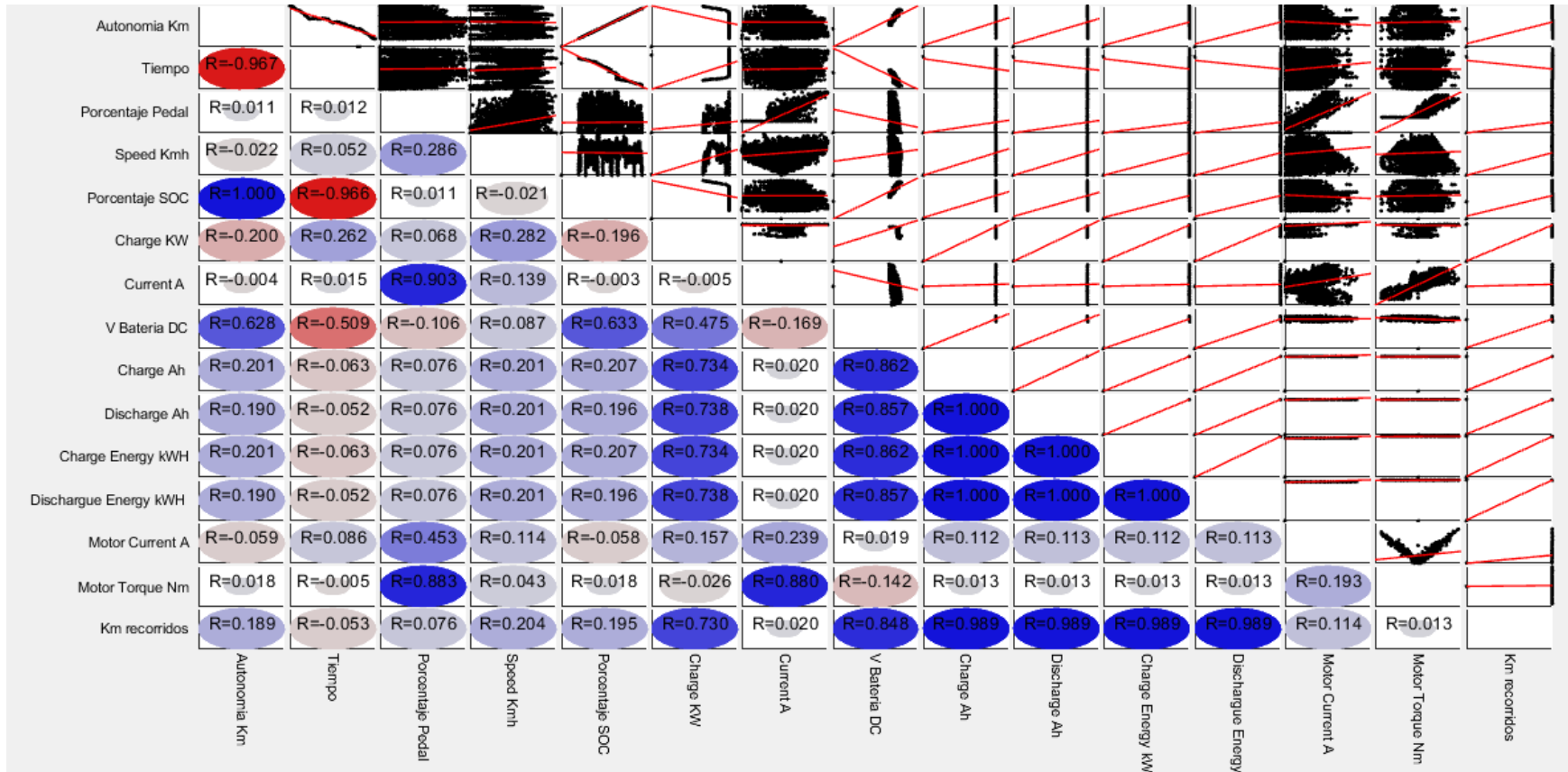


Figura 3.3: Matriz de correlación de Pearson Cuenca-Machala.

Fuente: Autores.



Cómo se comportan las diferentes variables se indica en la Figura 3.3 en las gráficas de regresión mostradas en forma diagonal, como también se aprecia el índice de correlación que tienen las variables con respecto a la disminución de autonomía en km del automóvil.

Las variables más significativas obtenidas mediante el análisis están mostradas en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Resultado de la correlación de la ruta 1.

Variables	Correlación
Tiempo recorrido ([HH:MM:SS])	-0.967
Consumo de la batería (SOC [%])	1.000
Voltaje de la batería (Battery DC Voltage [V]),	0.628

Fuente: Autores.

Los resultados que se obtiene de la correlación de Pearson de la ruta Cuenca- Machala de retorno con respecto al desempeño del automóvil; están divididos en dos tramos, el primero desde Machala hasta Santa Isabel y el segundo desde Santa Isabel hasta la ciudad de Cuenca.

En la Figura 3.4 y 3.5 se indican los resultados de la correlación de Pearson del viaje de regreso de la ruta Cuenca-Machala, se puede apreciar que las variables: “*Voltaje de la batería (Battery DC Voltage [V])*”, y *tiempo de recorrido* poseen los mayores índices de correlación siendo superiores a 0.9.

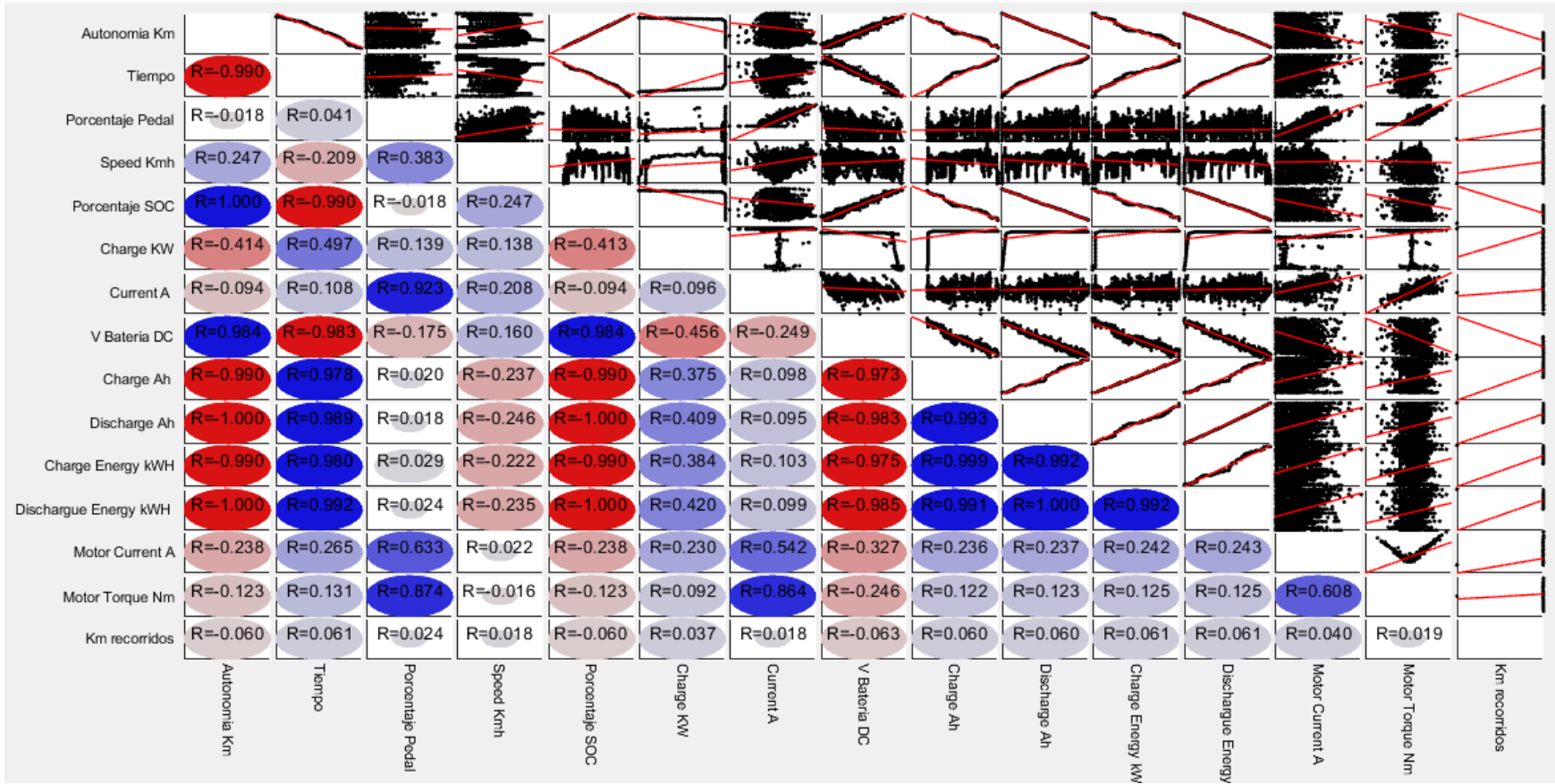


Figura 3.4 Resultado correlación del tramo de la ruta Machala-Santa-Isabel.

Fuente: Autores.

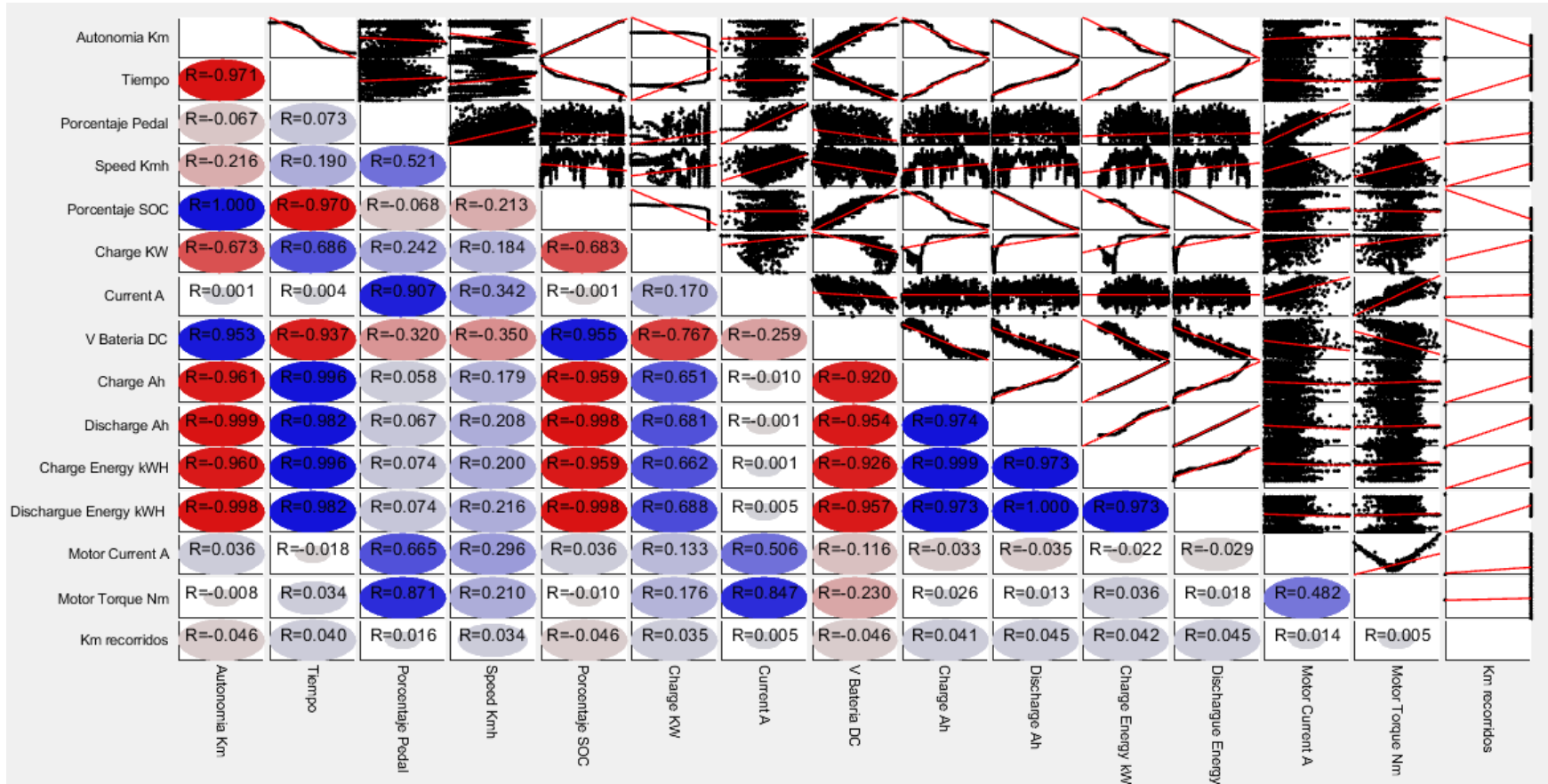


Figura 3.5: Resultado correlación del tramo de la ruta Santa-Isabel-Cuenca.

Fuente: Autores.



En la tabla 3-3 se puede apreciar las variables con mayor influencia con respecto a la autonomía de automóvil al retornar desde la Ciudad de Machala hasta la ciudad de Cuenca. En este trayecto el consumo de energía se va a afectar debido a la altimetría que posee la ruta, las pendientes positivas van a demandar un mayor consumo de la energía por esta razón se cubrió la ruta con dos cargas del automóvil.

Tabla 3-3 Variables obtenidas del resultado de correlación.

Variabes	Correlación
Tiempo recorrido ([HH:MM:SS])	-0.99
Consumo de la batería (SOC [%])	1.00
Voltaje de la batería	0.984
Carga acumulativa de energía.	-0.99
Descarga acumulativa de corriente.	-1
Carga Acumulativa de energía.	-0.99
Descarga Acumulativa de energía.	-1

Fuente: Autores.

3.3.3 Variables de correlación de la ruta Cuenca-Guayaquil.

La Figura 3.6 indica el comportamiento de las variables de la ruta Cuenca- Guayaquil con respecto a la autonomía del automóvil.

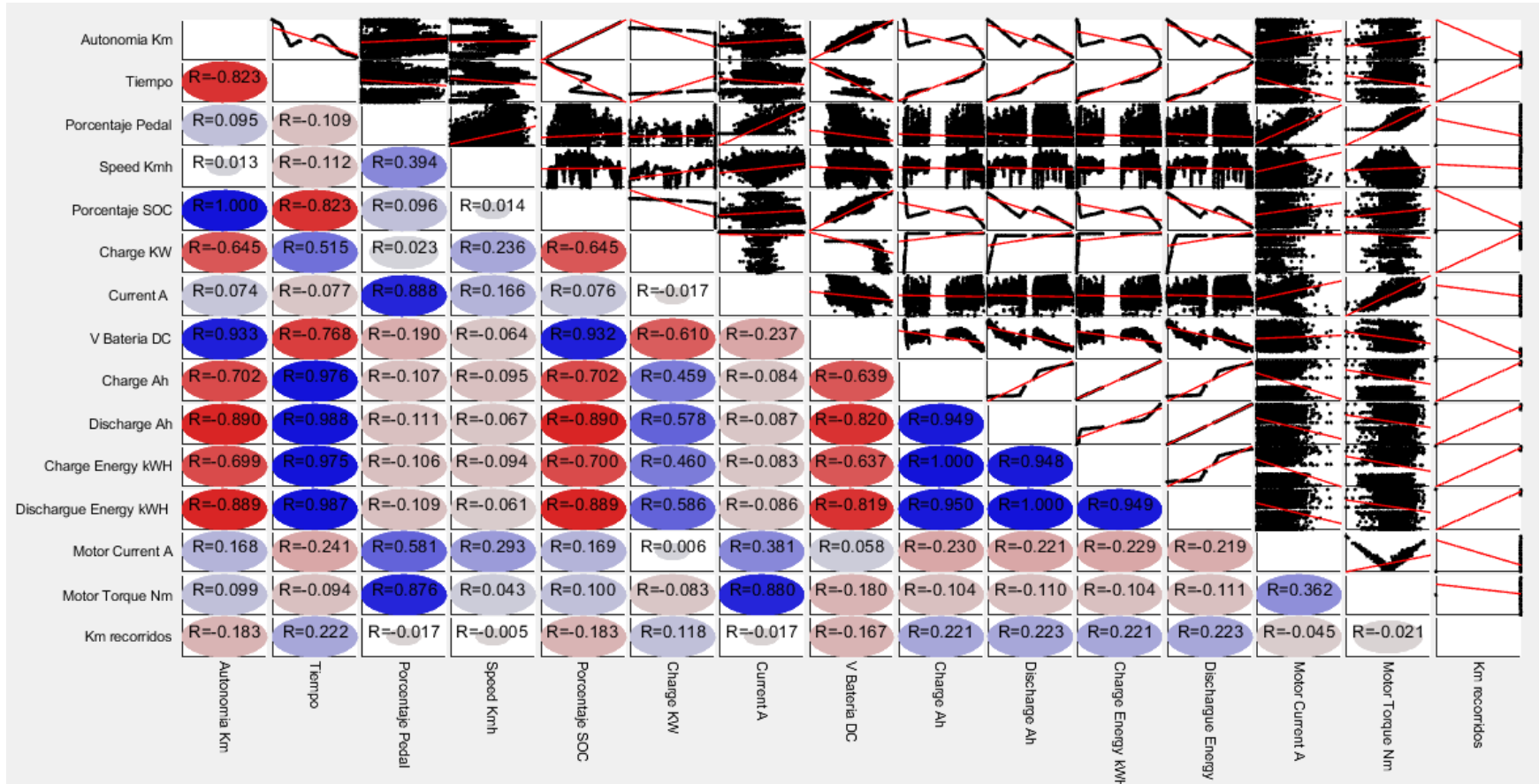


Figura 3.6: Resultado correlación de la ruta Cuenca-Guayaquil viaje de ida.

Fuente: Autores.



En la Tabla 3-4 se ilustran las variables con mayor incidencia en la disminución de la autonomía en la ruta Cuenca-Guayaquil en el viaje de ida, donde el *porcentaje de SOC* posee el mayor índice de correlación.

Tabla 3-4: Variables significativas de la ruta Cuenca-Guayaquil.

Variables	Correlación
Tiempo recorrido ([HH:MM: SS])	-0.83
Porcentaje de SOC ([%])	1.00
Voltaje de la batería (Battery DC Voltage [V])	0.933
Descarga acumulativa de corriente. (Cumulative Discharge Current [Ah])	-0.89
Descarga acumulativa de corriente. (Cumulative Discharge Current [Ah])	-0.889

Fuente: Autores.

Los resultados obtenidos de los índices de correlación de Pearson de la ruta Cuenca-Guayaquil de retorno se los muestran en la Figura 3.7, donde se ilustra que el *tiempo de recorrido* es el factor que representa el mayor efecto en el rendimiento de automóvil eléctrico

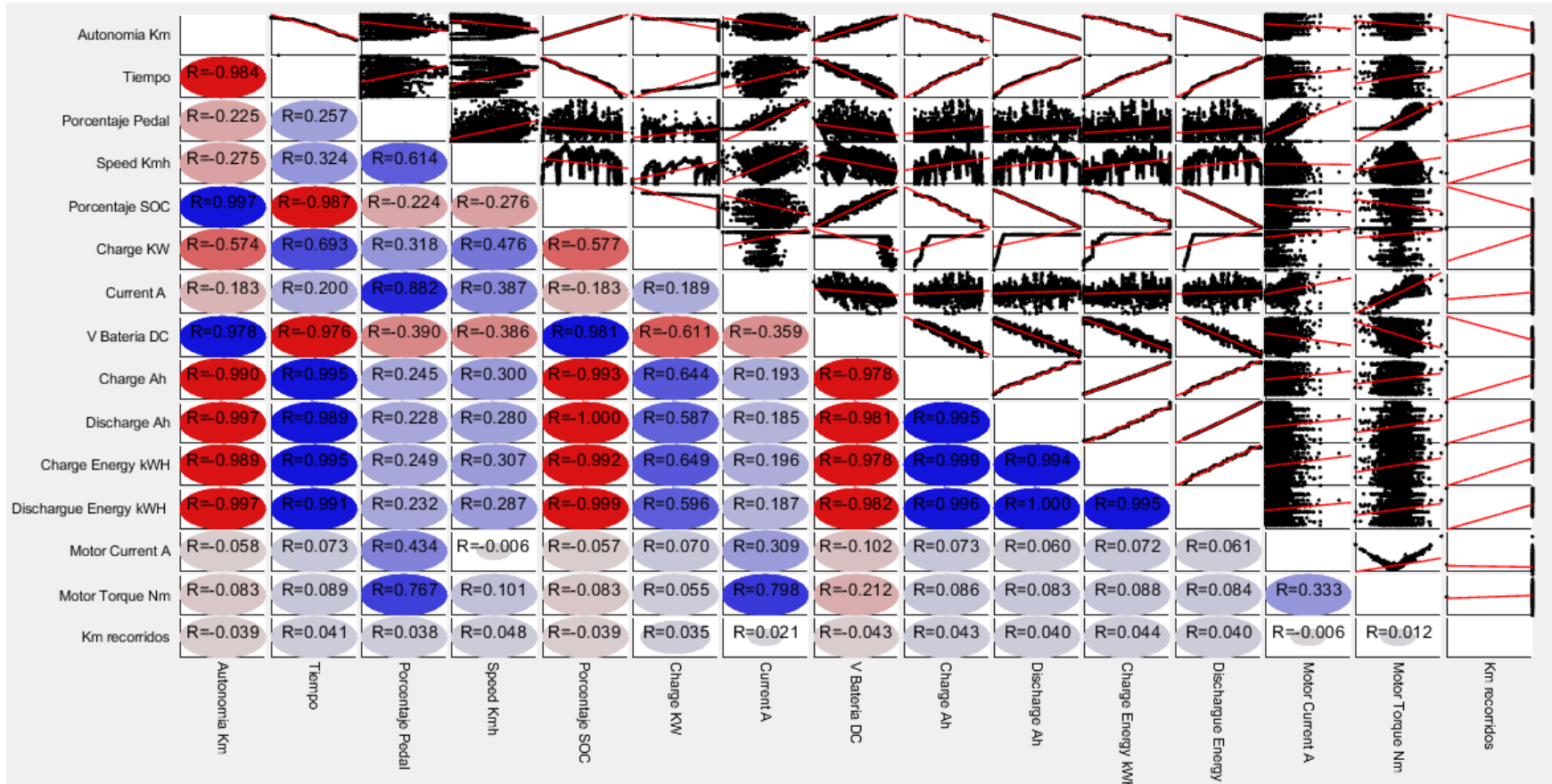


Figura 3.7: Correlación de Pearson de la ruta Cuenca-Guayaquil retorno.

