

**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:

**“DETERMINACIÓN DE LA AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO
ELÉCTRICO KIA SOUL EN RUTAS PREESTABLECIDAS EN LA
CIUDAD DE MACHALA, A TRAVÉS DE MÉTODOS
EXPERIMENTALES”**

AUTORES:

WALTER ADRIÁN SOLANO TOLEDO

CARLOS SANTIAGO CABRERA GUERRERO

TUTOR:

ING. ADRIÁN XAVIER SIGÜENZA REINOSO

Cuenca, noviembre 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Cabrera Guerrero Carlos Santiago, con documento de identificación N°0105947881, y Walter Adrián Solano Toledo, con documento de identificación N°0104628441, 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: “DETERMINACIÓN DE LA AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO KIA SOUL EN RUTAS PREESTABLECIDAS EN LA CIUDAD DE MACHALA, A TRAVÉS DE MÉTODOS EXPERIMENTALES”, 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 entrega del trabajo en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Cabrera Guerrero Carlos Santiago

N°0105947881



Walter Adrián Solano Toledo

N°0104628441

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollada el Trabajo de Titulación: “DETERMINACIÓN DE LA AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO KIA SOUL EN RUTAS PREESTABLECIDAS EN LA CIUDAD DE MACHALA, A TRAVÉS DE MÉTODOS EXPERIMENTALES”, realizado por Cabrera Guerrero Carlos Santiago y Solano Toledo Walter Adrián, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre del 2018



Ing. Adrián Xavier Sigüenza Reinoso.

0103827366

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Cabrera Guerrero Carlos Santiago, con documento de identificación N°0105947881, y Walter Adrián Solano Toledo, con documento de identificación N°0104628441, autores del Trabajo de Titulación: “DETERMINACIÓN DE LA AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO KIA SOUL EN RUTAS PREESTABLECIDAS EN LA CIUDAD DE MACHALA, A TRAVÉS DE MÉTODOS EXPERIMENTALES”, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, noviembre del 2018



Cabrera Guerrero Carlos Santiago

N°0105947881



Walter Adrián Solano Toledo

N°0104628441

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por brindarme día a día, salud y fuerzas necesarias para finalizar esta etapa en mi vida.

A mis queridos padres José Heriberto Solano Galarza y Clara Celinda Toledo Pacheco, por guiarme siempre en un camino de bien y darme su apoyo incondicional en cada momento de mi vida.

A mis hermanos Esteban y Danny por darme fuerzas y voluntad en todo momento.

Al Ing. Adrián Sigüenza, director de tesis, por compartir con nosotros sus conocimientos y guiarnos en nuestro trabajo de titulación.

A mis compañeros y profesores por el apoyo brindado.

Walter Adrián Solano Toledo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres Carlos y Patricia que han sabido brindarme su apoyo incondicional en toda mi carrera estudiantil y han sido pilar fundamental a lo largo de mi vida.

Agradezco a Dios por darme la fuerza que ha hecho que logre diferentes etapas y metas que me he propuesto en la vida.

A mis hermanos Edison, Alexandra y a mi sobrina Samanta que me han apoyado y aconsejado incondicionalmente y han sido mi motivación.

Un agradecimiento al Ing. Adrián Sigüenza, director de tesis, por brindar su confianza y sus conocimientos impartidos durante el desarrollo de este proyecto.

A mis profesores, compañeros y amigos, que han brindado su apoyo para así concluir con la meta planteada.

Carlos Santiago Cabrera Guerrero.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios, por brindarme las fuerzas necesarias para cumplir una de mis metas.

A mis queridos padres, José Heriberto Solano Galarza y Clara Celinda Toledo Pacheco, por brindarme toda su confianza y apoyo durante toda la trayectoria de mi vida y por nunca bajar los brazos durante las adversidades presentadas y por ser el pilar fundamental de nuestra familia.

A mis queridos hermanos: Esteban Y Danny por brindarme su apoyo y por ayudarme en momentos complicados que se han presentado en mi vida.

A todas las personas que conforman mi familia por estar siempre pendientes de mi bienestar y por hacer, que cada día sea un día especial.

Walter Adrián Solano Toledo

DEDICATORIA

A mis padres Carlos Cabrera y Patricia Guerrero, quienes han velado por mi bienestar, brindándome su apoyo y confianza incondicional a lo largo de mis estudios, sin importar las adversidades presentadas en el transcurso del camino.

A mis hermanos Edison y Alexandra, que siempre estuvieron apoyándome en todos los momentos difíciles a lo largo de mi carrera.

***Carlos Santiago Cabrera
Guerrero.***

RESUMEN

El siguiente proyecto técnico determina la autonomía teórica y real del Vehículo eléctrico Kia Soul en la ciudad de Machala ubicada geográficamente a nivel del mar. Para ello, se generó un circuito que consta de 7 rutas dentro y fuera de la ciudad de Machala, tomando en cuenta parámetros diferentes como: congestión vehicular, vías rápidas, velocidad, vías asfaltadas y lastradas entre otros, se considera que la altimetría es 0 debido a su ubicación geográfica. Esto se lleva a cabo para analizar el comportamiento del vehículo eléctrico con diferentes características de circulación y analizar cómo afectan al consumo de la autonomía del VE en ciudades ubicadas a nivel del mar.

Para generar la obtención de datos y corroborar la información obtenida se realiza 4 réplicas del circuito completo, para cada una de estas pruebas experimentales se toman en cuenta las mismas consideraciones para que la variación de los datos entre las pruebas sea mínima, parámetros como: personas dentro del vehículo, vidrios cerrados, aire acondicionado funcionando, entre otros.

Para la adquisición de datos se utiliza el software de ingeniería EMOLab 2.0.1, mediante el cual se observa el comportamiento del vehículo eléctrico mientras se realizan las pruebas experimentales.

Mediante correlación de Pearson se determina de entre todas las variables involucradas en el vehículo eléctrico, cuales son las que presentan mayor influencia en el consumo de la autonomía del Vehículo eléctrico, siendo estas: distancia de recorrido, tiempo de recorrido, velocidad del VE y torque generado, tomando en cuenta que la altimetría es 0.

Con la regresión múltiple se determina un modelo de ecuación que se acopla al comportamiento del VE mediante los datos obtenidos en las rutas experimentales, siendo la variable dependiente el consumo de autonomía, y variables independientes representadas por X1, X2, X3, X4, las cuales representan las variables con mayor influencia para el consumo de acuerdo a la correlación de Pearson.

Con los resultados obtenidos de manera real y teórica se generan gráficos del comportamiento del consumo de la autonomía del VE en la ciudad de Machala, en donde el error entre estos valores real y teórico se encuentran en el rango de $\pm 5\%$, dando así validez al modelo matemático que predice el consumo de autonomía del Vehículo eléctrico Kia Soul en la ciudad de Machala.

Se determina la autonomía del VE en la ciudad de Machala para posterior a ello generar un análisis comparativo en relación a la autonomía del VE en la ciudad de Cuenca ya que se realizó con el mismo vehículo y el mismo software de obtención de datos.

SUMMARY

The following technical project determines the theoretical and real autonomy of the Kia Soul electric vehicle in the city of Machala located geographically at sea level. To do this, a circuit consisting of 7 routes inside and outside the city of Machala was created, taking into account different parameters such as: traffic congestion, fast roads, speed, asphalted and ballast roads, among others, taking into account that the altimetry is consider 0 due to its geographical location. This is carried out to analyze the behavior of the electric vehicle with different circulation characteristics and analyze how they affect the consumption of VE autonomy in cities located at sea level.

To generate the data collection and corroborate the information obtained, 4 replicas of the complete circuit are made, for each of these experimental tests the same considerations are taken into account so that the variation of the data between test and test is minimal, parameters such as: people inside the vehicle, totally closed glasses, air conditioning working, among others.

The EMOLab 2.0.1 engineering software is used for data acquisition, through which the behavior of the electric vehicle is observed at all times while the experimental tests are being carried out.

Pearson correlation is determined among all the variables involved in the electric vehicle, which are those that have greater influence on the consumption of electric vehicle autonomy, these being: distance of travel, travel time, speed of VE and torque generated, taking into account that the altimetry is 0.

Through multiple regression an equation model is determined that is coupled to the behavior of the VE through the data obtained in the experimental routes, the dependent variable being the consumption of autonomy, and independent variables represented by X1, X2, X3, X4, which represent the variables with the greatest influence for consumption according to the Pearson correlation.

With the results obtained in a real and theoretical way, graphs of the consumption behavior of VE autonomy are generated in the city of Machala, where the error between these real and theoretical values are in the range of $\pm 5\%$, thus giving validity to the mathematical model that predicts the consumption of autonomy of the Kia Soul electric vehicle in the city of Machala.