Fuente: Autores.



Las variables que tienen mayor repercusión en el consumo de energía en el trayecto Cuenca-Guayaquil en el viaje de retorno se ilustran en la Tabla 3-5.

Tabla 3-5: Variables significativas de la ruta Guayaquil-Cuenca.

Variables	Correlación
Tiempo recorrido ([HH:MM: SS])	-0.984
Porcentaje de SOC ([%])	0.997
Voltaje de la batería (Battery DC Voltage [V])	0.978
Carga acumulativa de energía. (Cumulative Charge Energy [Ah])	-0.99
Descarga acumulativa de corriente. (Cumulative Discharge Current [Ah])	-0.997
Carga Acumulativa de energía. (Cumulative Charge Energy [kWH])	-0.989
Carga acumulativa de energía. (Cumulative Charge Energy [Ah])	-0.997

Fuente: Autores.

3.3.4 Variables de correlación de la ruta Cuenca-Cañar.

Los índices de correlación de Pearson de la ruta Cuenca- Cañar en el trayecto de ida se indican en la Figura 3.8, donde se observa que el tiempo de recorrido es la variable más influyente en el consumo de la autonomía con un coeficiente igual a 0.986.

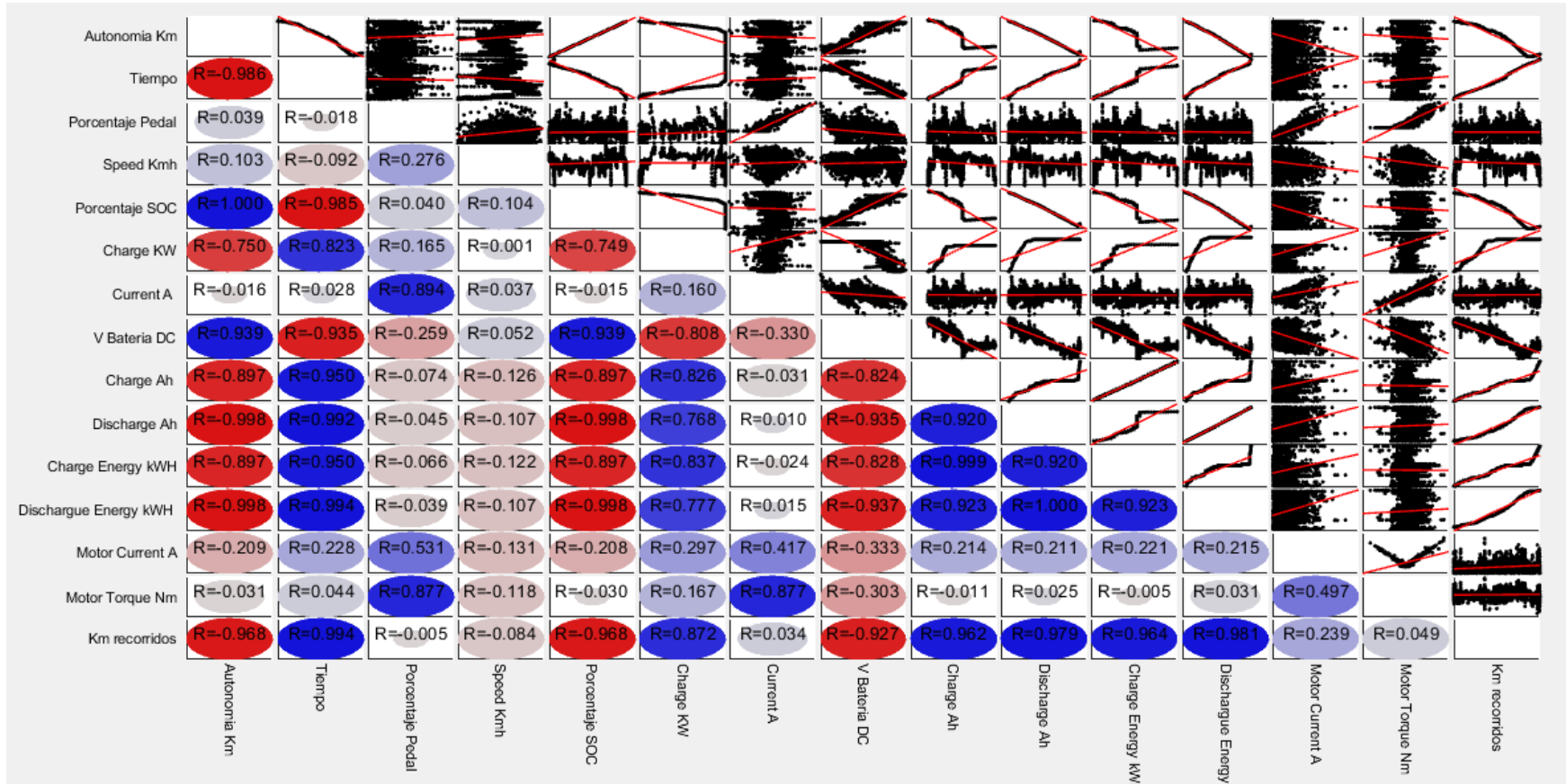


Figura 3.8: Correlación de Pearson de la ruta Cuenca-Cañar ida.

Fuente: Autores.



En la Tabla 3-6 se muestran las variables que tienen mayor incidencia en la disminución de la energía en la ruta Cuenca-Cañar en el viaje de ida.

Tabla 3-6: Variables significativas de la ruta Cuenca-Cañar.

Variables	Correlación
Tiempo recorrido	-0.986
Porcentaje (SOC [%])	1
Voltaje de la batería (Battery DC Voltage [V])	0.939
Carga acumulativa de energía. (Cumulative Charge Energy [Ah])	-0.897
Descarga acumulativa de corriente. (Cumulative Discharge Current [Ah])	-0.998
Carga Acumulativa de energía. (Cumulative Charge Energy [kWH])	-0.897
Motor Torque Command [Nm]	-0.998
Km recorridos	0.968

Fuente: Autores.

El comportamiento de las variables de la prueba experimental de la ruta Cuenca- Cañar con respecto a la autonomía del automóvil en km se muestran a continuación en la Fig. 3.9.

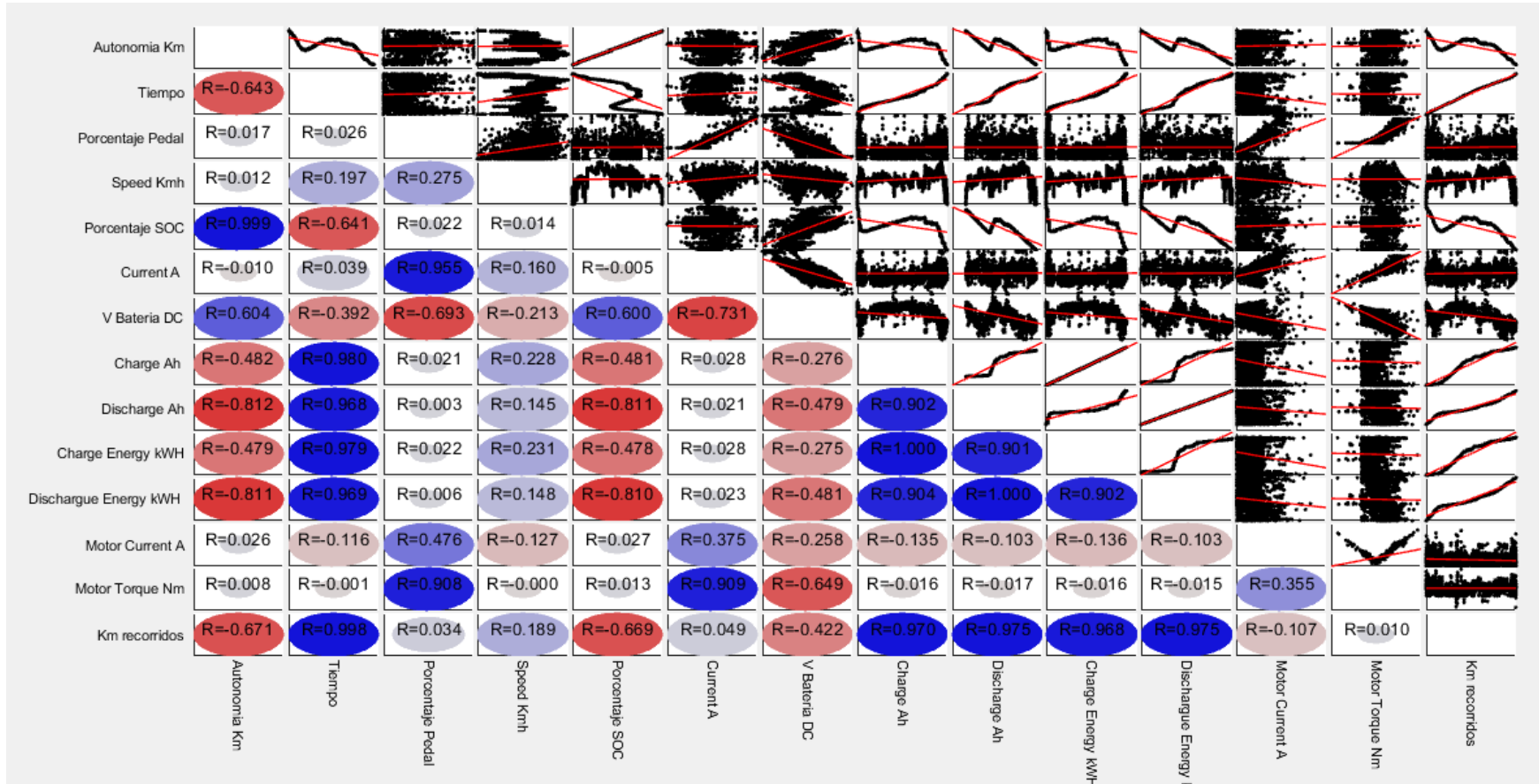


Figura 3.9: Resultado correlación de la ruta Cuenca-Cañar viaje de regreso.

Fuente: Autores.



En la Tabla 3-7 se muestran las variables que tienen mayor efecto en el consumo de energía de las baterías del automóvil en la ruta Cuenca-Cañar en el viaje de regreso.

Tabla 3-7: Variables significativas de la ruta Cuenca-Cañar.

Variables	Correlación
Porcentaje de SOC ([%])	0.999
Descarga acumulativa de corriente. (Cumulative Discharge Current [Ah])	0.812
Descarga Acumulativa de energía. (Cumulative Charge Energy [kWH])	0.811

Fuente: Autores.

3.3.5 Variables de correlación de la ruta Cuenca-Loja

En la Figura 3.10, se muestran los índices de correlación de Pearson de la ruta Cuenca-Loja en el trayecto de ida, donde se puede observar que las variables: “*tiempo de recorrido*, *Descarga acumulativa de corriente. (Cumulative Discharge Current [Ah])* y *Descarga Acumulativa de energía. (Cumulative Discharge Energy [kWH])*, poseen una alta correlación negativa con índices de correlación superiores a 0.9.

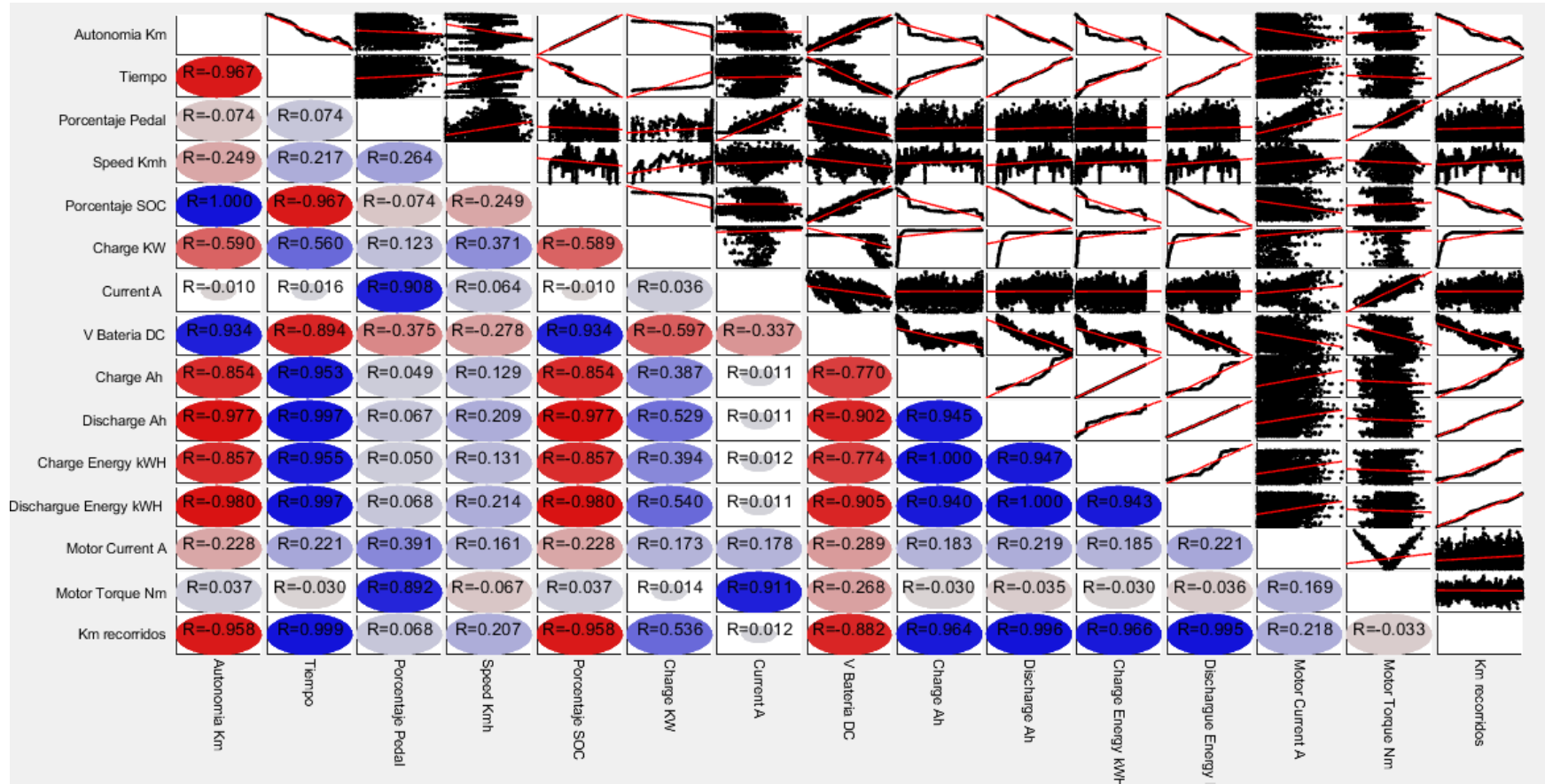


Figura 3.10: Resultado correlación de la ruta Cuenca-Loja.

Fuente: Autores.



En la Tabla 3-8 se indican los parámetros que presentan mayor índice de correlación y por lo tanto efecto en el consumo de energía en la ruta Cuenca-Loja en el viaje de ida, esta ruta tiene el mayor recorrido en comparación a todas las rutas.

Tabla 3-8 Variables significativas de la ruta Cuenca-Loja.

Variables	Correlación
Tiempo recorrido ([HH:MM:SS])	-0.967
Porcentaje de SOC ([%])	1.000
Voltaje de la batería (Battery DC Voltage [V])	0.934
Carga acumulativa de energía. (Cumulative Charge Energy [Ah])	-0.854
Descarga acumulativa de corriente. (Cumulative Discharge Current [Ah])	-0.977
Carga Acumulativa de energía. (Cumulative Charge Energy [kWH])	-0.857
Descarga Acumulativa de energía. (Cumulative Discharge Energy [kWH])	-0.980
Km recorridos ([km])	-0.958

Fuente: Autores.

3.4 VARIABLES DE ESTUDIO

El análisis de los coeficientes de correlación de Pearson da como resultado las variables que influyen significativamente en el comportamiento con respecto al consumo de energía del automóvil.

Una vez realizada la correlación de todas las variables de las distintas rutas con respecto a la autonomía del automóvil (SOC Display → [km]) se obtiene la Tabla 3-9, en la cual se muestran las variables que poseen mayor influencia en la disminución de la autonomía del automóvil.



Tabla 3-9 Variable más influyentes en el comportamiento de automóvil.

Variables influyentes
Tiempo de recorrido [HH:MM: SS]
Porcentaje de SOC ([%])
Voltaje de la batería DC V].
Carga Acumulativa de energía [kWH]
Carga Acumulativa de energía [kWH]
Carga acumulativa de energía [Ah]
Descarga acumulativa de corriente [Ah].
Distancia recorrida [Km].

Fuente: Autores



Capítulo 4

4 OBTENCIÓN DE BASE DATOS MEDIANTE PRUEBAS EXPERIMENTALES A TRAVÉS DE SOFTWARE EMOLAB.

En este capítulo se trata sobre el comportamiento del automóvil eléctrico para las diferentes rutas de estudio, para lo cual se realiza un análisis previo a los datos recopilados con el programa Emolab 2.0.1 para generar la base de datos.

Con las muestras que se obtiene de las diferentes pruebas experimentales que se realizaron en las rutas se analiza la información y se indica de forma gráfica el comportamiento de las variables del automóvil eléctrico con respecto a la autonomía de este.

4.1 BASE DATOS

La plataforma Emolab entrega un grupo de datos que muestra el desempeño en tiempo real del automóvil eléctrico, los datos permiten observar el cambio que tienen cada una de las variables influyentes en el funcionamiento. Los datos obtenidos directamente del software se muestran en la Fig. 4.1.



Time [HH:MM:SS]	SOC [%]	Battery DC V	Cumulative (	Cumulative (	Cumulative (	Cumulative (	Odometer [k	SOC Display [%]
9:38:58	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:38:59	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:00	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:01	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:02	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:03	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:04	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:05	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:06	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:07	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:08	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:09	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:10	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:11	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:12	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:13	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:14	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:15	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:16	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:17	94,50	395,20	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50
9:39:18	94,50	395,20	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	99,50

Figura 4.1: Base de datos original.

Fuente: autores

Debido al formato de algunos datos obtenidos resulta necesario realizar una transformación para poder analizarlos, estos datos son:

El tiempo recorrido. _ Para obtener el tiempo real de recorrido se realiza la transformación de la variable Time [HH:MM:SS] de la base de datos del software Emolab, ya que esta variable indica la variación de tiempo real y en el estudio interesa el tiempo de duración del recorrido por lo que se resta la hora actual menos la hora de inicio de la ruta.

Autonomía en km._ Para poder determinar la autonomía es necesario transformar la variable del porcentaje *SOC Display* del conjunto de datos que entrega el programa debido a que esta información indica en porcentaje la autonomía del automóvil, se realiza una multiplicación de la variable por el factor 140/100, con esto se obtiene la autonomía en km.

Distancia recorrida. _ Para poder obtener la distancia del recorrido se realiza la transformación de la variable Odometer [Km] de la base de datos del software Emolab ya que esta indica el cambio en km recorridos según el odómetro del automóvil, a este



valor se resta el kilometraje de inicio de la prueba experimental lo que da como resultado la distancia recorrida.

Con las variables ya transformadas se procede a realizar el análisis y determinar el comportamiento del automóvil para las diferentes rutas de interconexión provincial, quedando la base de datos como se muestra en la Figura 4.2.

Time [HH:MM:S tiempo recorrid	SOC [%]	Battery DC V	Cumulative (	Cumulative (	Cumulative (	Cumulative (	Odometer [Km] km recorridos	SOC Display [%] km disponibles			
9:38:58	0,00000	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:38:59	0,00001	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:00	0,00002	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:01	0,00003	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:02	0,00005	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:03	0,00006	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:04	0,00007	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:05	0,00008	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:06	0,00009	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:07	0,00010	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:08	0,00012	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:09	0,00013	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:10	0,00014	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:11	0,00015	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:12	0,00016	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:13	0,00017	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:14	0,00019	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:15	0,00020	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:16	0,00021	94,50	395,40	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:17	0,00022	94,50	395,20	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3
9:39:18	0,00023	94,50	395,20	17477,00	17804,50	6416,10	6390,80	28339,10	0,00	99,50	139,3

Figura 4.2: Base de datos de variables influyentes transformada.

Fuente: Autores.

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

El comportamiento de las variables en las rutas experimentales de interconexión interprovincial, se lo determina mediante la gráfica de la variación de la autonomía del V.E vs el tiempo, en la plataforma de Excel, este comportamiento se lo ve a detalle en la Fig. 4.3.

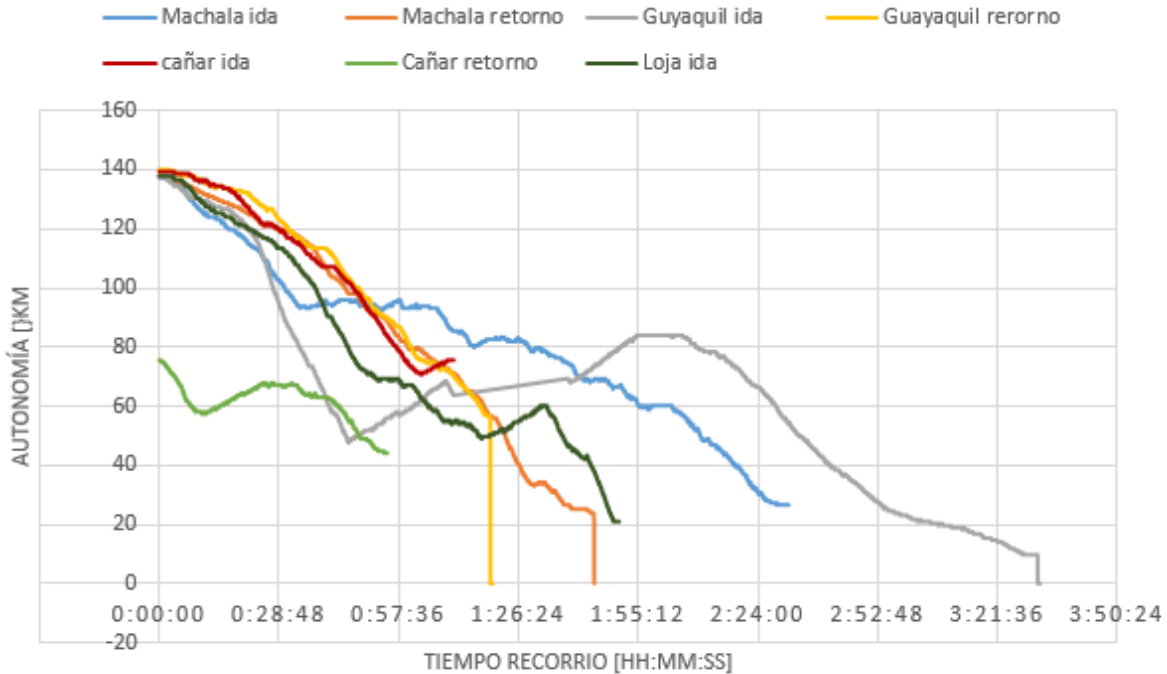


Figura 4.3: Desempeño de la autonomía en las rutas de estudio.