The autonomy of the VE in the city of Machala is determined and, subsequently, a comparative analysis in relation to the autonomy of the VE in the city of Cuenca was generated since it was carried out with the same vehicle and the same data acquisition software.

ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	II
CERTIFICACIÓN	III
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD	IV
AGRADECIMIENTOS	V
AGRADECIMIENTOS	VI
DEDICATORIA	VII
RESUMEN	1
SUMMARY	3
INDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE TABLAS	9
PROBLEMA DE ESTUDIO	10
a. Objetivo General.....	10
b. Objetivos Específicos	10
Capítulo 1: ESTADO DEL ARTE	13
1.1. HISTORIA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO	13
1.2. VEHÍCULO ELÉCTRICO	16
1.3. CLASES DE VEHICULOS ELECTRICOS.	17
1.4. CARACTERISTICAS DE LOS VEHICULOS ELECTRICOS.	17
1.5. COMPONENTES PRINCIPALES DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO	18
1.5.1. Bloque de conexiones de alto voltaje.	19
1.5.2. Cargador de a bordo (OBC)	19
1.5.3. Inversor.....	19
1.5.4. (LDC) Convertidor de bajo voltaje.....	19
1.5.5. Motor eléctrico	19
1.5.6. Engranaje reductor	19
1.5.7. Batería de alto voltaje	19
1.6. TIPOS DE CARGA DEL VEHICULO ELECTRICO.....	20
1.5.1. Carga normal	20
1.5.2. Carga rápida	21
1.5.3. Carga de mantenimiento.....	21
1.5.4. Tipos de carga de las baterías.....	21

1.7.	EFICIENCIA ENERGETICA.....	22
1.8.	AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	23
1.5.4.	Ciclo NEDC	21
1.5.4.	Ciclo EPA.....	21
Capítulo 2: DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA LA SELECCIÓN DE RUTAS.....		25
2.1.	CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE RUTAS	25
2.1.1	Congestión vehicular.....	26
2.1.2.	Vias de mayor recorrido y tipos de calzada	26
2.1.3.	Velocidad máxima permitida	26
2.1.4.	Factores climáticos.....	27
2.1.5.	Similitud con Cuenca.....	27
2.2.	DETERMINACIÓN DE RUTAS PARA CORRIDAS EXPERIMENTALES	28
2.2.1.	Descripción de las Rutas Establecidas.....	28
2.2.1.1.	Ruta 1: Puerto de Embarque Jambelí – Intersección de la Av. Bolívar Madero Vargas y Av. Arízaga.	28
2.2.1.2.	Ruta 2: Intersección de la Av. Bolívar Madero Vargas y Av. Arízaga – Calle Bolívar y Ayacucho	31
2.2.1.2.	Ruta 3:Calle Bolívar y Ayacucho – Av. Central 25 de junio.....	34
2.2.1.3.	Ruta 4: 25 de junio y Palmeras – Facultad de Ingeniería Civil.	38
2.2.1.4.	Ruta 5: Facultad de Ingeniería Civil – Parque Central El Cambio	42
2.2.1.5.	Ruta 6: Parque Central El Cambio – Parque Central de Machala.	45
2.2.1.6.	Ruta 7: Parque Central – Puerto de Embarque Jambelí	48
CAPÍTULO 3: ADQUISICIÓN DE DATOS MEDIANTE EL SOFTWARE EMOLAB 2.0.1		52
3.1	SOFTWARE EMOLAB 2.0.1	52
3.2.	PROTOCOLO DE PRUEBAS	53
3.3.	DEFINICIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO MEDIANTE CORRELACIONES DE PEARSON	58
3.3.	VARIABLES DE ESTUDIO.....	63
CAPÍTULO 4: ESTUDIO Y DETERMINACION DE AUTONOMIA DEL VE EN LA CIUDAD DE MACHALA.....		64

4.1. BASE DE DATOS	64
4.1.1. Esquematización de la base de datos obtenida en las rutas experimentales.....	66
4.1.2. Análisis de resultados.	69
4.2. DETERMINACION DE LA AUTONOMIA DEL VE.	81
CAPÍTULO 5: COMPARACIÓN DE LA AUTONOMÍA ENTRE LAS CIUDADES DE CUENCA Y MACHALA.....	86
5.1 Análisis de la autonomía del VE en la ciudad de Machala	86
5.2 Análisis de la autonomía del VE en la ciudad de Cuenca	87
5.3 Análisis comparativo de la autonomía del VE en la ciudad de Cuenca y Machala	88
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXOS	94

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Vehículo eléctrico. Fuente: (Aguero, 2009)	13
Figura 2: Automóvil eléctrico 1881 . Fuente: (Aguero, 2009)	14
Figura 3: Automóvil eléctrico. Dog Car. Fuente: (Aguero, 2009)	15
Figura 4: Automóvil eléctrico “Jamais Contete”. Fuente: (Aguero, 2009).....	15
Figura 5: <i>Vehículo Eléctrico</i> . Fuente: Autores.....	16
Figura 6: Clases de vehículos eléctricos. Fuente: (Martines G, 2013).....	17
Figura 7: Componentes principales del vehículo eléctrico. Fuente: Manual del Usuario KIA SOUL.....	18
Figura 8: Baterías de Litio. Fuente: (Kía, 2015)	20
Figura 9: Ruta 1. Puerto de embarque Jambelí - Av. Arízaga. Fuente: Google Maps. 30	
Figura 10: Ruta 2. Intersección de la Av. Bolívar Madero Vargas y Av. Arízaga – Calle Bolívar y Ayacucho. Fuente: Plan de movilidad.....	34
Figura 11: Ruta 3. Calle Bolívar y Ayacucho – Intersección 25 de junio y Palmeras. Fuente: Google Maps	38
Figura 12: Ruta 4. Intersección Av. Central 25 de junio - Facultad de Ingeniería Civil. Fuente: Google Maps.	42
Figura 13: Ruta 5. Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Técnica de Machala. Fuente: Google Maps	46
Figura 14: Ruta 6. Universidad Técnica de Machala– Parque Central. Fuente: Google Maps.	49
Figura 15: Ruta 7. Parque Central – Puerto de Embarque Jambelí. Fuente: Google Maps.	52
Figura 16: Ventana Principal. Software Emolab 2.0.1. Fuente: Ing. Paul Ortiz.....	56
Figura 17: Protocolo de pruebas. Fuente: Autores.....	60
Figura 18: Base real de datos. Fuente: Autores.....	70
Figura 19: Base de datos modificada. Fuente: Autores.....	70
Figura 20: Consumo real adquirido de las pruebas experimentales. Fuente: Autores. 71	
Figura 21: Ecuación de consumo. Fuente: Autores.	71
Figura 22: Consumo teórico de las pruebas experimentales. Fuente: Autores.	71
Figura 23: Consumo real vs consumo teórico. Fuente: Autores.	71
Figura 24: Error. Fuente: Autores.	72
Figura 25: Grafica de informe de los efectos cruzados. Fuente: Autores.	74
Figura 26: Grafica de informe de los efectos principales. Fuente: Autores.....	74
Figura 27: Proceso de desarrollo de la gráfica de contorno. Fuente: Autores.	75

Figura 28: Gráfica de contorno del circuito 1. Fuente: Autores.	76
Figura 29: Consumo real Ruta 4. Fuente: Autores.....	77
Figura 30: Ecuación de consumo. Ruta 4. Fuente: Autores.	77
Figura 31: Consumo teórico Ruta 4. Fuente: Autores.	78
Figura 32: Consumo real vs consumo teórico Ruta 4. Fuente: Autores.	78
Figura 33: Consumo real vs consumo teórico Ruta 4. Fuente: Autores	79
Figura 34: Gráfica de informe de efectos cruzados. Fuente: Autores.....	80
Figura 35: Gráfica de informe de efectos principales. Fuente: Autores.	80
Figura 36: Gráfica de contorno de Consumo Real vs Tiempo recorrido * Recorrido. Fuente: Autores	81
Figura 37: Gráfica de contorno de Consumo Real vs Tiempo recorrido * Drive motor speed. Fuente: Autores.	82
Figura 38: Gráfica de contorno de Consumo Real vs Tiempo recorrido * Drive motor speed. Fuente: Autores.	83
Figura 39: Gráfica de contorno de Consumo Real vs Tiempo recorrido * Drive motor speed. Fuente: Autores.	84
Figura 40: Base de datos correspondientes a 10 Km de recorrido. Fuente: Autores. ...	87
Figura 41: Análisis grafico del consumo en 10 Km recorridos. Fuente: Autores.....	88
Figura 42: Autonomía Cuenca vs Machala. Fuente: Autores.	91