Fuente: Autores.

Con la Figura 4.3 del consumo de la autonomía del V.E, se puede observar que la ruta Cuenca-Guayaquil en el trayecto de ida es la ruta con mayor consumo de energía en un menor tiempo ya que esta posee el mayor porcentaje de pendiente positiva (12,9 %) en su trayecto con respecto a las otras rutas de estudio; sin embargo como la ruta posee pendientes negativas lo cual se muestra en la figura 4.3, el sistema de regeneración de energía permite recuperar el porcentaje de carga y concluir la ruta con éxito.

Como se puede observar en la Figura 4.4 la altimetría es directamente proporcional al consumo de autonomía de automóvil.

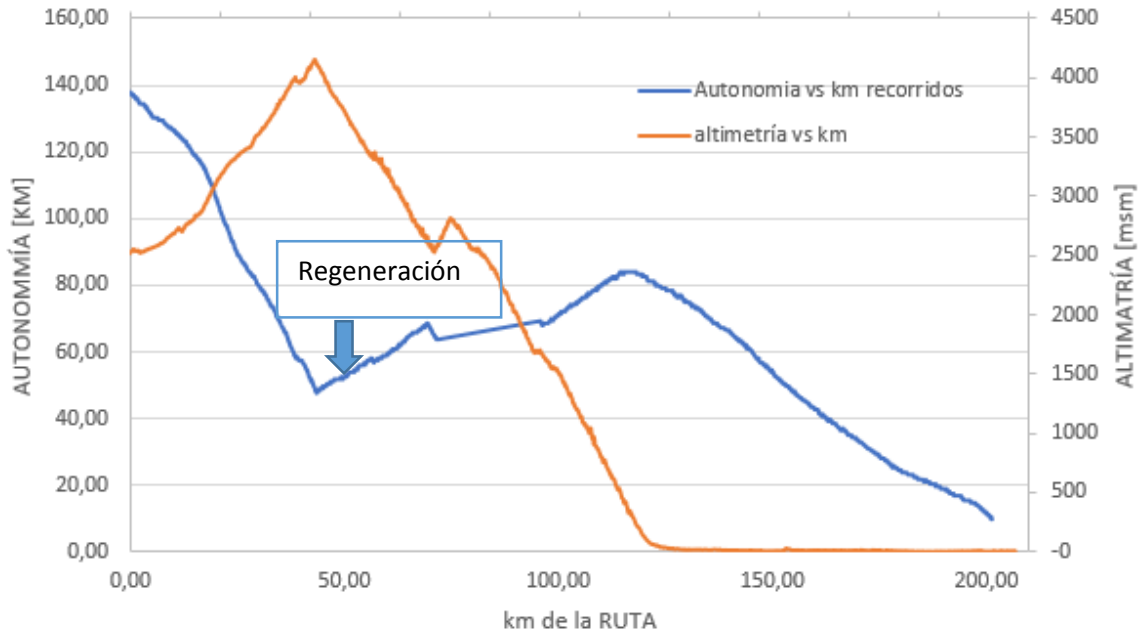


Figura 4.4: Comportamiento de altimetría vs desempeño del automóvil.

Fuente: Autores.

4.3 ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Este análisis se utiliza para pronosticar el cambio de una variable en función de otra, es decir para evaluar el efecto que tienen las variables significativas en la autonomía por este motivo se procede a realizar la regresión múltiple donde el parámetros de dependencia en la regresión es la autonomía, mientras que los parámetros que actúan de forma independiente son: tiempo de recorrido, carga acumulativa de energía, descarga acumulativa de energía, voltaje de la batería DC, descarga acumulativa de corriente, carga acumulativa de corriente distancia recorrida, el torque del motor, la velocidad y el consumo de la batería

El análisis se realiza en el programa Minitab 18 donde se modela la relación entre los predictores continuos (variables influyentes) y la variable de respuesta (autonomía en km).

En la Tabla 4-1, se muestra el resultado del análisis de varianza que contienen los orígenes de variación (Fuente), los grados de libertad (GL), la suma total de cuadrados (SC), y la media de cuadrados (MC) que permiten determinar si existe una diferencia significativa



con respecto con la autonomía, mientras mayor sea su valor más afectará al resultado de la autonomía..

Así también en la Tabla 4-1 se muestran las estadísticas F que indican si el factor es significativo (Si el valor es alto) y el valor p corrobora este criterio de significancia ya que la mayoría de los valores de p son $< \alpha$ (se compara con $\alpha=0.05$, si el factor es menor es significativo).

Tabla 4-1 Resultado del ANOVA

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	8	2303102	287888	6471119,75	0,000
tiempo min	1	8	8	169,39	0,000
SOC [%]	1	3	3	63,05	0,000
Battery DC Voltage [V]	1	0	0	2,59	0,108
Cumulative Charge Current [Ah]	1	46	46	1042,39	0,000
Cumulative Discharge Current [A]	1	67	67	1504,07	0,000
Cumulative Charge Energy [kWH]	1	1	1	33,04	0,000
Cumulative Discharge Energy [kW]	1	2	2	41,31	0,000
km recorridos	1	2	2	43,40	0,000
Error	4123	183	0		
Total	4131	2303285			

Fuente: Autores.

El resultado del modelo de regresión posee un ajuste adecuado (R-cuad. =99.99%) a los datos y se encuentra representado en la Fig. 4.5.

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,210922	99,99%	99,99%	99,99%

Figura 4.5: Resultado de regresión múltiple.

Fuente: Autores.



4.3.1 Análisis de residuos

El estudio permite verificar si el modelo de regresión es el óptimo, mientras más pequeños sean los residuos el modelo será más eficaz para detallar el comportamiento de la autonomía.

Con este análisis se da validez a las muestras que fueron tomadas aleatoriamente, en la Fig. 4.6 se indica el resultado de los residuos que permite verificar el ajuste del modelo en la regresión.

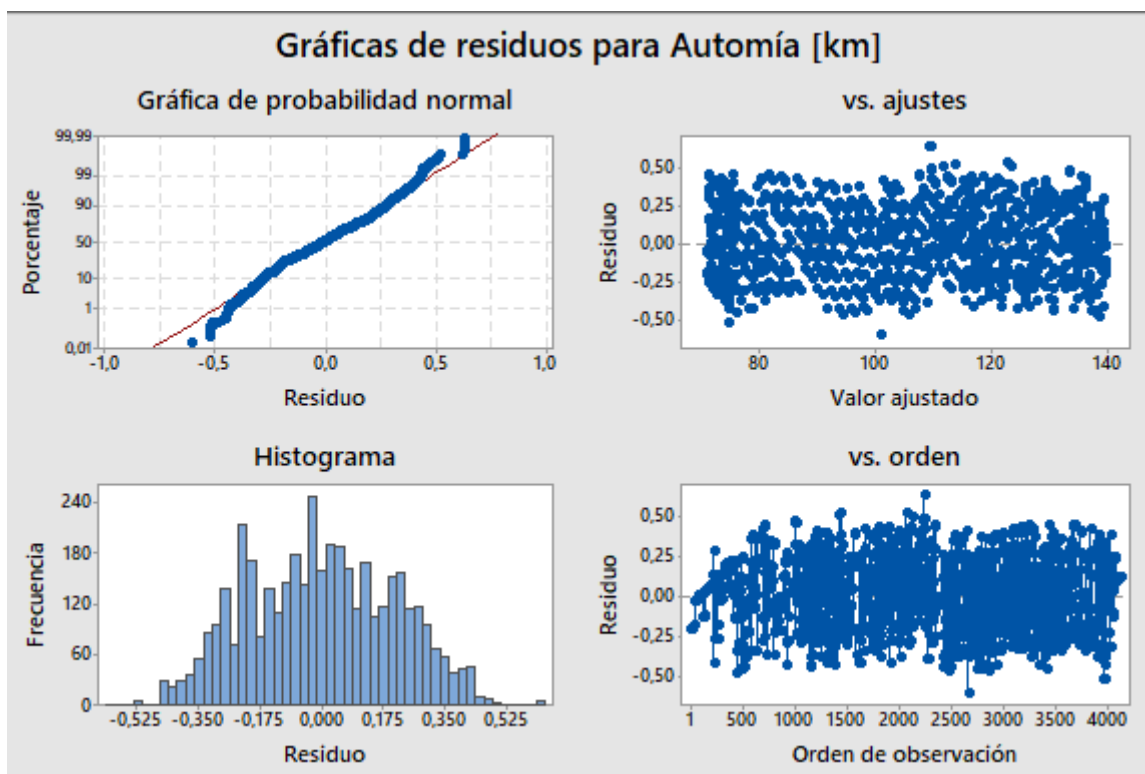


Figura 4.6 Residuos para la Autonomía.

Fuente: Autores.

4.3.1.1 Gráfica de probabilidad normal.

Los puntos de tendencia de la gráfica están situados sobre la línea recta, lo que da validez a los valores del estudio, ya que no se está generando ninguna dispersión significativa y se acepta el supuesto de normalidad.



4.3.1.2 Gráfica de residuos versus valor ajustado.

La gráfica muestra que no existe ningún patrón y los residuos están distribuidos aleatoriamente por encima y debajo de la línea ubicada en cero, de acuerdo con esto se acepta que los datos tienen varianza constante.

4.3.1.3 Histograma de residuos.

La gráfica representa que los datos tienen una distribución normal simétrica ya que estos están situados debajo de la campana Gaussiana y tienen la forma de esta.

4.3.1.4 Residuos versus orden de observación.

Con esta gráfica se corrobora que los datos muestrales son totalmente aleatorios ya que no existen patrones que definan algún comportamiento, verificando con esto que los residuos son independientes y no muestran ninguna tendencia.



Capítulo 5

5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA LA EVALUACIÓN DE LA AUTONOMÍA DEL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO.

Para esta sección se procede a realizar el análisis del comportamiento las variables que conforman la base de datos de forma gráfica, como también de manera estadística para evaluar el comportamiento o incidencia de las variables en el desempeño del automóvil eléctrico.

5.1 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES SIGNIFICATIVAS VS AUTONOMÍA.

5.1.1 Análisis de efectos principales.

Con esto se analiza el cambio que producen las variables en la autonomía si estas cambian su configuración, los efectos de cada factor se muestran en la Figura 5.1 y 5.2.

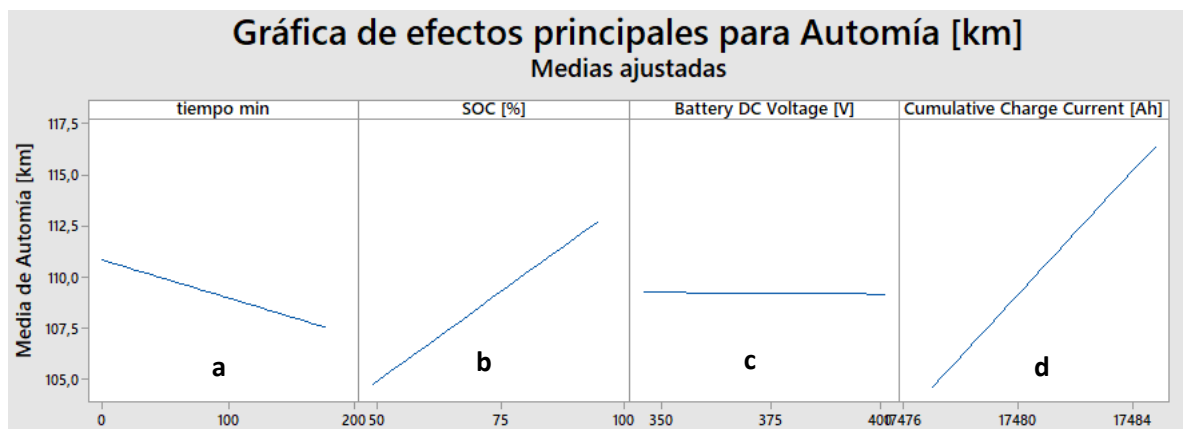


Figura 5.1: Gráfica de efectos principales.

Fuente: Autores.



Los efectos principales que se muestran en la figura 5.1 (a) (b) (d), reflejan que las variables: tiempo de recorrido, el porcentaje de carga y la carga acumulativa de corriente son las variables que tienen mayor incidencia en la disminución de autonomía del automóvil eléctrico, es decir que si se incrementan dichas variables también la autonomía se vería afectada.

Además, la figura 5.1 (c) muestra que el voltaje de la batería tiene pequeños cambios en el consumo de la autonomía es decir si se incrementan esta variable la autonomía no se vería afectada significativamente.

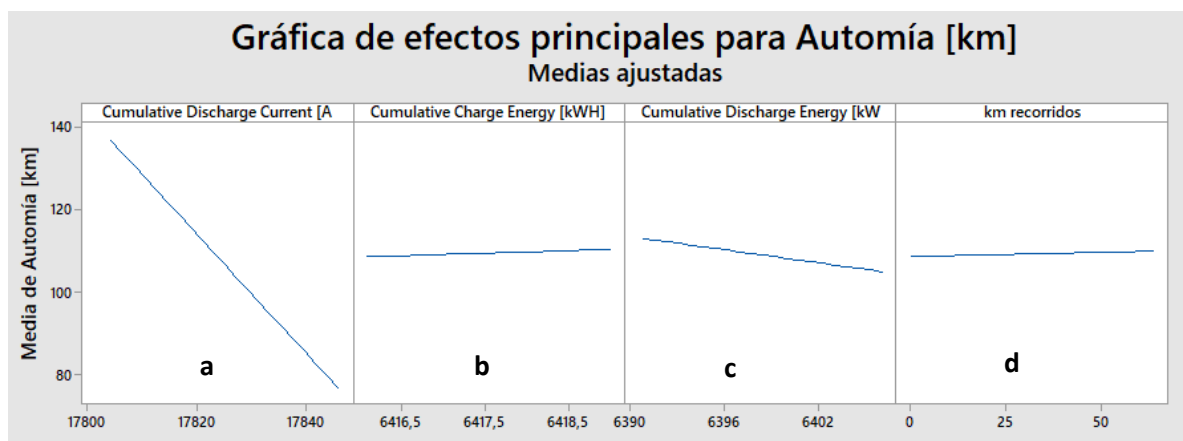


Figura 5.2: Gráfica del comportamiento de los efectos principales.

Fuente: Autores.

La Fig. 5.2 (a) muestra que la descarga acumulativa de corriente es la que tiene mayor incidencia en la autonomía ya que esta disminuye, como también la carga acumulativa de energía (Figura 5.2 (b)), la descarga acumulativa de energía (Figura 5.2 (c)) y los kilómetros recorridos (Figura 5.2 (d)) afectan a la autonomía.

5.1.2 Análisis del comportamiento de variables.

Mediante este estudio se determina cómo se comportan las variables significativas en comparación con la autonomía del automóvil.

En la Figura 5.3 se observa que la autonomía decrece proporcionalmente a medida que el tiempo aumenta

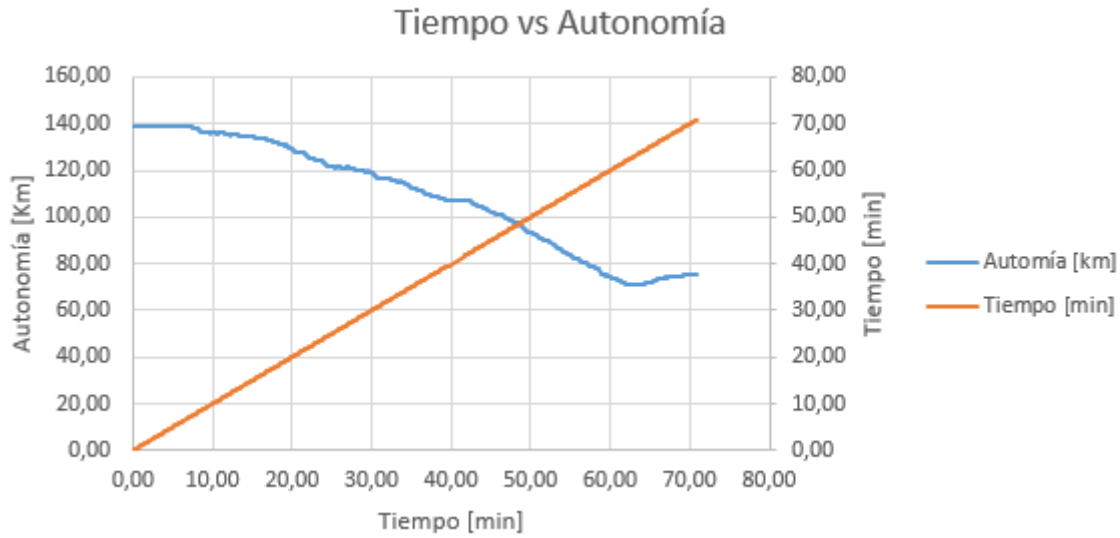


Figura 5.3: Comportamiento del tiempo respecto al rendimiento del automóvil.

Fuente: Autores.

La autonomía en relación al voltaje de la batería es directamente proporcional, con lo que se concluye que mientras menor sea el voltaje mayor es el consumo de autonomía como se ilustra en la figura 5.4

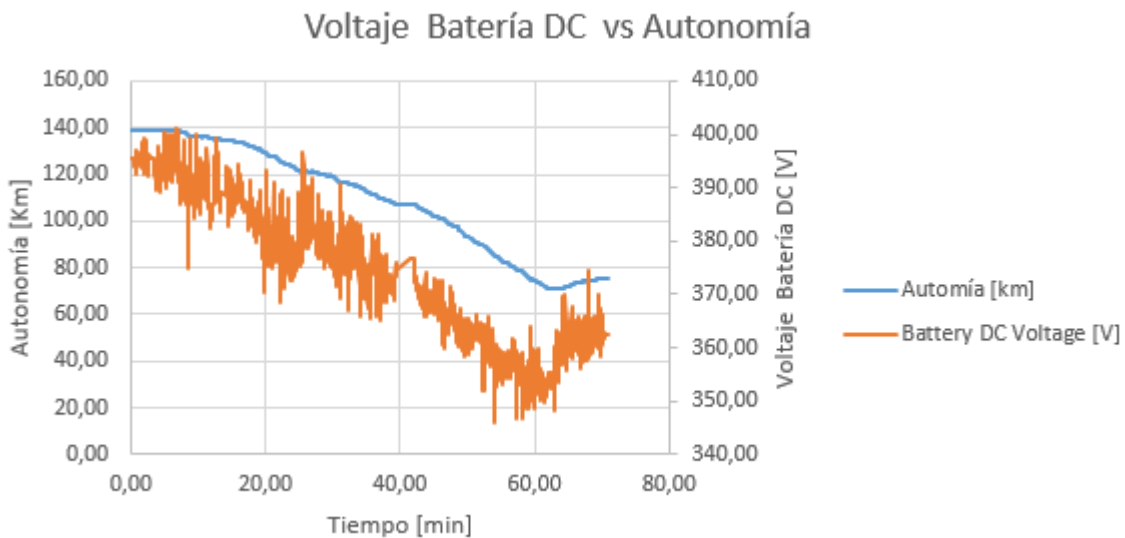


Figura 5.4: Comportamiento del voltaje batería DC vs consumo de energía.

Fuente: Autores.



De acuerdo con la figura 5.5 la autonomía decrece proporcionalmente a medida que la carga acumulativa aumenta.

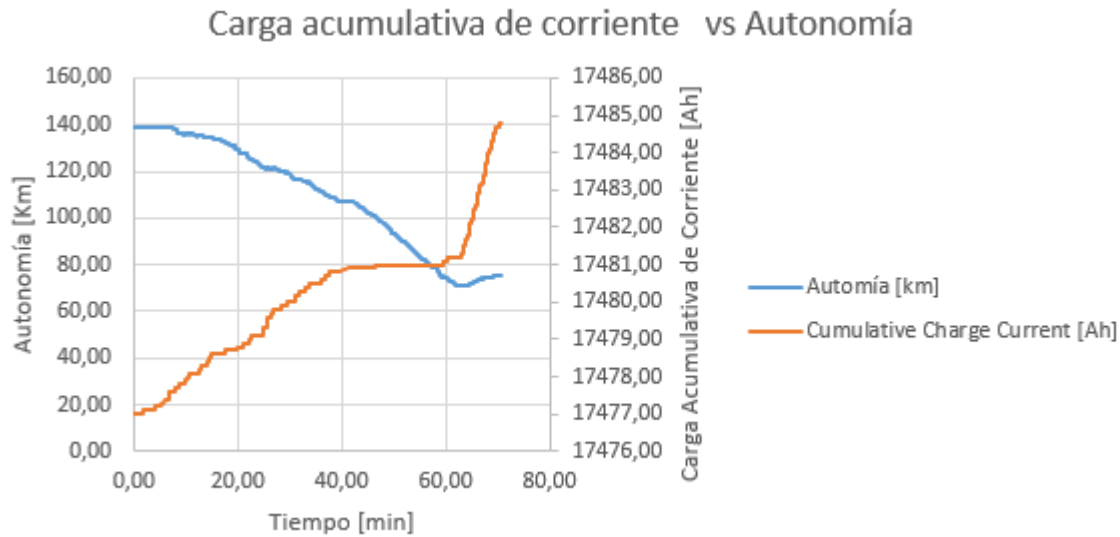


Figura 5.5: Comportamiento de la carga acumulativa de corriente.

Fuente: Autores.

Con la Fig. 5.6 se deduce que la autonomía decrece proporcionalmente a medida que la descarga acumulativa se incrementa.