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de cargas y sus características. Fuente: (Kia, 2015)	22
Tabla 2: Consideraciones Técnicas Ruta 1: Puerto de Embarque Jambelí – Av. Arízaga. Fuente: Plan de movilidad.	31
Tabla 3: Consideraciones Técnicas Ruta 2: Intersección de la Av. Bolívar Madero Vargas y Av. Arízaga – Calle Bolívar y Ayacucho. Fuente: Plan de movilidad.	35
Tabla 4: Consideraciones Técnicas Ruta 3: Intersección de las calles Bolívar y Ayacucho - Intersección de las calles Junín y Kléver Franco Cruz. Fuente: Plan de movilidad.	38
Tabla 5: Consideraciones Técnicas Ruta 3: Intersección de las calles Junín y Kléver Franco Cruz – Av. Central 25 de junio. Fuente: Plan de movilidad.	39
Tabla 6: Consideraciones Técnicas Ruta 4: Intersección de las Av. central 25 de junio y Palmeras - Intersección Av. 25 de junio y la calle 6. Fuente: Plan de movilidad.	43
Tabla 7: Consideraciones Técnicas Ruta 4: Intersección de la Av. 25 de junio y la calle 6 – Facultad de Ingeniería Civil. Fuente: Plan de Movilidad.	44
Tabla 8: Consideraciones Técnicas Ruta 5: Facultad de Ingeniería Civil – Parque Central El Cambio. Fuente: Plan de movilidad.	47
Tabla 9: Consideraciones Técnicas Ruta 6: Parque Central El Cambio – Parque Central de Machala. Fuente: Plan de movilidad.	50
Tabla 10: Consideraciones Técnicas Ruta 7: Parque Central – Puerto de Embarque Jambelí. Fuente: Plan de Movilidad.	53
Tabla 11: Comparaciones de las Rutas seleccionadas. Fuente: Autores.	54
Tabla 12: Datos obtenidos con el programa Emolab 2.0.1. Fuente: Autores.	63
Tabla 13: Resultados obtenidos del análisis de la correlación de Pearson. Fuente: Autores.	64
Tabla 14: Variables obtenidas de la correlación. Fuente: Autores.	66
Tabla 15: Variables influyentes. Fuente: Autores.	73
Tabla 16: Parámetros para el cálculo de la autonomía del VE. Fuente: Autores.	85
Tabla 17: Variables influyentes en la autonomía del VE. Fuente: Autores.	85
Tabla 18: Variable dependiente y variables independientes. Fuente: Autores.	86
Tabla 19: Tabla de resultados de los cálculos de autonomía del VE. Fuente: Autores.	87

PROBLEMA DE ESTUDIO

El principal problema que presentan los VE es su autonomía limitada, esta oscila entre valores de 80 y 200 Km dependiendo de sus factores de funcionamiento. (Electro Automotive).

Por esta razón es necesario estudiar la autonomía del VE Kia Soul en ciudades ubicadas geográficamente a nivel del mar para determinar su factibilidad e implementación para distintos tramos de funcionamiento.

La autonomía real del VE se ve afectada por diferentes variables que intervienen en el funcionamiento del mismo, tales como: modos de conducción, factores climáticos, posición geográfica, porcentaje de inclinación (pendiente), pesos existentes en el vehículo y congestión vehicular, las cuales intervienen de manera directa en su rendimiento.

1. OBJETIVOS

a. Objetivo General

- Determinar la autonomía del vehículo eléctrico Kia Soul, en rutas preestablecidas en la ciudad de Machala, a través de métodos experimentales para la determinación de la factibilidad e implementación de estos vehículos.

b. Objetivos Específicos

- Analizar el estado del arte mediante información bibliográfica para el estudio de la autonomía de VE en zonas de altura y nivel del mar.
- Definir las variables que afectan la autonomía del VE mediante diseño experimental y correlaciones de Pearson.
- Establecer rutas específicas mediante información de redes de transporte, para la ejecución de las pruebas experimentales en la ciudad de Machala.

- Adquirir datos mediante pruebas experimentales aleatorias para la obtención de la información del VE, a través de software.
- Analizar los resultados obtenidos de las pruebas experimentales para la validación de la autonomía del VE en la ciudad de Machala y compararlos con la autonomía del VE en relación a la ciudad de Cuenca.



Capítulo 1

ESTADO DEL ARTE

El presente capítulo trata sobre la historia del vehículo eléctrico y su evolución al pasar del tiempo, donde se describe los componentes que constituyen al VE y su funcionamiento, también se da a conocer las clases de vehículo eléctricos existentes y sus tipos de recarga. Se explica que es la autonomía de los VE y como se ha determinado en diferentes partes del mundo dependiendo de los ciclos de homologación que determinan la autonomía de los vehículos eléctricos.

1.1. HISTORIA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Dentro de la historia del automóvil, el vehículo eléctrico fue el primero vehículo creado antes que los de combustión interna o los motores a vapor, la propulsión eléctrica fue uno de los pioneros dentro del mundo del automóvil, en su inicio creado por prototipos miniatura que solo circulaba en una mesa redonda con dificultad de poder circular debido al peso de su batería. (Aguero, 2009)



Figura 1: Vehículo eléctrico. **Fuente:** (Aguero, 2009)

En Francia y gran Bretaña eran los países que mostraban mayor avance tecnológico en los vehículos eléctricos. Pero la verdadera innovación en vehículos eléctricos que



impresiono al mundo fue el record de velocidad que se alcanzó el 29 de abril de 1899 por “la Jamais contente”, nombre del coche que rompió la barrera de los 100 km/h, llegando a su máxima velocidad de 105,88 km/h. (Aguero, 2009)

El desarrollo del vehículo eléctrico comenzó debido a que el físico profesional, Alessand Guisepe Antonio Anastacio Volta fue quien desarrollo la pila que fue la precursora de la batería eléctrica, posterior a la creación de la pila el físico y químico, Michael Faraday que estudio electromagnetismo y electroquímica, estudios científicos que constituyen a los generadores y motores eléctricos, en el año 1831 fue inventado el primer motor eléctrico, según Michael Faraday “el magnetismo produce electricidad a través del movimiento”

Posterior a la creación de la pila eléctrica, el físico francés, Gaston Plante invento la primera batería de plomo-acido, siendo esta la primera batería recargable en la historia.

El estadounidense Charles Katthering patenta en el año 1915 un motor de arranque eléctrico para los vehículos, junto con el empresario Edward A. Deeds crean el laboratorio de ingeniería Dayton, firma conocida después por las iniciales que dieron a sus productos con el nombre DELCO.

En el año 1881 el francés carrocería Charles Jeantaud fabrico su primer vehículo eléctrico de 1400kg, este tenía un motor eléctrico alimentado con baterías alcalinas en donde cuya corriente para su funcionamiento la proporcionaban 21 baterías.



Figura 2: Automóvil eléctrico 1881 . **Fuente:** (Aguero, 2009)

Posterior a la creación del vehículo del francés Jeantaud, en 1888 el inglés Magnus Volk construyo un vehículo denominado “Dog-cart”.



Figura 3: Automóvil eléctrico. Dog Car. **Fuente:** (Aguero, 2009)

De acuerdo a todos estos inventos y a la creación de diferentes tipos de vehículos eléctricos propulsados con energía que se generaban por una gran cantidad de acumuladores, se creaban vehículos con autonomía de 4 a 5 horas con una velocidad promedio de 20Km/h. posterior a la creación de diferentes ejemplares eléctricos, el belga Camille Jenatzy construyó un vehículo eléctrico el cual fue bautizado como “Jamais Contente”, vehículo eléctrico equipado con neumáticos Michelin, siendo el primer vehículo eléctrico de la época que superó los 100 Km/h, alcanzando una velocidad promedio de 105 Km/h.

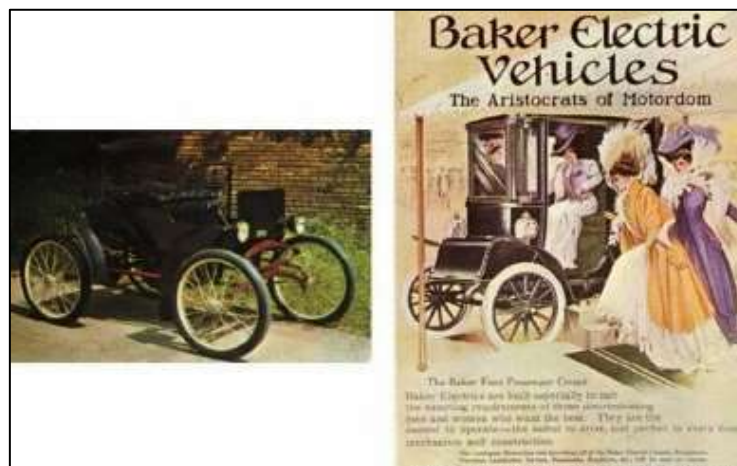


Figura 4: Automóvil eléctrico “Jamais Contete”. **Fuente:** (Aguero, 2009)



1.2. VEHÍCULO ELÉCTRICO

El vehículo eléctrico es un medio de transporte que utiliza energía química almacenada en sus baterías, para poder alimentar de energía al motor eléctrico y este pueda moverse.