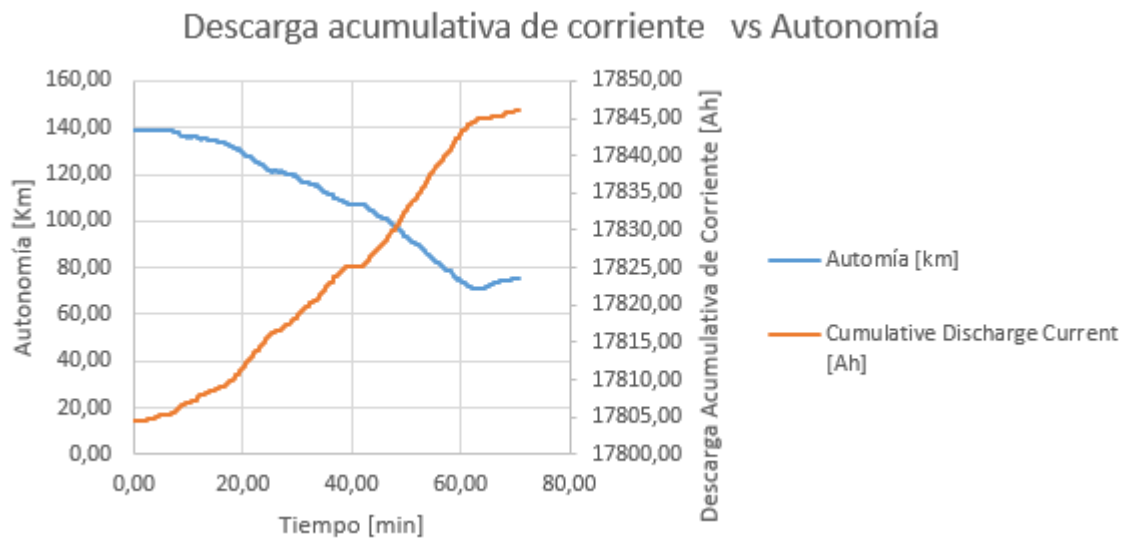


Figura 5.6: Comportamiento de la descarga acumulativa de corriente.

Fuente: Autores.



Las variables: *carga acumulativa de energía* y *descarga acumulativa de energía*, tienen un comportamiento similar a la *carga acumulativa de corriente* y *descarga acumulativa de corriente* respectivamente.

La figura 5.7 ilustra cómo cambia la autonomía con respecto a los km recorridos, con lo que se concluye que mientras mayor sea el recorrido el consumo de autonomía aumenta.

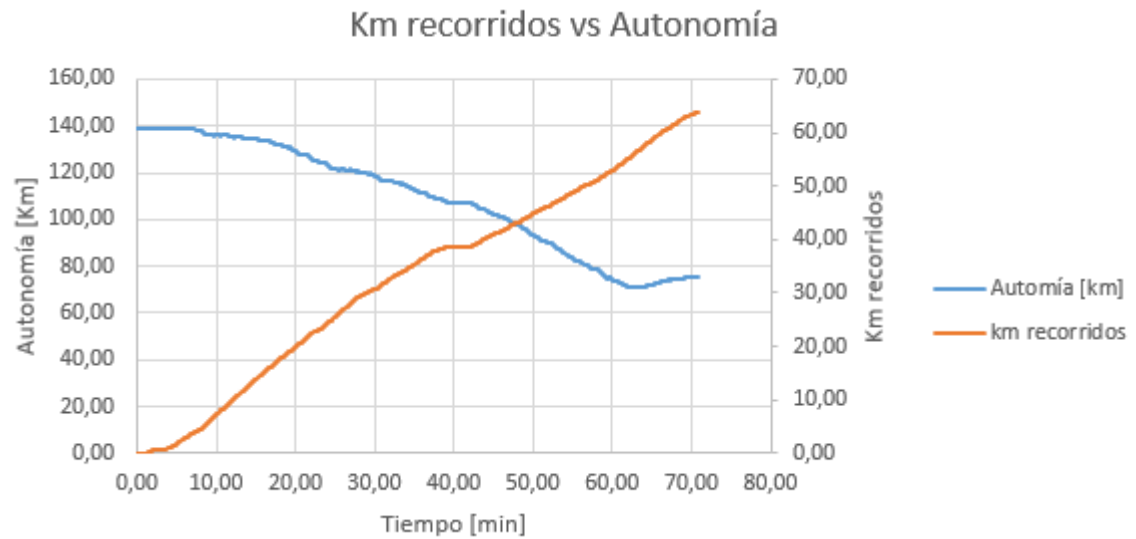


Figura 5.7: Comportamiento de los km recorridos.

Fuente: Autores.



CONCLUSIONES

- El desarrollo del “Estado del arte” ayudó a conocer el funcionamiento del automóvil eléctrico y sus dependencias energéticas para poder evaluar su comportamiento en rutas de interconexión provincial y con esto el automóvil eléctrico pueda ser parte del mercado automotriz en el país.
- Para delimitar las rutas de interconexión provincial se tomaron en consideración variables como: congestión vehicular, factores climáticos, porcentaje de inclinación (pendiente), las cuales valieron para delimitar las rutas de interconexión provincial.
- El análisis de los índices de correlación de Pearson dio como resultado las variables que influyen en el consumo de autonomía, siendo estas: tiempo de recorrido (s), porcentaje de SCO (%), voltaje de la batería DC(V), carga acumulativa de corriente (Ah), descarga acumulativa de corriente (Ah), carga acumulativa de energía (Kwh), descarga acumulativa de energía (Kwh) y distancia de recorrido (km)
- Al determinar las variables más significativas en la autonomía se procedió a generar una base de datos y se realizó un análisis de residuos donde se pudo verificar que las variables obtenidas como significativas siguen el comportamiento normal de autonomía de esta manera se validan los resultados obtenidos.
- Mediante el análisis de efectos principales, se determina que las variables que más influyen en la autonomía son: la descarga acumulativa de corriente y la distancia recorrida, convirtiéndose en causas para que el automóvil eléctrico no pueda cubrir algunas de las rutas de interconexión en la actualidad, pero con la implementación de electrolineras a 100 km de distancia sería posible que el automóvil eléctrico pueda cubrir todas las rutas.
- La autonomía del automóvil eléctrico se incrementa cuando en el recorrido de la ruta existen tramos largos de descenso (pendientes negativas) que permiten que el sistema de regeneración cargue la batería, lo cual hace posible cubrir rutas con mayor distancia de recorrido, al contrario, el consumo de la autonomía se ve afectado significativamente si la ruta posee pendientes positivas de más del 10%.



- Con los resultados obtenidos en el presente proyecto, se llegó a definir el desempeño del automóvil eléctrico en las rutas de interconexión provincial, siendo la descarga acumulativa de corriente y la distancia recorrida las variables que tienen mayor influencia en la autonomía, por estas razones el automóvil puede recorrer rutas de hasta 100 km con perfil de elevación ascendente y rutas de hasta 200 km que posean perfil de elevación con tramos descendentes.



RECOMENDACIONES.

- Se recomienda continuar con la investigación del proyecto acerca del comportamiento del automóvil eléctrico para analizar y elaborar proyectos de implementación de electrolineras en las vías de interconexión provincial.
- Para mejorar la adquisición de datos se debe aumentar la frecuencia de muestreo con el fin de considerar toda la información relevante con cambios instantáneos en el tiempo, se podría considerar una toma directa de las señales con instrumentos de adquisición (DAQ).
- Para estudios posteriores se recomienda realizar el análisis de los datos mediante diferentes métodos como: TreeBagger (árboles de decisión), Random Forest, estos métodos permiten medir la importancia de las variables para determinar la autonomía y se podría verificar si se obtienen mejoras en los resultados con respecto al comportamiento del automóvil eléctrico.



BIBLIOGRAFÍA

- Alguacil, M. (2017). *Renault España*. Obtenido de Corriente Eléctrica: www.renault.es
- Areny, R. P. (2006). *Instrumentos Electrónicos básicos*. España: MARCONBO S.A.
- Augeri, F. (2012). *CISE electrónica*. Obtenido de Estado de carga SOC (State of charge): <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/583-estado-de-carga-soc-state-of-charge.html>
- Bruces, C. (17 de 12 de 2016). *Prezi*. Obtenido de <https://prezi.com/m3ivehyv1c37/estudio-de-la-planimetria-y-altimetria-del-eje-de-la-via/>
- Bueno Juela, J., & Quizpe Sinchire, C. (2017). Determinación de la autonomía real del automóvil eléctrico en la ciudad de Cuenca mediante análisis experimental. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Corp, C. E. (21 de 12 de 2012). *CISNE Electronics*. Obtenido de <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/583-estado-de-carga-soc-state-of-charge.html>
- Delgado, F., & Ochoa, W. (2018). ESTUDIO DE LA AUTONOMÍA DEL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO KIA SOUL APLICANDO MAQUINAS DE SOPORTE VECTORIAL EN LA CIUDAD DE CUENCA. Cuenca: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
- electromovilidad. (18 de 11 de 2017). *electromovilidad*. Obtenido de <http://electromovilidad.net>
- Gil, H. (15 de 11 de 2018). *hibridosyelectricos*. Obtenido de <https://www.hibridosyelectricos.com>
- Guazhambo, D. (2018). Análisis de la influencia de los sistemas de confort de un automóvil eléctrico en la autonomía. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Gutiérrez, J. A. (2013). Automóvil Eléctrico: análisis y prospectiva de factores tecnológicos y económicos . Universidad de Valladolid.
- Inostroza, C. (2016). Estimación y pronóstico en línea del estado de carga de baterías ión-litio en bicicletas eléctricas basado en filtro de partículas. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Javier, R. G. (2018). Diseño de un un sistema regenerativo de carga para bateías con paneles solares para el automóvil eléctrico Kia Soul. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Leal, R. V. (2017). Análisis de la composición de ánodos de zinc para una descarga eficiente en baterías de Zn-aire. Cartagena: Unversidad Politécnica de Cartagena.
- Mapas de Carreteras del Ecuador. (2011). *Ministerio de Transporte y Obras Públicas*. Obtenido de <https://www.gifex.com/America-del-Sur/Ecuador/Carreteras.html>



- Ordoñez, C. P. (2011). Estudio de Baterías para Automóviles Eléctricos. Madrid: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.
- Pérez, J., & Yorly, W. (2016). Sistemas de gestión de carga para baterías de Ion-Litio. Bogotá: Departamento de electrónica.
- Peugeot. (14 de 03 de 2019). *Peugeot*. Obtenido de <https://www.peugeot.es/que-es-un-coche-electrico.html>
- Pilatuña, S. N. (2018). Diseño de una estrategia de gestión energética para un sistema de almacenamiento de energía eléctrica de una plataforma robótica usada para la identificación de sustancias explosivas. SANGOLQUI: ESPE.
- Sarmiento, C. A. (2014). Análisis situacional de la calidad de servicio del transporte terrestre público convencional urbano de pasajeros para plantear propuestas de mejora en la ciudad de Guayaquil. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Seyed, M. R., Bathaee, M. T., & Golkar, M. A. (2016). Dynamic modeling and nonlinear control of fuel cell vehicles with different hybrid power sources. *ScienceDirect*, páginas 3185-3198.
- UNWTO. (s.f.). *UNWTO*. Obtenido de Organización Mundial del Turismo: <http://media.unwto.org>
- Valera, L. I. (20 de 11 de 2018). *Los automóviles eléctricos*. Obtenido de www.nebrija.com: https://www.nebrija.com/la_universidad/facultades/facultad-artes-letras/actividades/AulaPluriligie/articulos/LoretoRoas-coches-electricos.pdf
- W, W. (2012). *Correlation Coefficient* . Obtenido de Wolfram Research.
- Wei, H., Williard, N., Chen, C., & Pecht, M. (2013). State of charge estimation for electric vehicle batteries using unscented kalman filtering. *ScienceDirect*, páginas 840-847.
- Yisi Lui, Q. S. (2017). A comprehensive review on recent progress in aluminium -air batteries. *ScienceDirect*, 31.



ANEXOS

ANEXO 1. COMPORTAMIENTO DE VARIABLES SIGNIFICATIVAS EN LAS RUTAS DE INTERCONEXION

RUTA CUENCA-GUAYAQUIL IDA

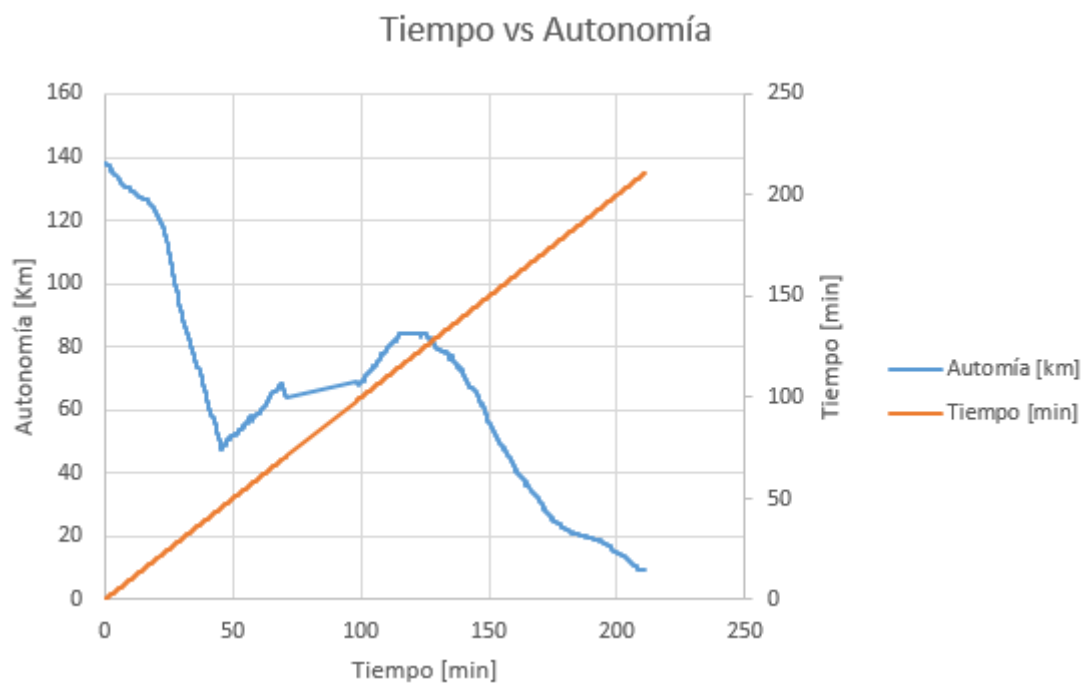


Figura A 1: Tiempo vs autonomía de la ruta Cuenca -Guayaquil viaje de ida

Fuente: autores

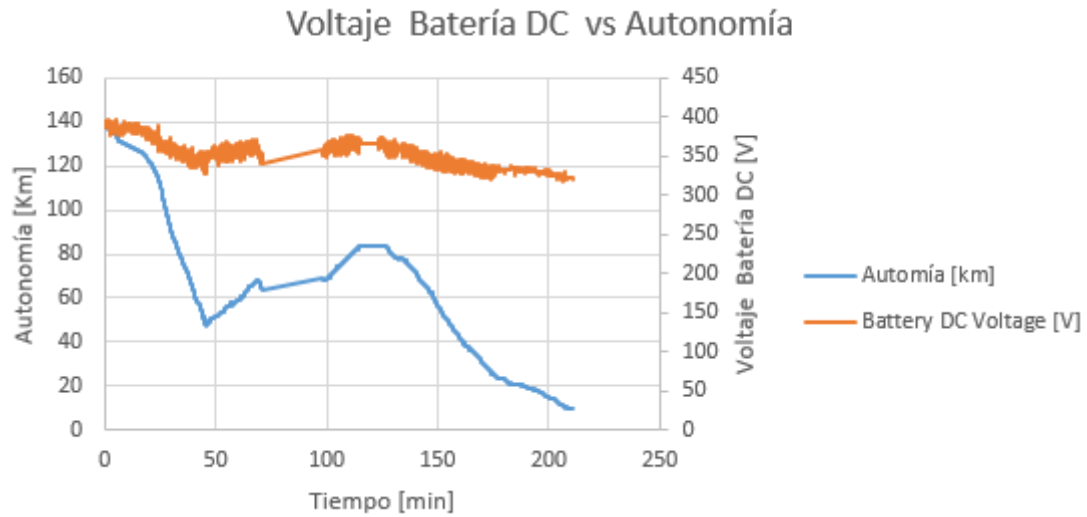


Figura A 2: Voltaje batería DC vs autonomía de la ruta Cuenca -Guayaquil viaje de ida

Fuente: autores

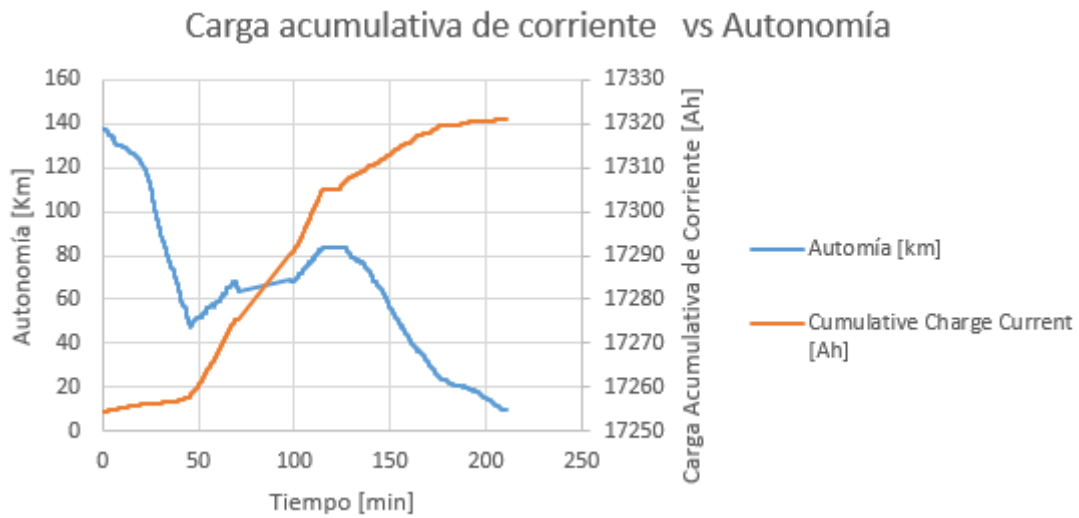


Figura A 3: Carga acumulativa de corriente vs autonomía de la ruta Cuenca -Guayaquil viaje de ida

Fuente: autores



Descarga acumulativa de corriente vs Autonomía

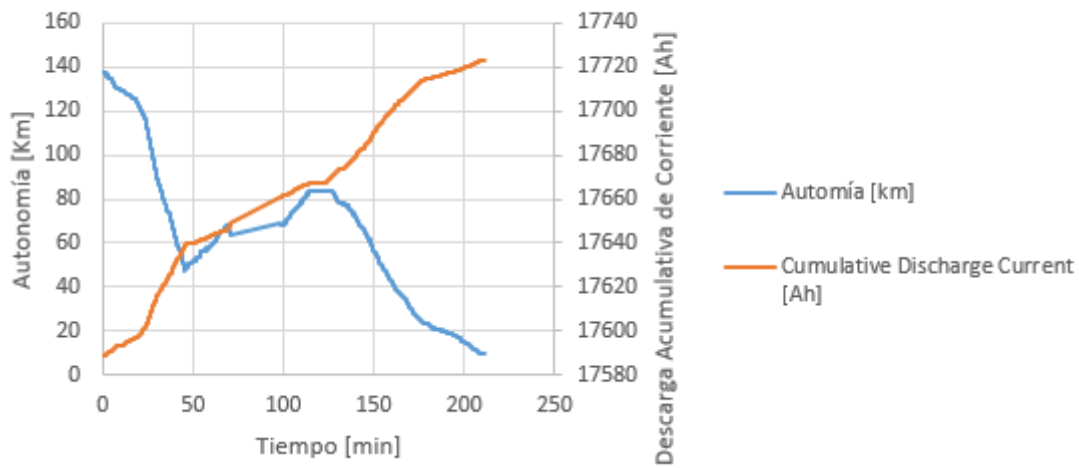


Figura A 4: Descarga acumulativa de energía vs autonomía de la ruta Cuenca -Guayaquil viaje de ida

Fuente: autores

Carga acumulativa de Energía vs Autonomía

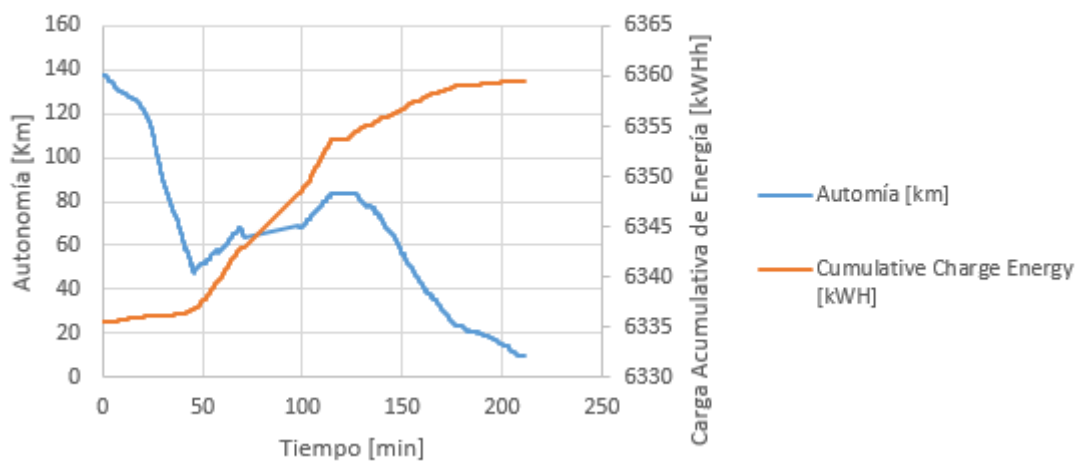


Figura A 5: Carga acumulativa de energía vs autonomía de la ruta Cuenca -Guayaquil viaje de ida

Fuente: autores

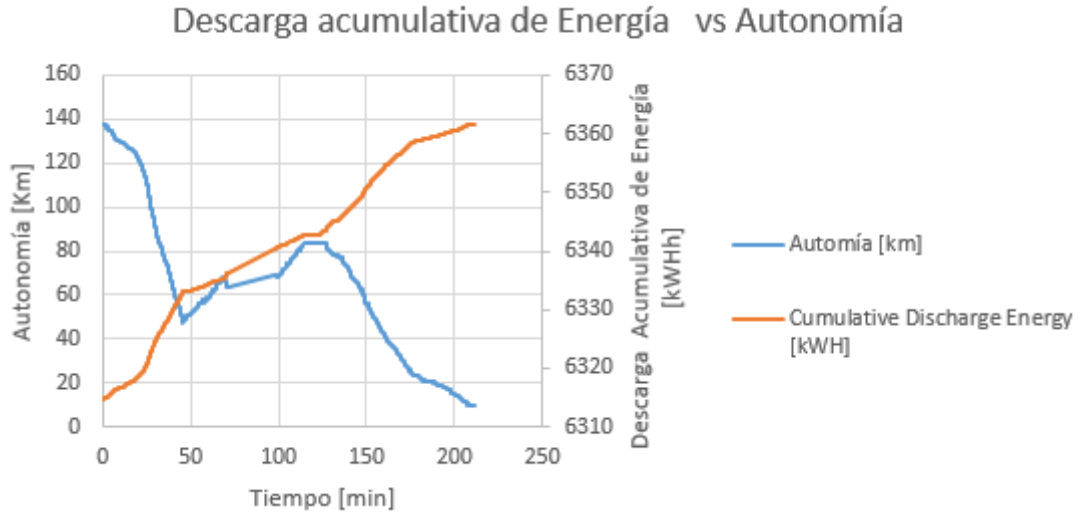


Figura A 6: Carga acumulativa de corriente vs autonomía de la ruta Cuenca -Guayaquil viaje de ida

Fuente: autores

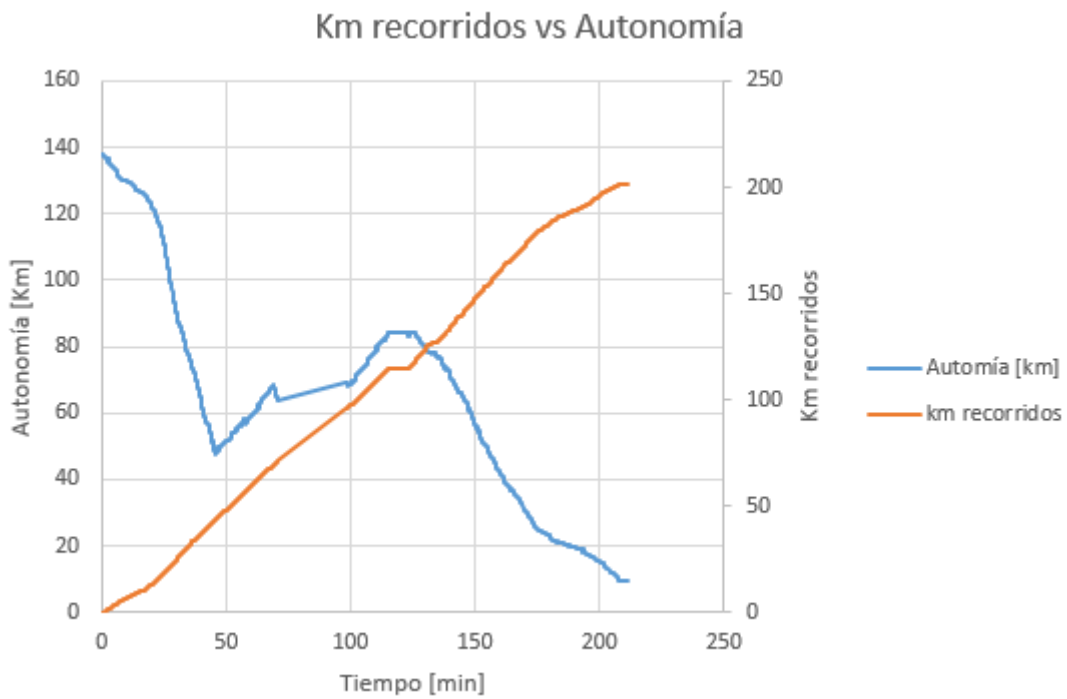


Figura A 7: Distancia recorrida en km vs autonomía de la ruta Cuenca -Guayaquil viaje de ida

Fuente: autores

RUTA CUENCA -GUAYAQUIL RETORNO



Tiempo vs Autonomía

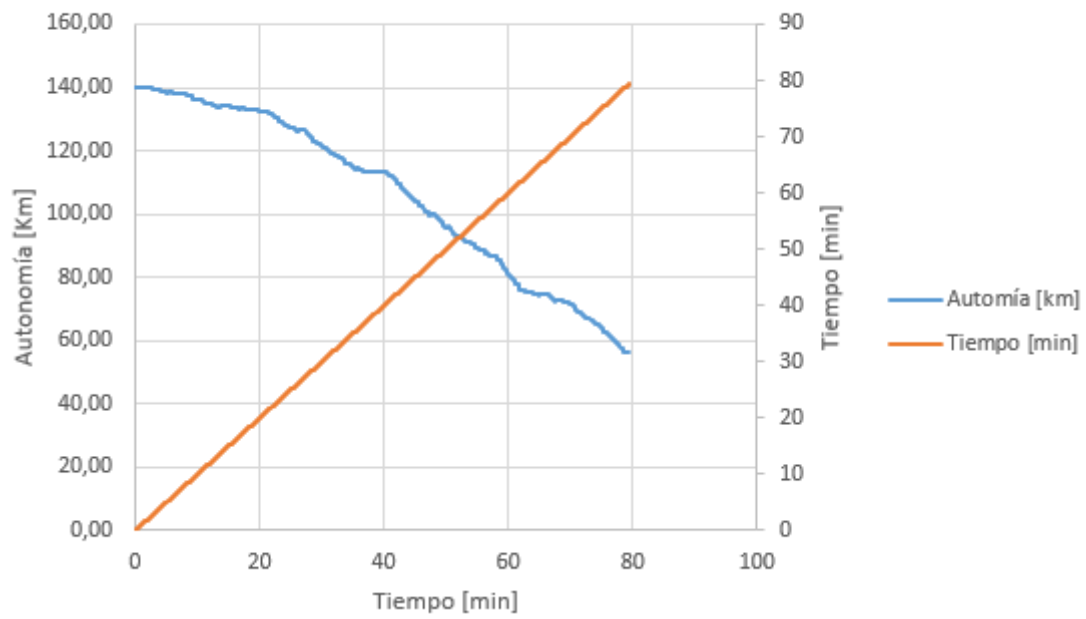


Figura A 8: Tiempo vs autonomía de la ruta Cuenca -Guayaquil viaje de regreso

Fuente: autores

Voltaje Batería DC vs Autonomía

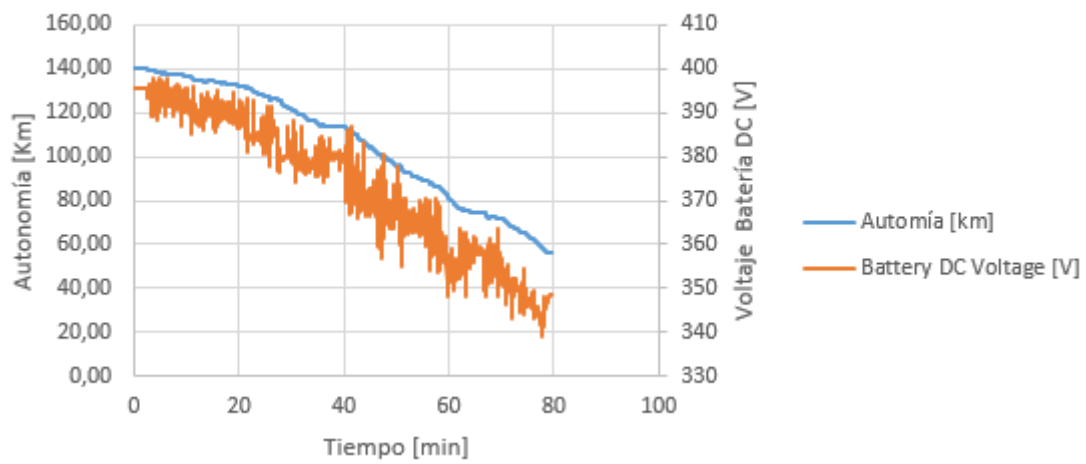


Figura A 9: Voltaje de la batería DC vs autonomía de la ruta Cuenca -Guayaquil viaje de regreso

Fuente: autores

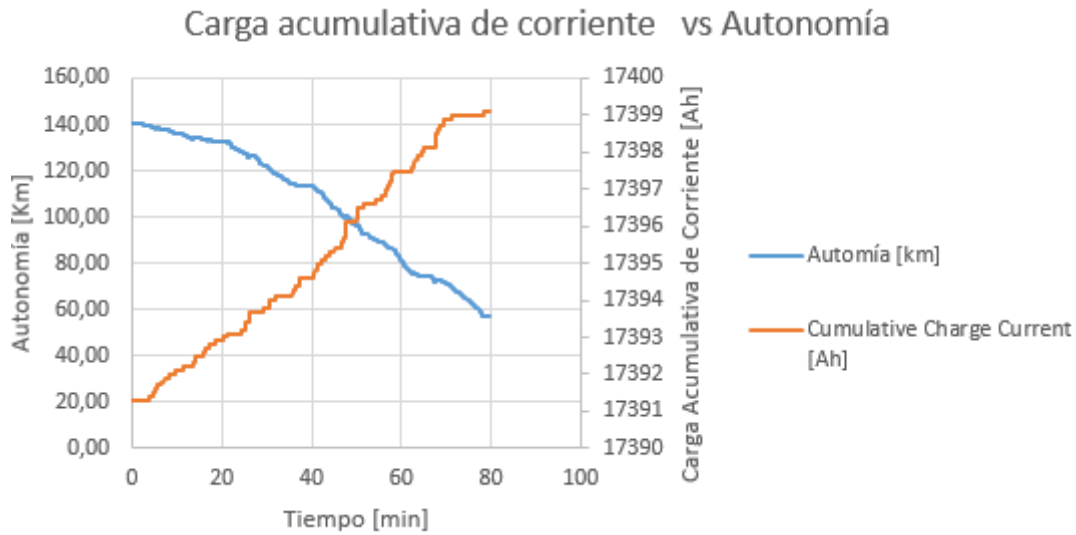


Figura A 10: Carga acumulativa de corriente vs autonomía de la ruta Cuenca -Guayaquil viaje de regreso

Fuente: autores

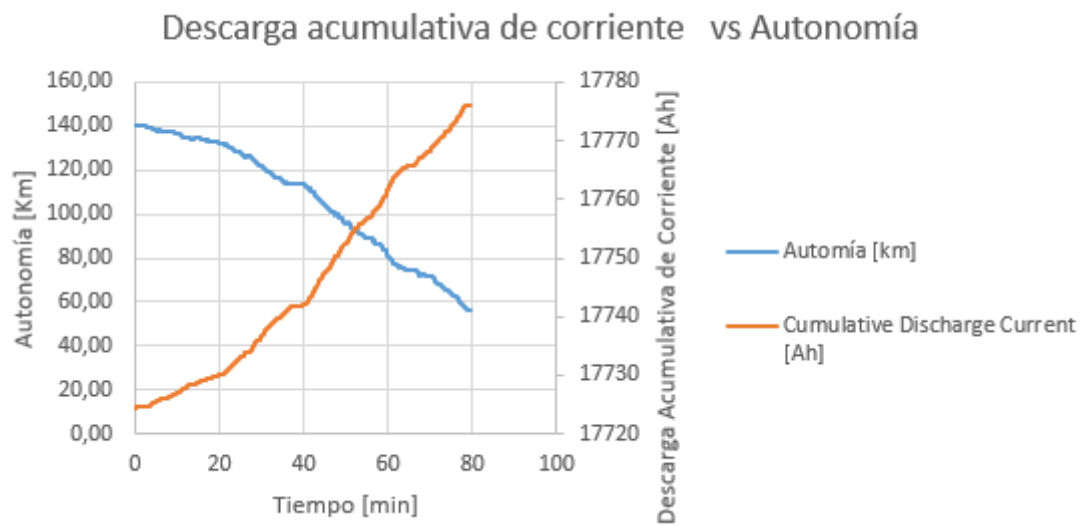


Figura A 11: Descarga acumulativa de corriente vs autonomía de la ruta Cuenca -Guayaquil viaje de regreso

Fuente: autores

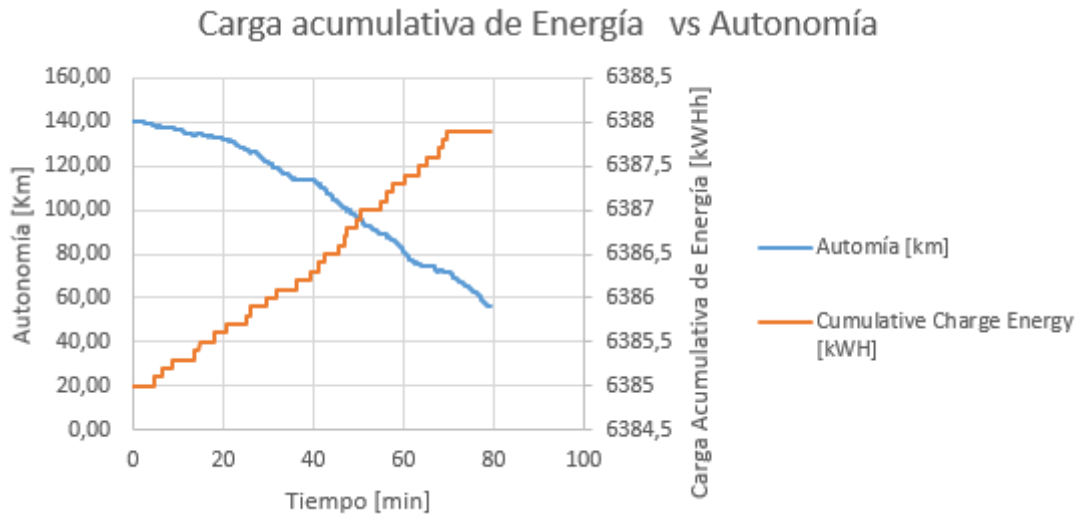


Figura A 12: Carga acumulativa de energía vs autonomía de la ruta Cuenca -Guayaquil viaje de regreso

Fuente: autores

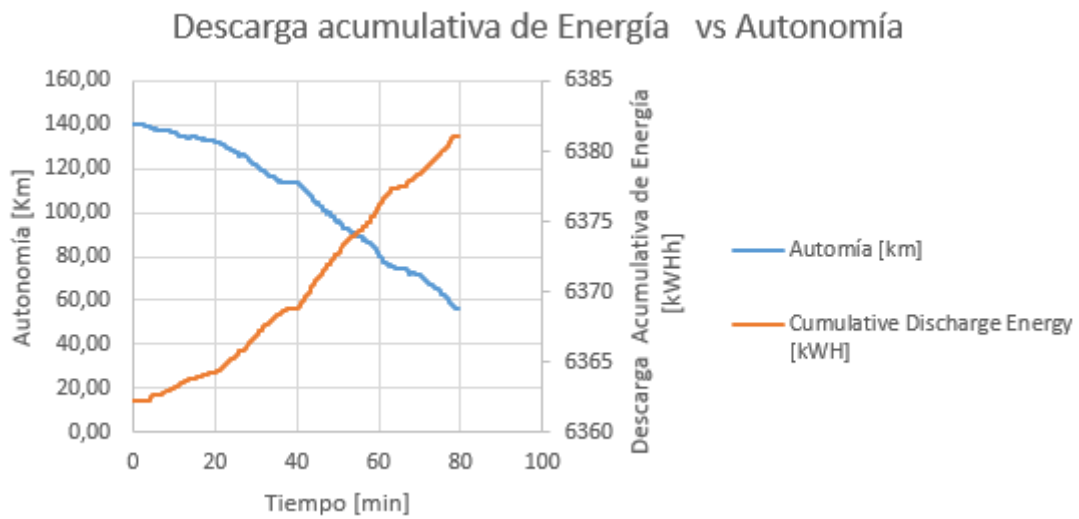


Figura A 13: Descarga acumulativa de energía vs autonomía de la ruta Cuenca -Guayaquil viaje de regreso

Fuente: autores

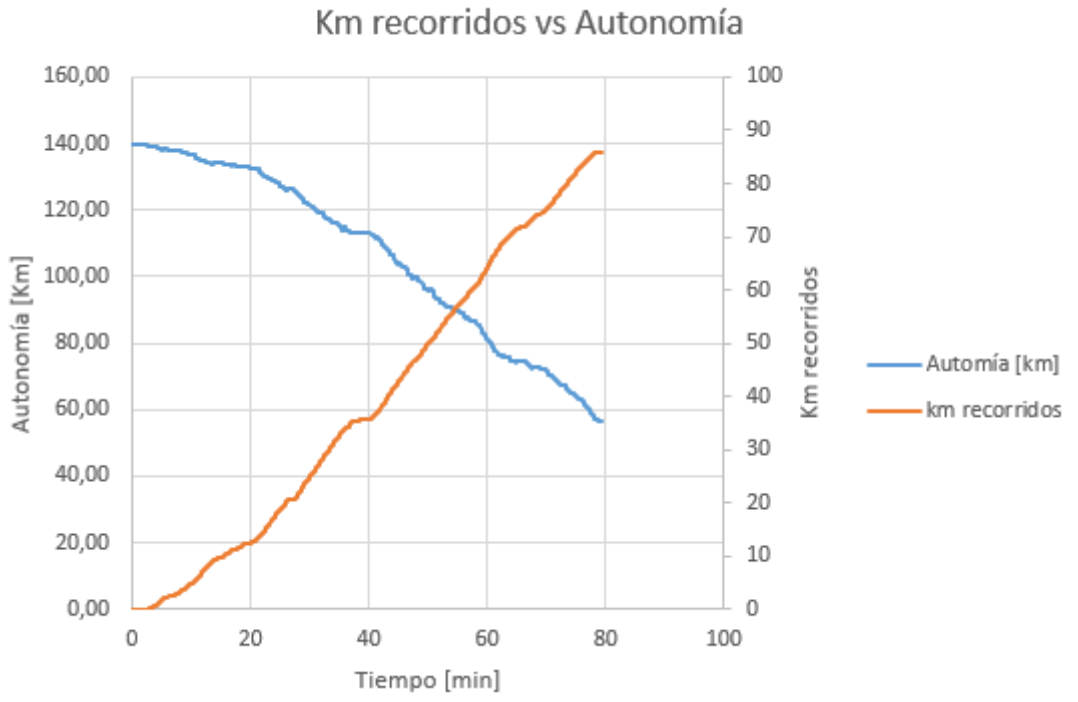


Figura A 14: Distancia recorrida en km vs autonomía de la ruta Cuenca -Guayaquil viaje de regreso

Fuente: autores

RUTA CUENCA-MACHALA IDA

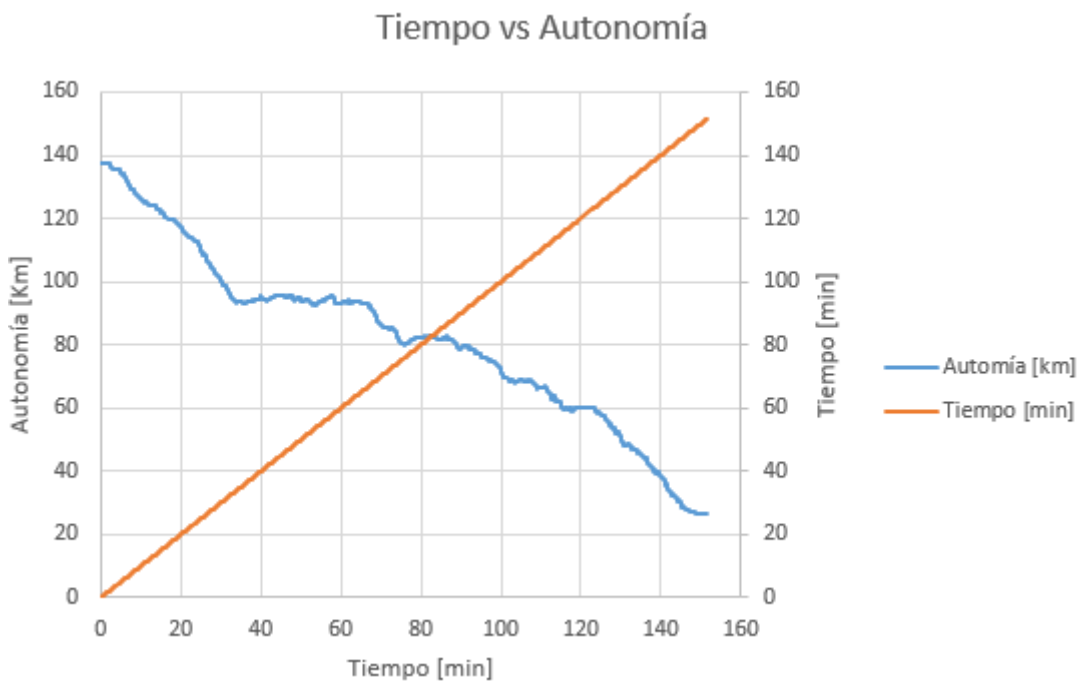


Figura A 15: Tiempo vs autonomía de la ruta Cuenca -Machala viaje de ida

Fuente: autores

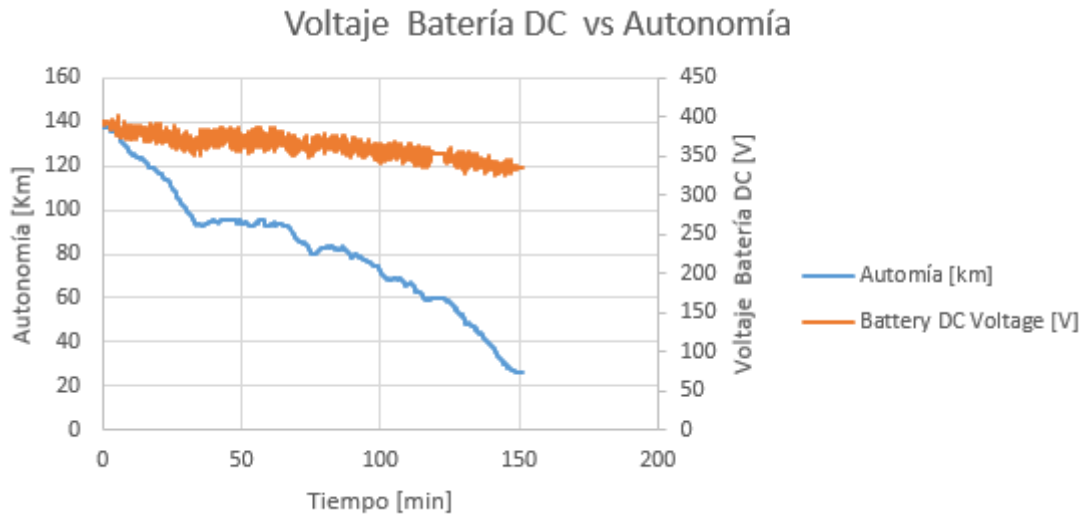


Figura A 16: Voltaje de la batería DC vs autonomía de la ruta Cuenca -Machala viaje de ida

Fuente: autores

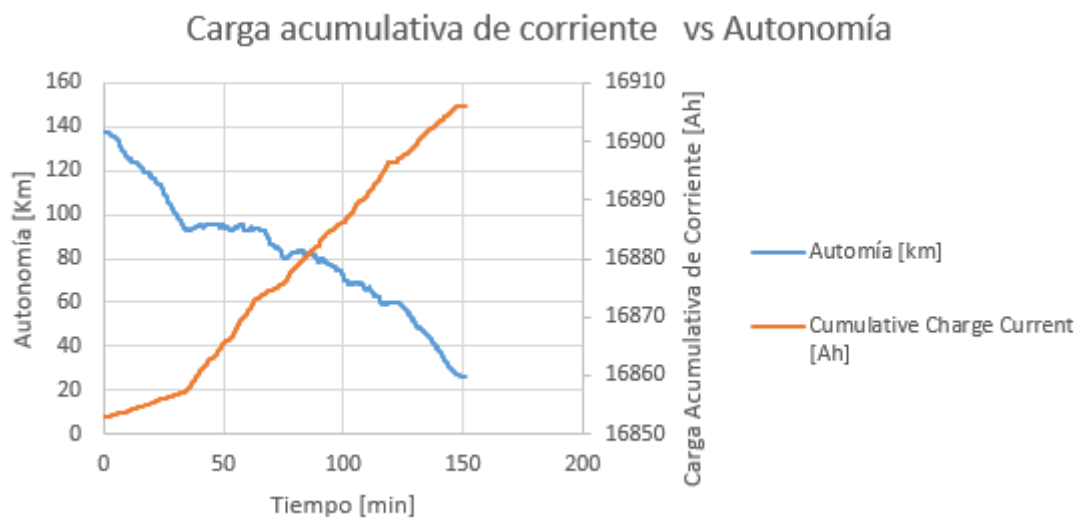


Figura A 17: Carga acumulativa de corriente vs autonomía de la ruta Cuenca -Machala viaje de ida

Fuente: autores

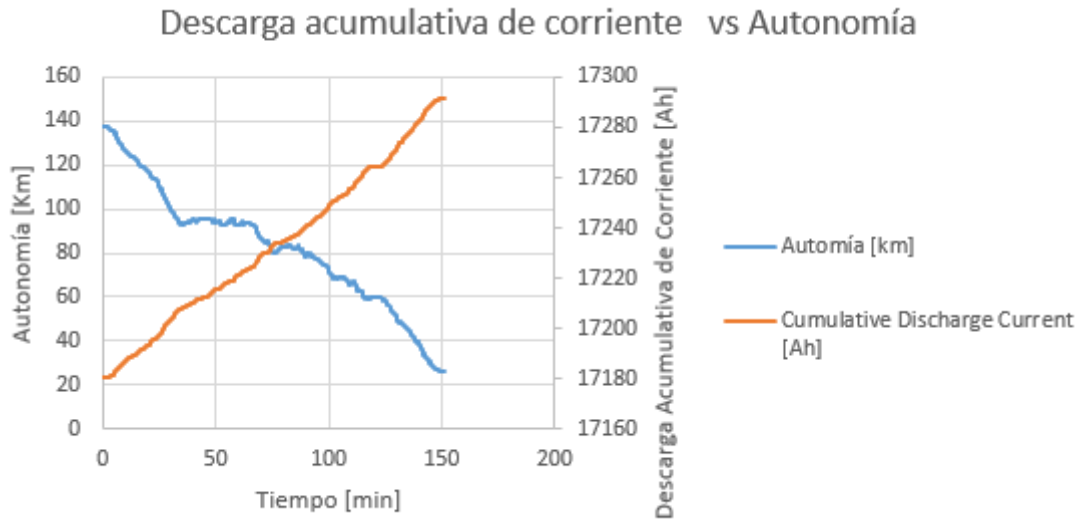


Figura A 18: Descarga acumulativa de corriente vs autonomía de la ruta Cuenca -Machala viaje de ida

Fuente: autores

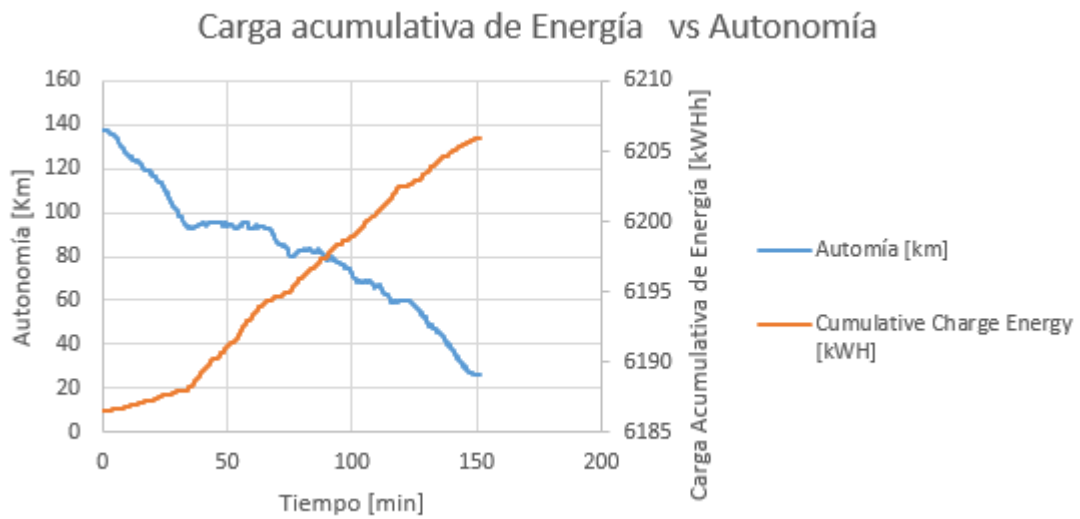


Figura A 19: Carga acumulativa de energía vs autonomía de la ruta Cuenca -Machala viaje de ida

Fuente: autores

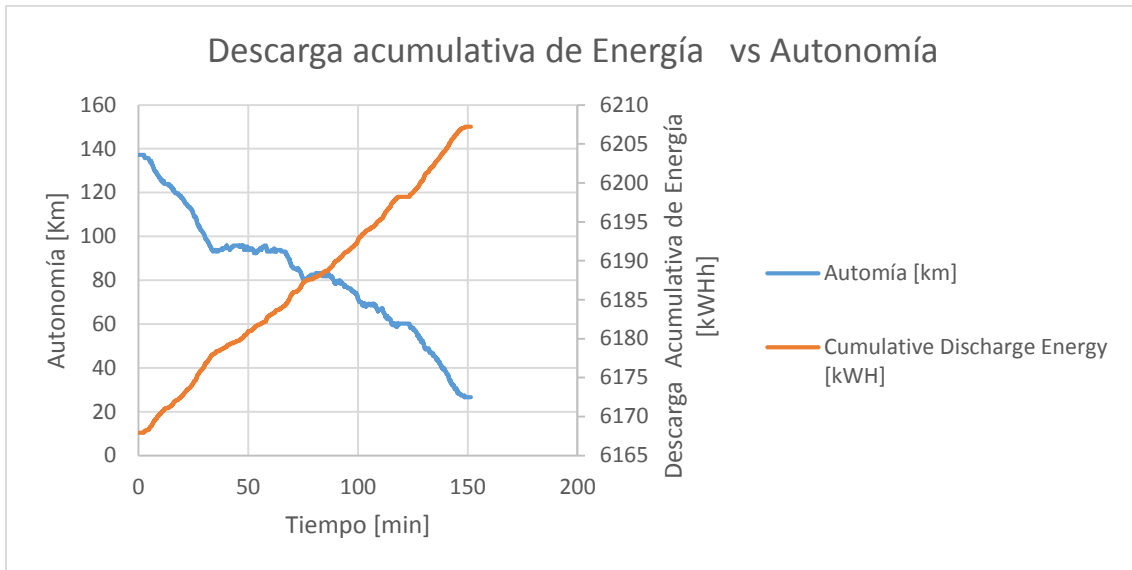


Figura A 20: Descarga acumulativa de energía vs autonomía de la ruta Cuenca -Machala viaje de ida

Fuente: autores

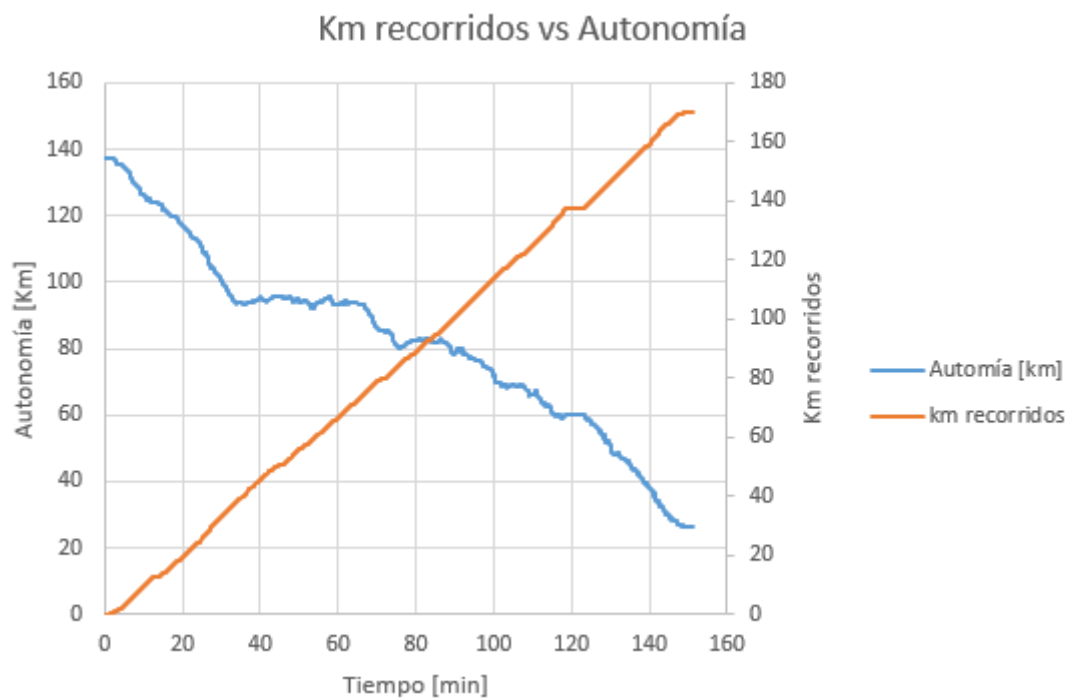


Figura A 21: Distancia recorrida en km vs autonomía de la ruta Cuenca -Machala viaje de ida

Fuente: autores

RUTA CUENCA -MACHALA RETORNO

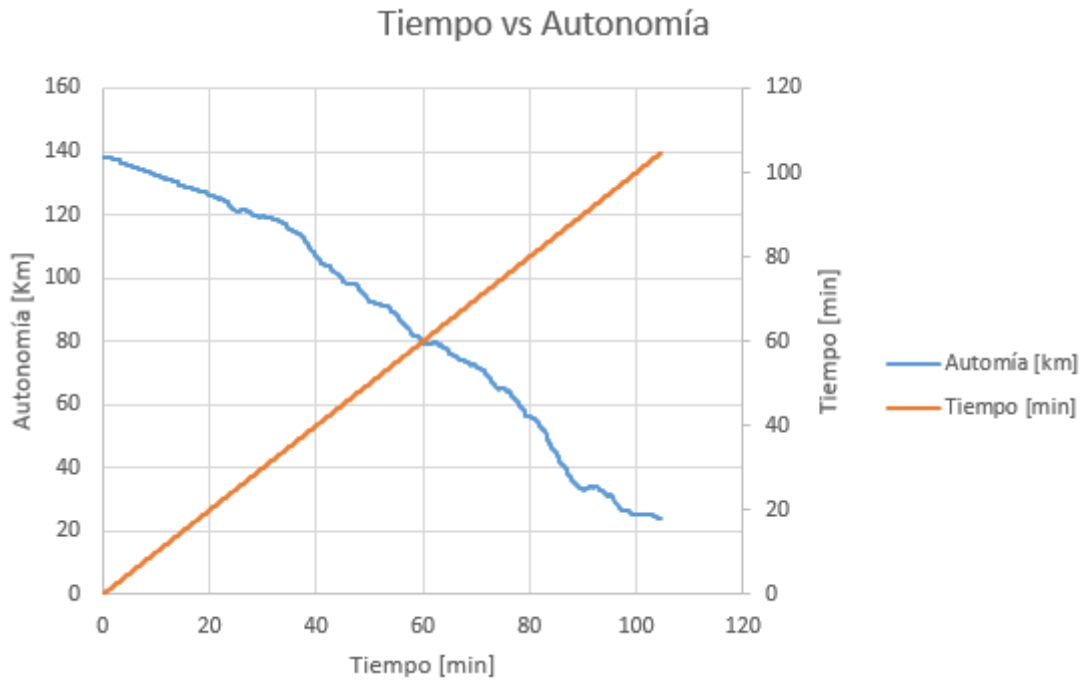


Figura A 22: Tiempo vs autonomía de la ruta Cuenca -Machala viaje de regreso

Fuente: autores

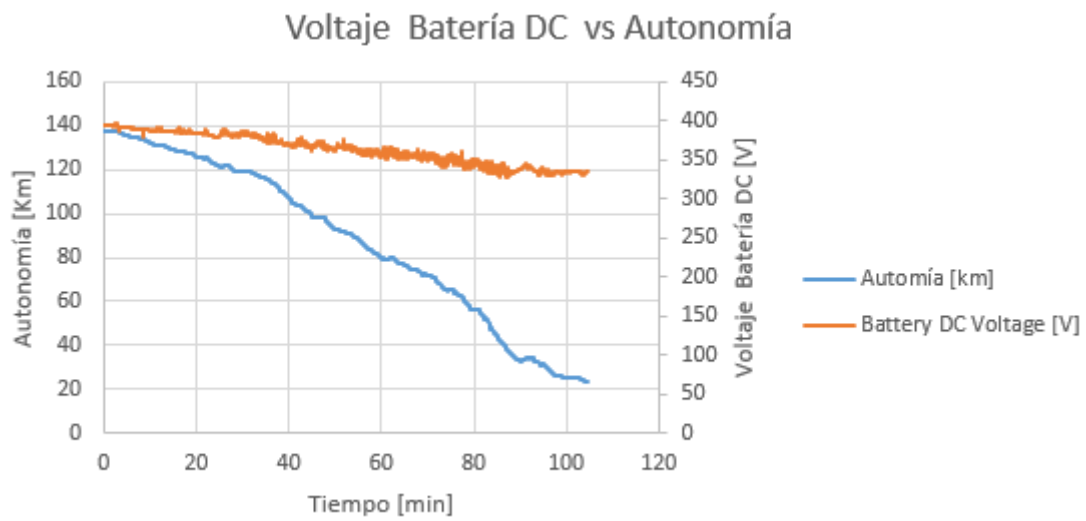


Figura A 23: Voltaje de la batería DC vs autonomía de la ruta Cuenca -Machala viaje de regreso

Fuente: autores

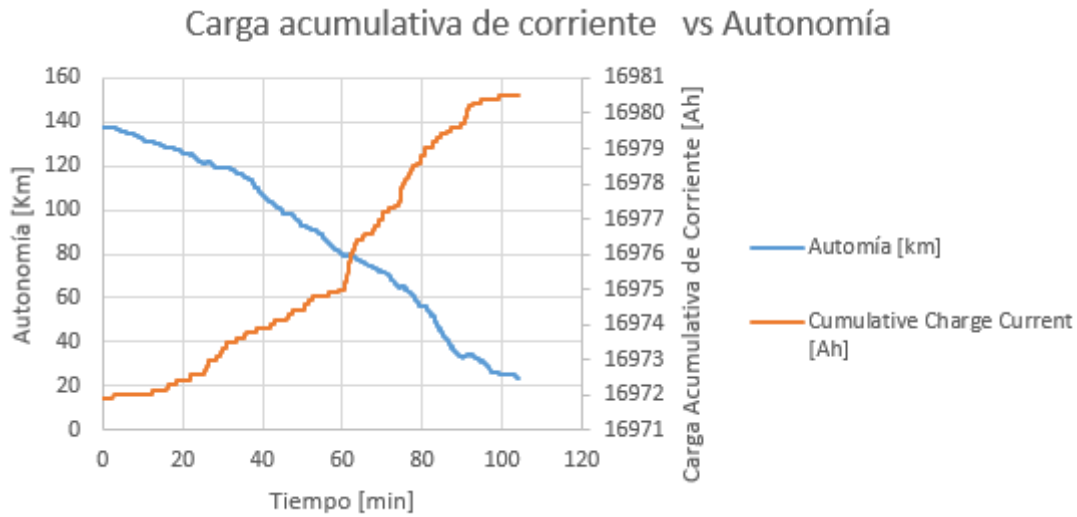


Figura A 24: Carga acumulativa de corriente vs autonomía de la ruta Cuenca -Machala viaje de regreso

Fuente: autores

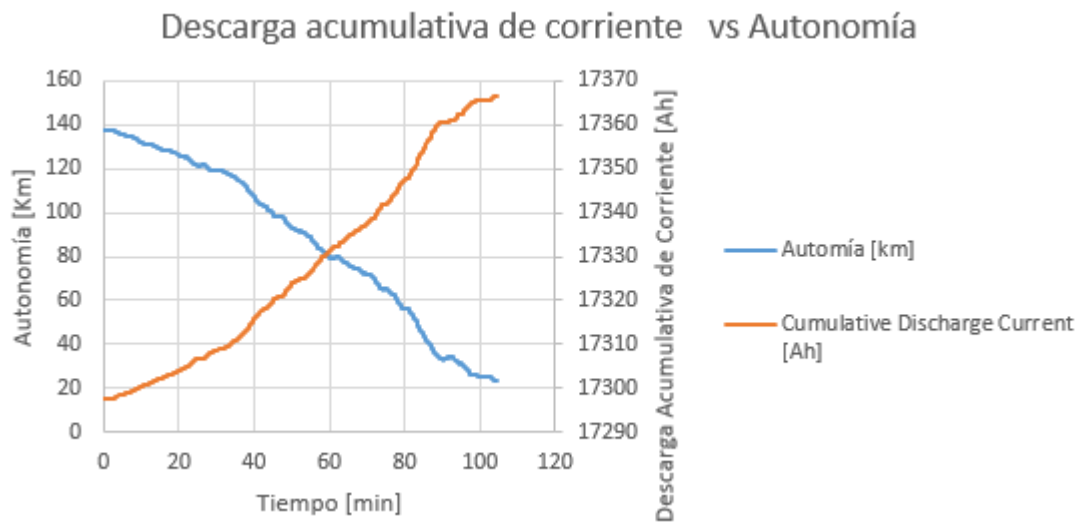


Figura A 25: Descarga acumulativa de corriente vs autonomía de la ruta Cuenca -Machala viaje de regreso

Fuente: autores

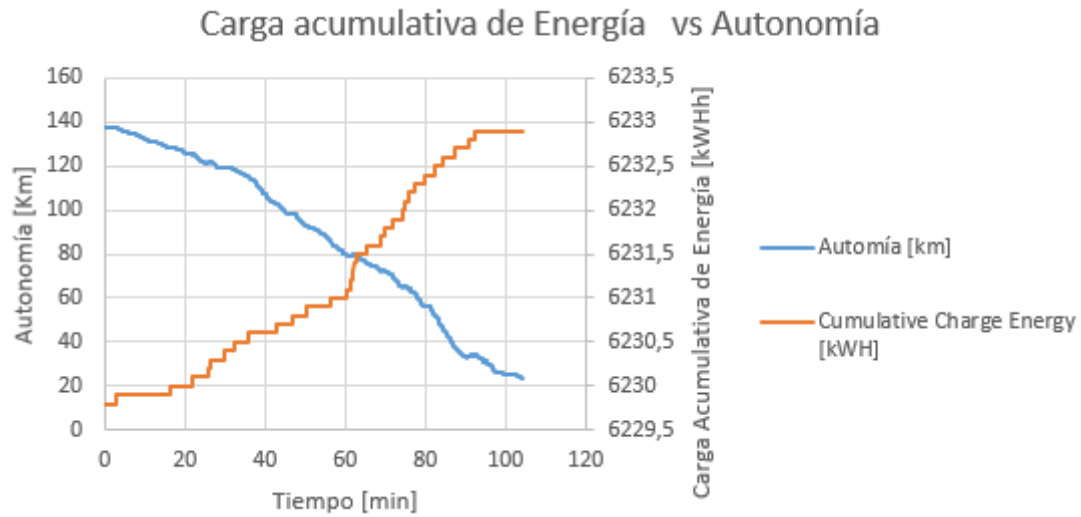


Figura A 26: Carga acumulativa de energía vs autonomía de la ruta Cuenca -Machala viaje de regreso

Fuente: autores

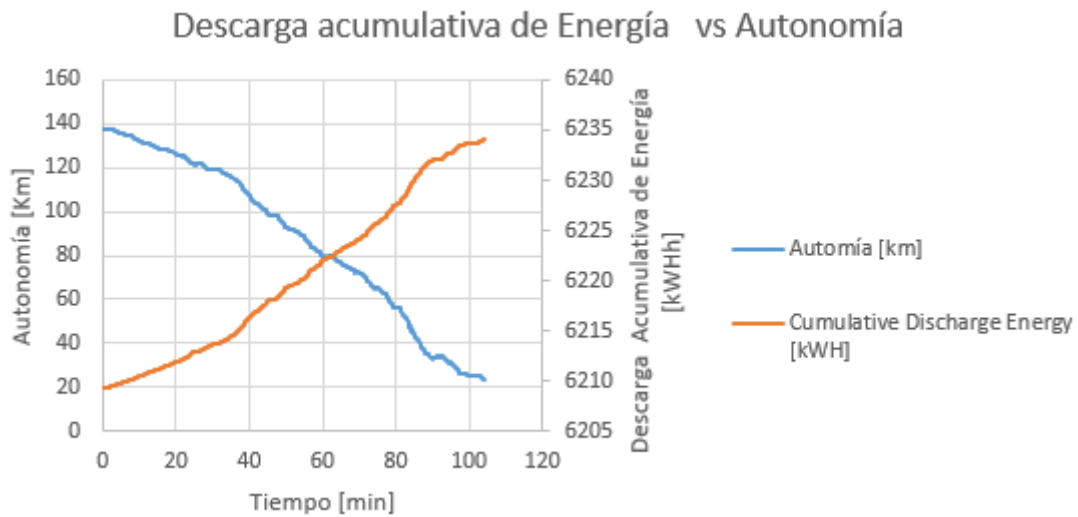


Figura A 27: Descarga acumulativa de energía vs autonomía de la ruta Cuenca -Machala viaje de regreso

Fuente: autores

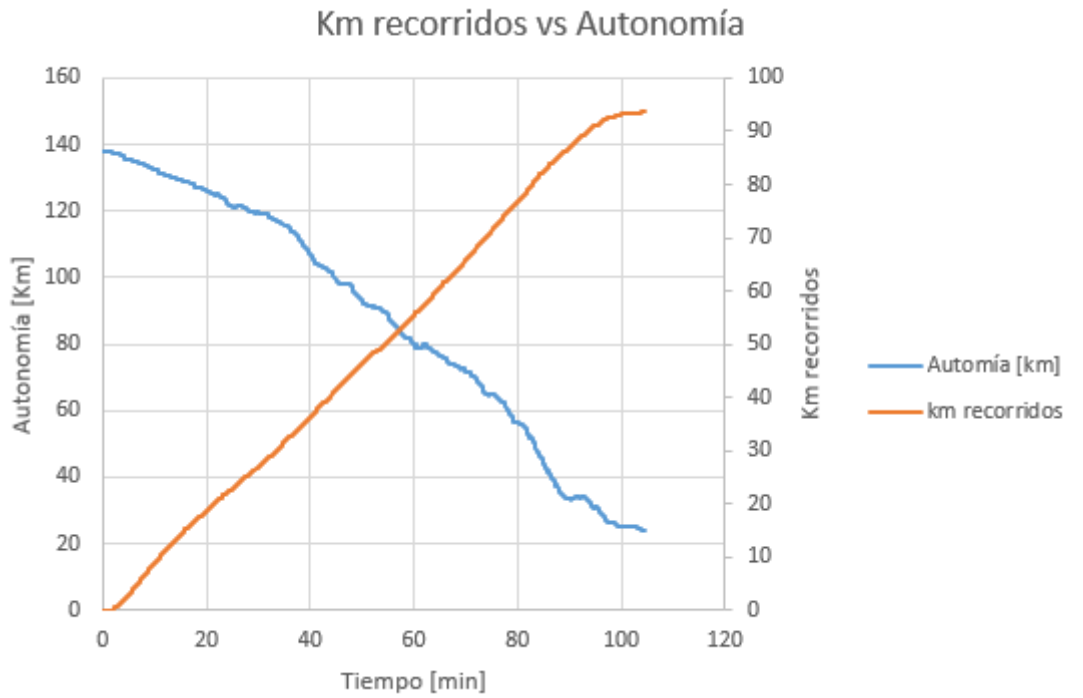


Figura A 28: Distancia recorrida en km vs autonomía de la ruta Cuenca -Machala viaje de regreso

Fuente: autores

RUTA CUENCA -CAÑAR IDA

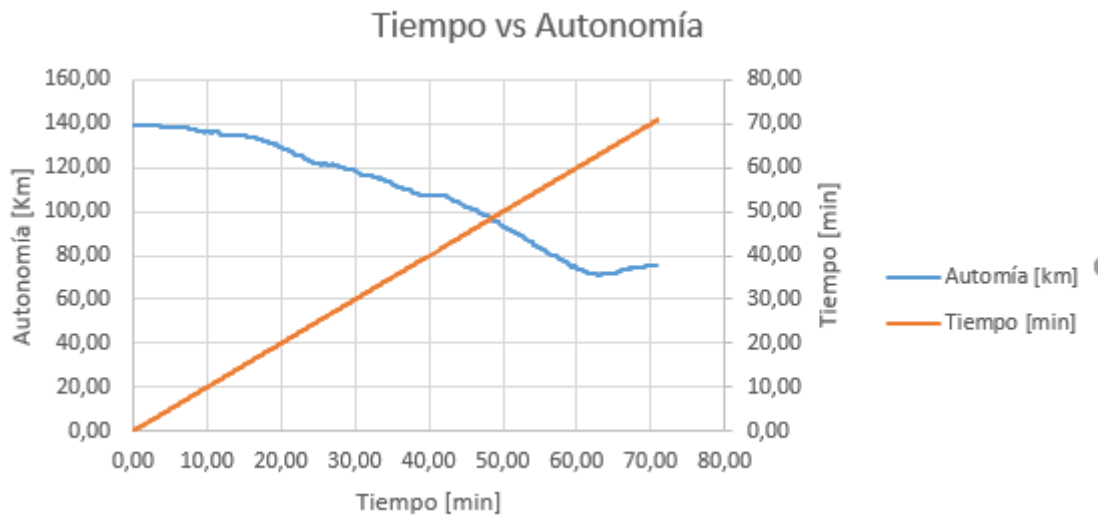


Figura A 29: Tiempo vs autonomía de la ruta Cuenca -Cañar viaje de ida

Fuente: autores

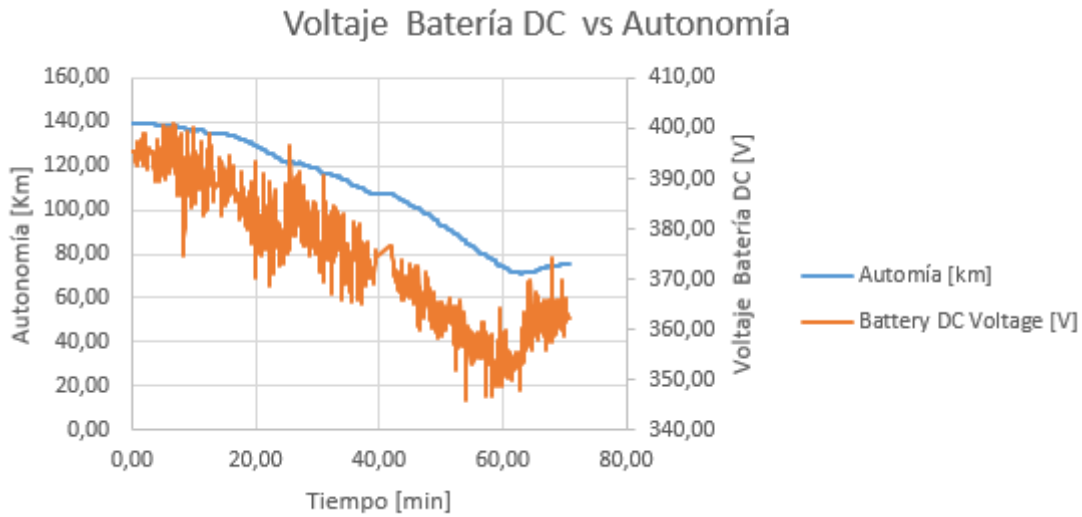


Figura A 31: Voltaje de la batería DC vs autonomía de la ruta Cuenca -Cañar viaje de ida

Fuente: autores

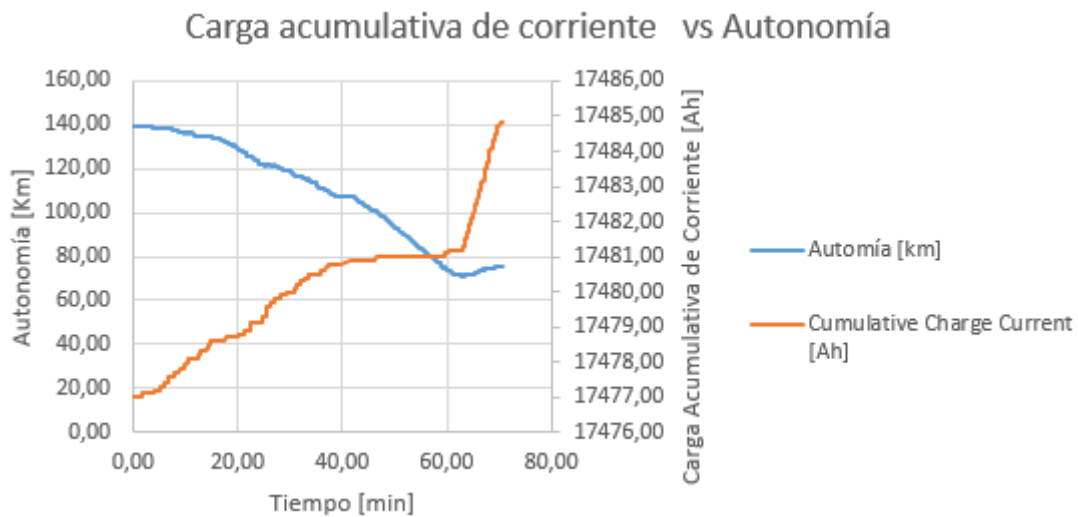


Figura A 31: Carga acumulativa de corriente vs autonomía de la ruta Cuenca -Cañar viaje de ida

Fuente: autores

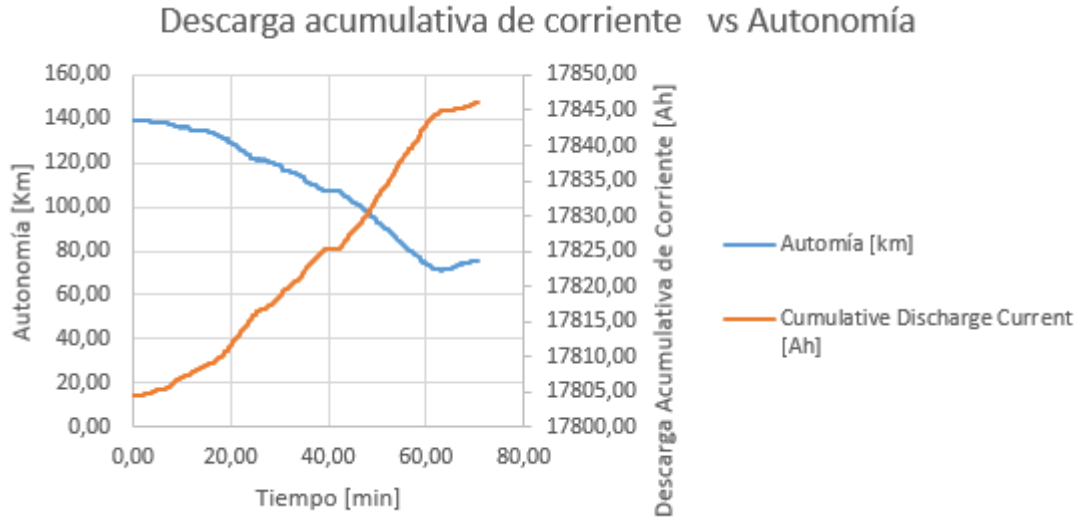


Figura A 32: Descarga acumulativa de corriente vs autonomía de la ruta Cuenca -Cañar viaje de ida

Fuente: autores

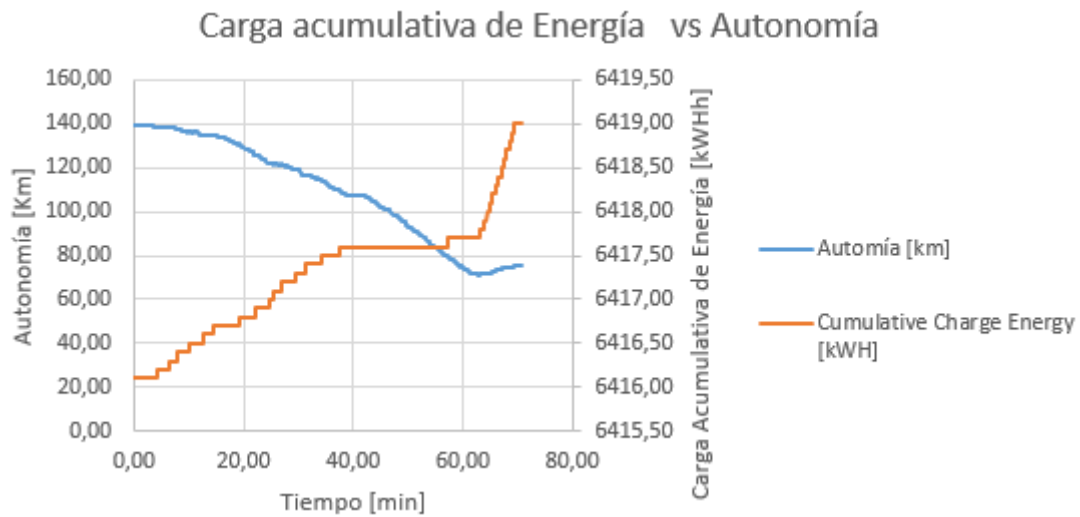


Figura A 33: Carga acumulativa de energía vs autonomía de la ruta Cuenca -Cañar viaje de ida

Fuente: autores

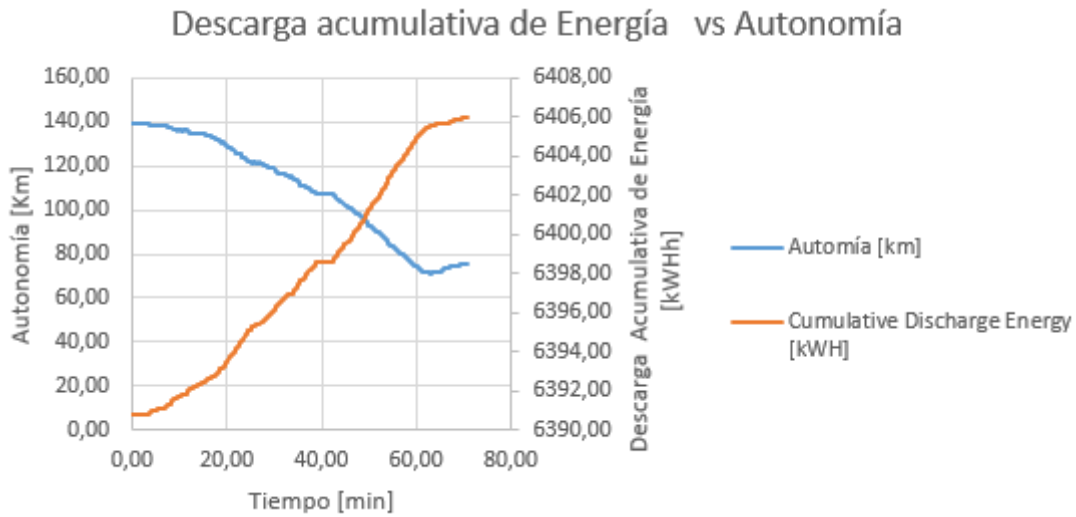


Figura A 34: Descarga acumulativa de energía vs autonomía de la ruta Cuenca -Cañar viaje de ida

Fuente: autores

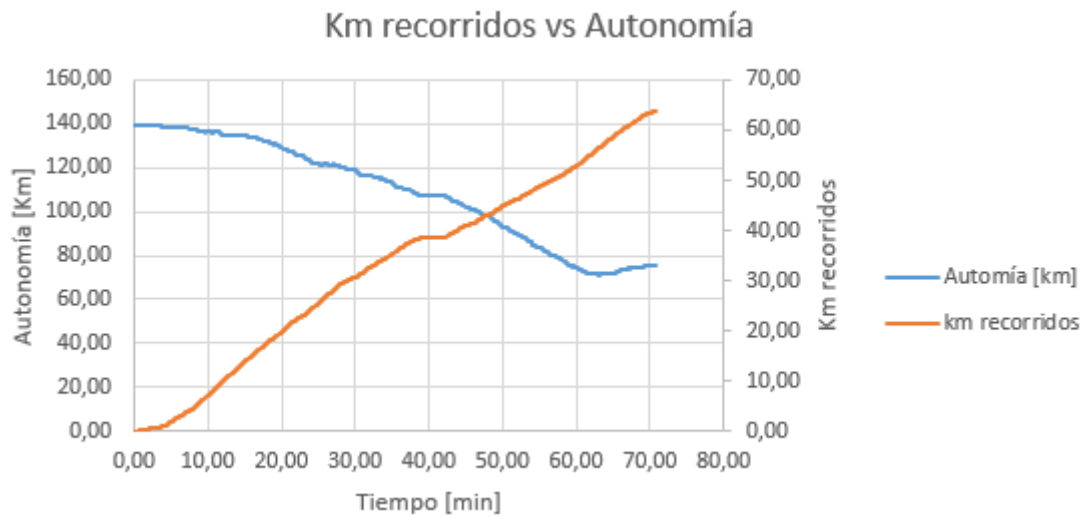


Figura A 35: Distancia recorrida en km vs autonomía de la ruta Cuenca -Cañar viaje de ida

Fuente: autores

RUTA CUENCA -CAÑAR RETORNO

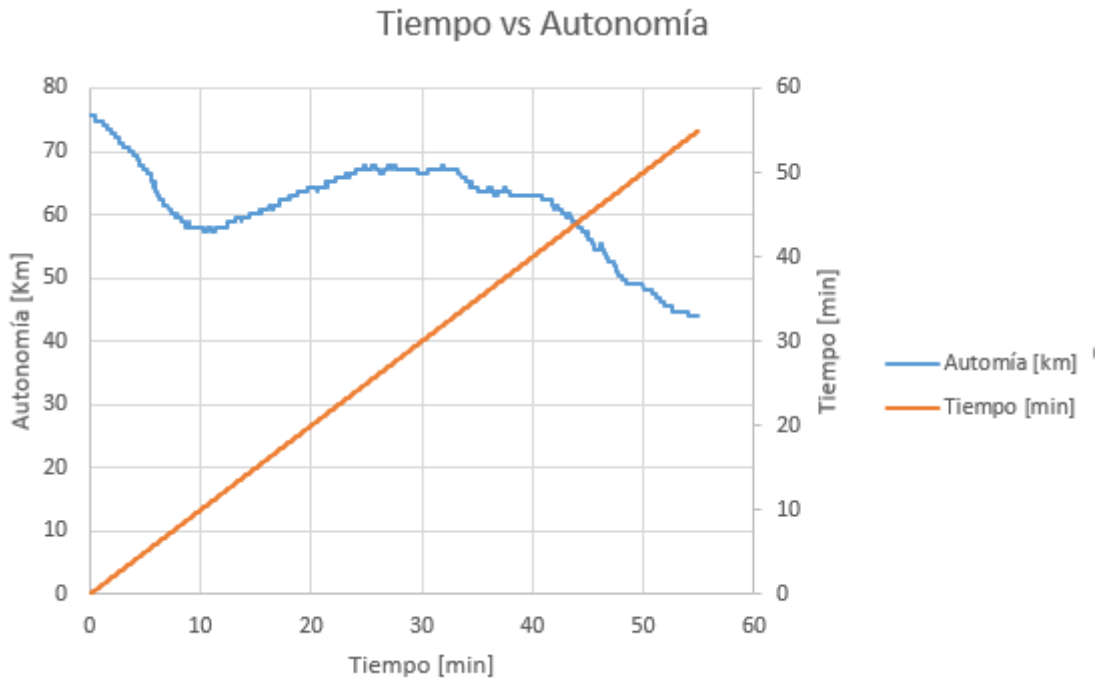


Figura A 36: Tiempo vs autonomía de la ruta Cuenca -Cañar viaje de regreso

Fuente: autores

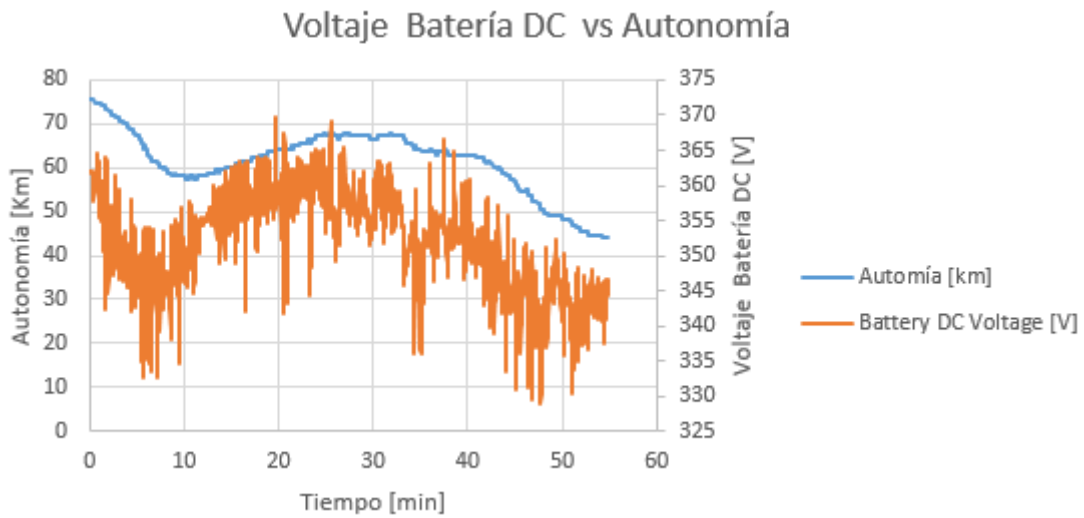


Figura A 37: Voltaje de la batería vs autonomía de la ruta Cuenca -Cañar viaje de regreso

Fuente: autores

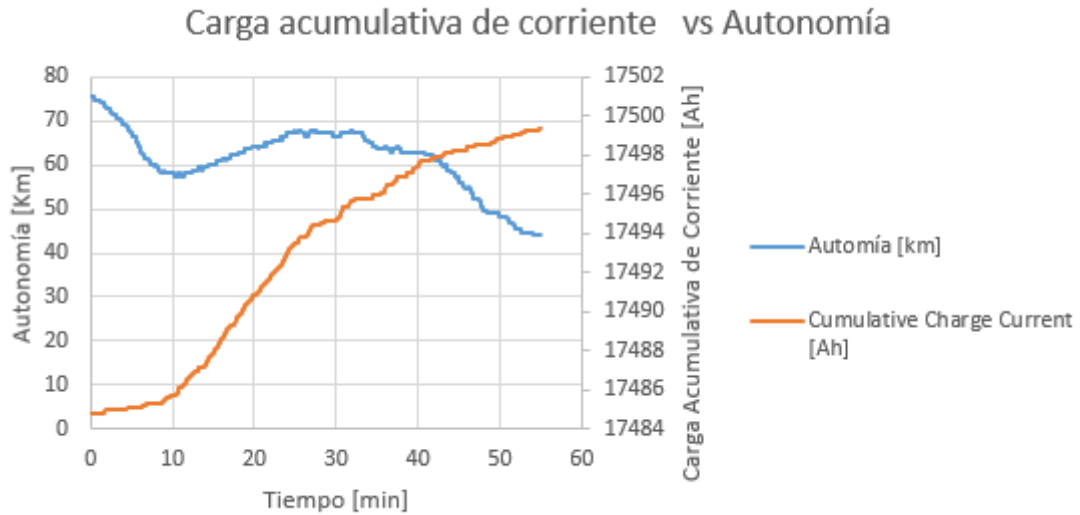


Figura A 38: Carga acumulativa de corriente vs autonomía de la ruta Cuenca -Cañar viaje de regreso

Fuente: autores

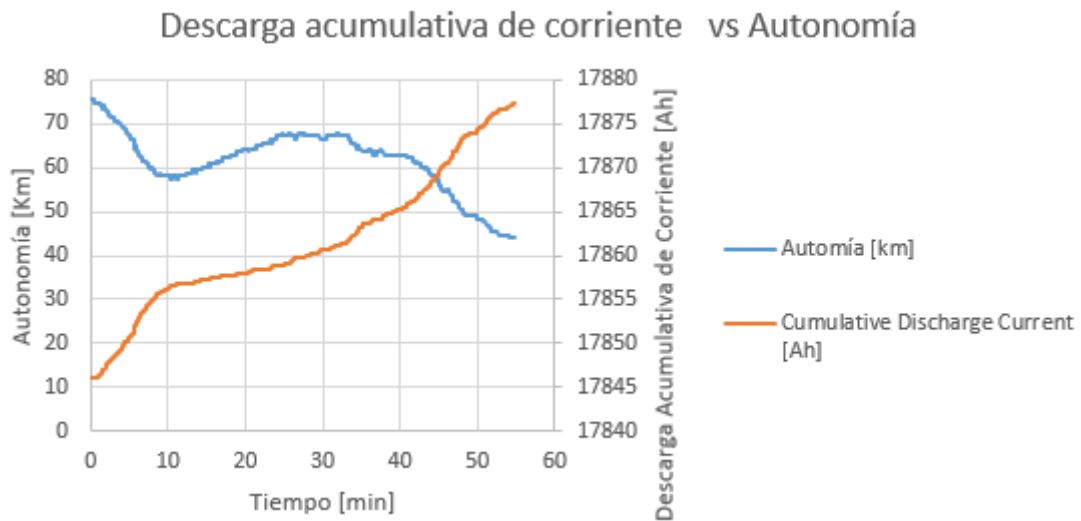


Figura A 39: Descarga acumulativa de corriente vs autonomía de la ruta Cuenca -Cañar viaje de regreso

Fuente: autores

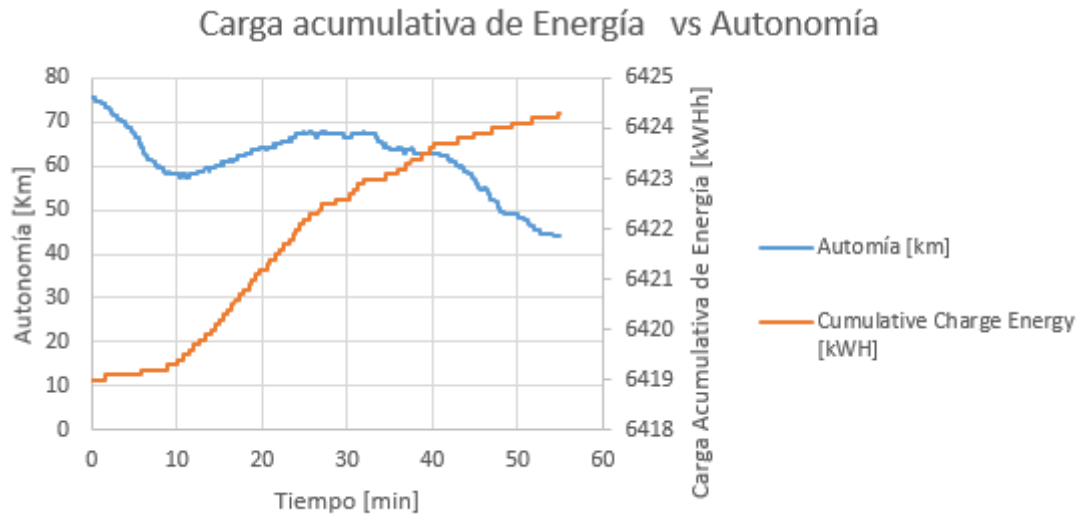


Figura A 40: Carga acumulativa de energía vs autonomía de la ruta Cuenca -Cañar viaje de regreso

Fuente: autores

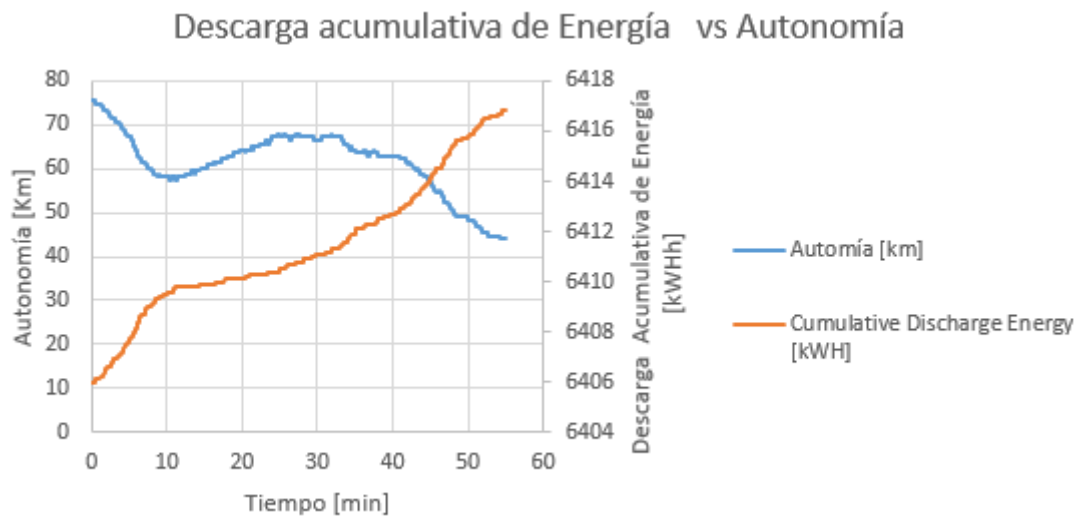


Figura A 41: Descarga acumulativa de energía vs autonomía de la ruta Cuenca -Cañar viaje de regreso

Fuente: autores

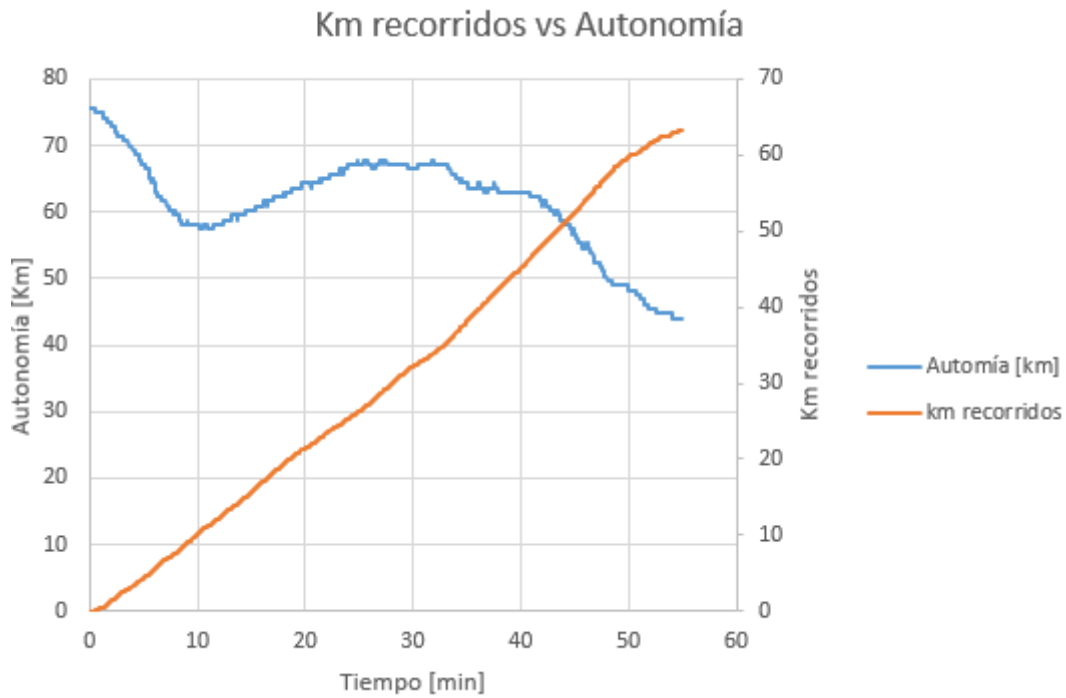


Figura A 42: Distancia recorrida en km vs autonomía de la ruta Cuenca -Cañar viaje de regreso

Fuente: autores

RUTA CUENCA-LOJA IDA

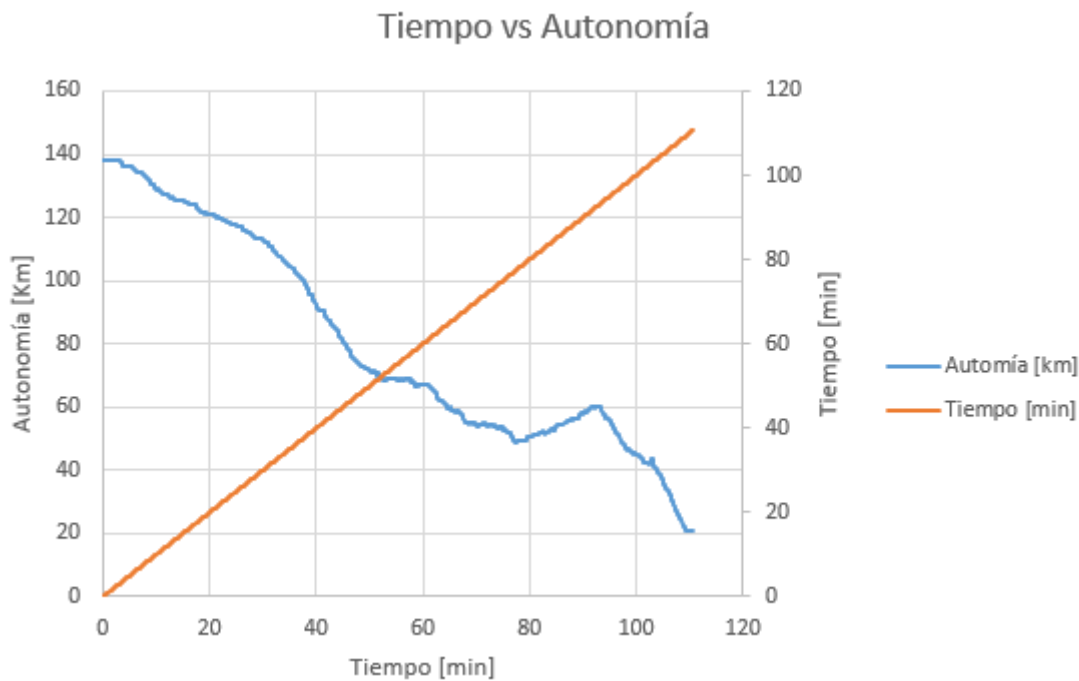


Figura A 43: Tiempo vs autonomía de la ruta Cuenca -Loja viaje de ida

Fuente: autores

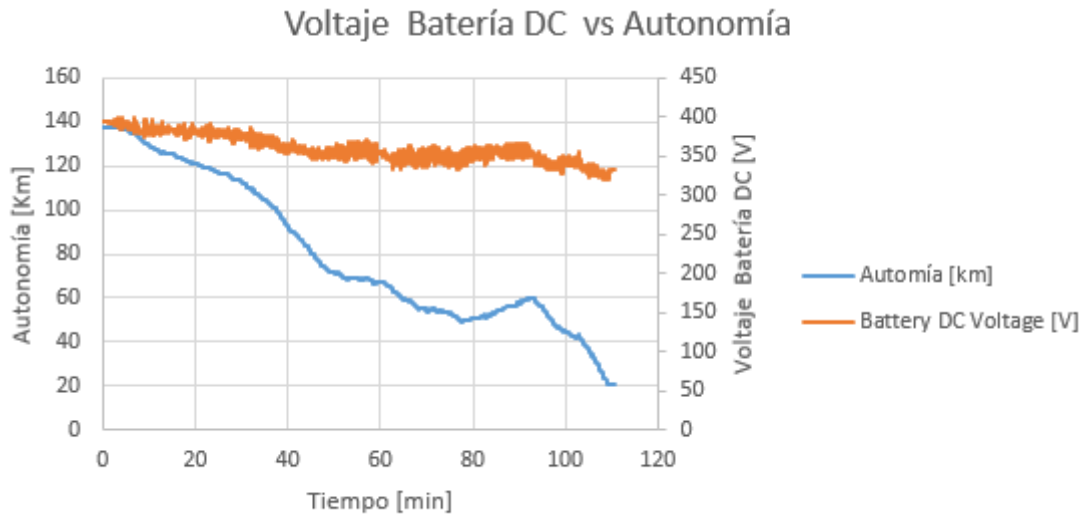


Figura A 44: Voltaje de la batería DC vs autonomía de la ruta Cuenca -Loja viaje de ida

Fuente: autores

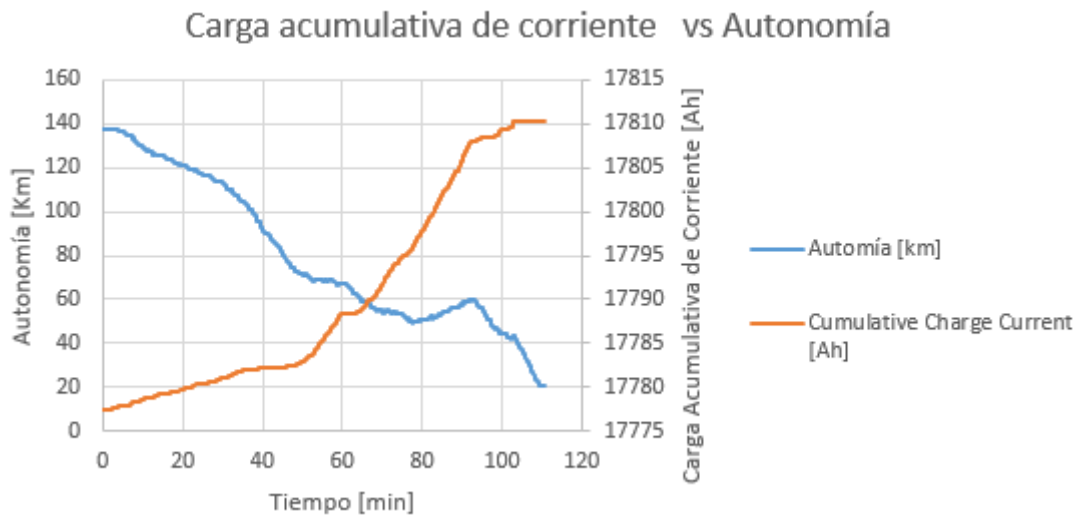


Figura A 45: Carga acumulativa de corriente vs autonomía de la ruta Cuenca -Loja viaje de ida

Fuente: autores

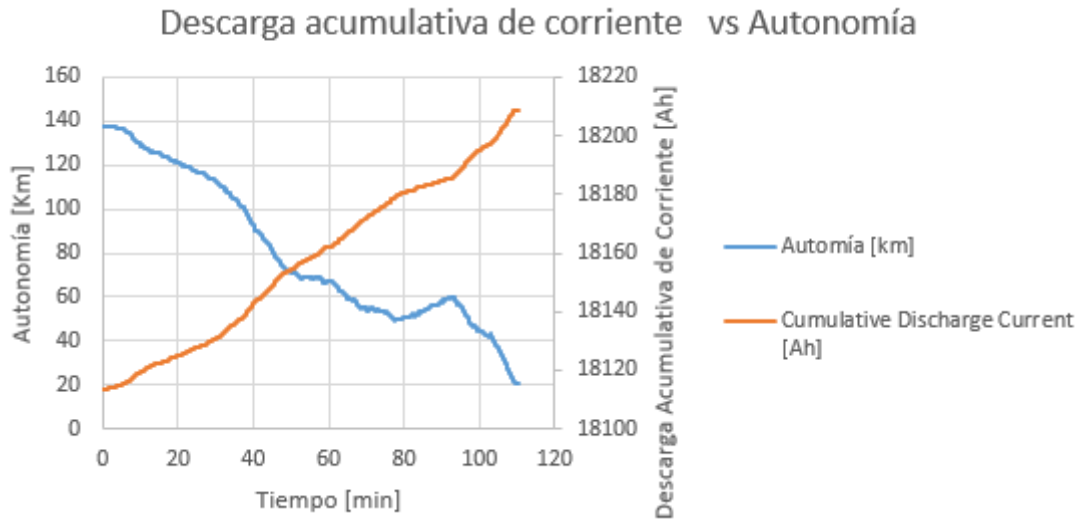


Figura A 46: Descarga acumulativa de corriente vs autonomía de la ruta Cuenca -Loja viaje de ida

Fuente: autores

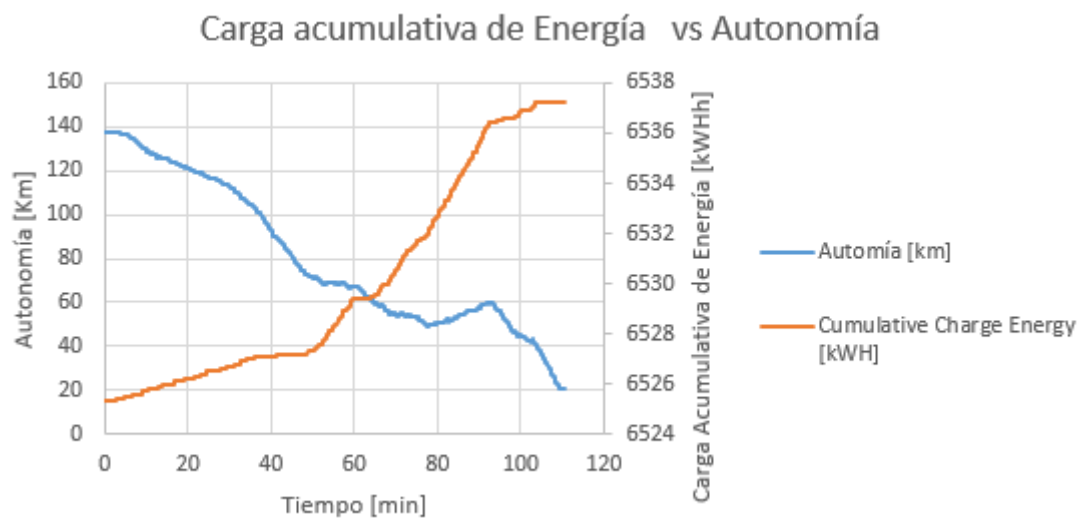


Figura A 47: Carga acumulativa de energía vs autonomía de la ruta Cuenca -Loja viaje de ida

Fuente: autores

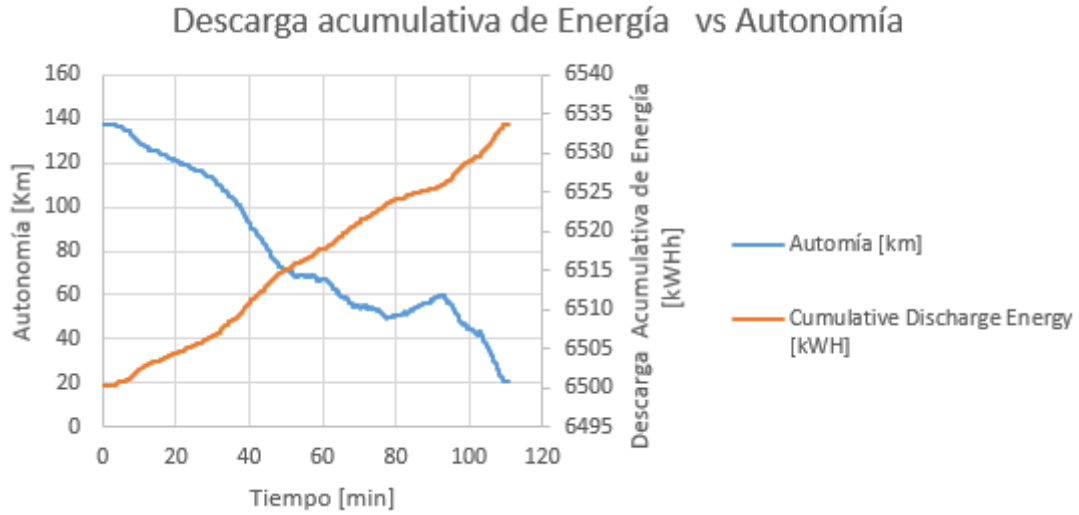


Figura A 48: Descarga acumulativa de energía vs autonomía de la ruta Cuenca -Loja viaje de ida

Fuente: autores

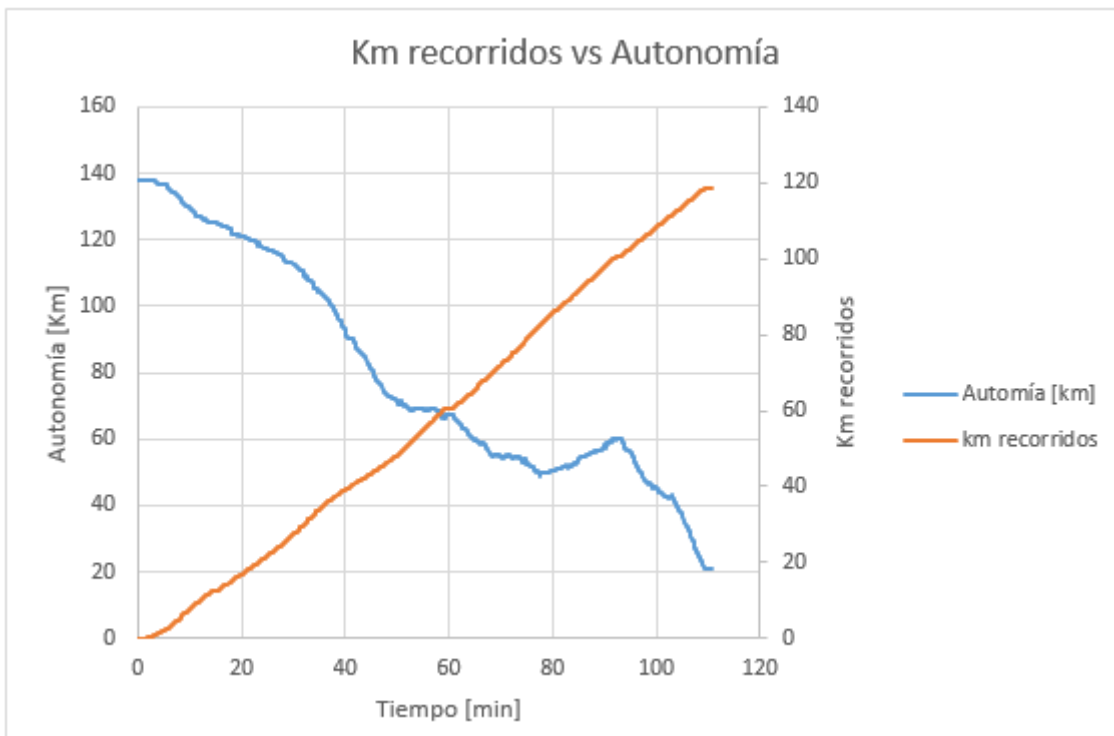


Figura A 49: Distancia recorrida en km vs autonomía de la ruta Cuenca -Loja viaje de ida

Fuente: autores