“Un vehículo eléctrico es un vehículo impulsado por uno o más motores eléctricos. El sistema de tracción puede ser generada por ruedas o hélices impulsadas mediante motores eléctricos rotativos, o motores no rotativos como los motores lineales, los motores inerciales, aplican el magnetismo como fuente para propulsar el tren de fuerza del coche eléctrico, como se da el caso de los trenes con levitación magnética”. (Electromovilidad, 2018)



Figura 5: Vehículo Eléctrico. **Fuente:** Autores.

1.3. CLASES DE VEHICULOS ELECTRICOS.

En la actualidad, existen básicamente 3 clases de vehículos eléctricos, el vehículo eléctrico a base de baterías, el vehículo eléctrico de autonomía extendida y el vehículo híbrido.

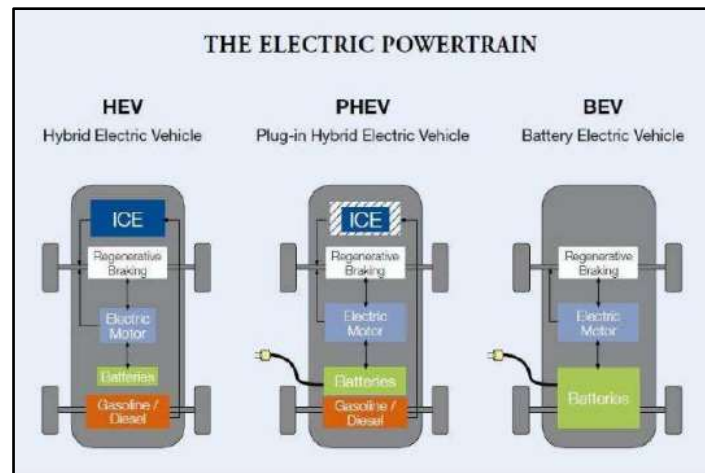


Figura 6: Clases de vehículos eléctricos. **Fuente:** (Martines G, 2013)

Los vehículos híbridos (HEV), son aquellos vehículos que cuentan con dos sistemas de propulsión, el primer sistema es un sistema con un motor eléctrico impulsado por acumuladores o baterías y el otro sistema es un a propulsión mecánica mediante un motor combustión interna que funciona en ciclo Atkinson.

El vehículo híbrido enchufable (PHEV), es aquel vehículo híbrido que cuenta con la posibilidad de recargar sus acumuladores eléctricos a partir de una red eléctrica.

Los vehículos eléctricos de autonomía extendida (BEV), solo cuentan con el sistema de propulsión eléctrica sin opción a una conexión a red eléctrica. (Monzón Jaso, 2011)

1.4. CARACTERISTICAS DE LOS VEHICULOS ELECTRICOS.

Los vehículos eléctricos presentan diferentes características que los diferencian de los motores de combustión interna, las cuales se describen a continuación.

- Los vehículos eléctricos se accionan mediante la energía eléctrica guardada o cargada dentro de una batería de alto voltaje. Este método previene la contaminación del aire, debido a que no existe la queda de combustible fósil y de esta manera evitando las emisiones al medio ambiente de gases contaminantes propios de un vehículo de combustión interna.
- El vehículo utiliza un motor de gran rendimiento, que n comparación con los vehículos que utilizan un motor de combustión, el ruido y las vibraciones se



ven minimizadas o casi suprimidas en el momento de conducción de este tipo de vehículos eléctricos.

- En el momento de conducir cuesta abajo o en una desaceleración se aplica el freno regenerativo, sistema mediante el cual se cargan las baterías de alto voltaje incrementando la autonomía del vehículo eléctrico. Ello minimiza la pérdida de energía y aumenta la distancia a vacío.
- Dependiendo de los tipos de carga, cuando la batería se encuentre con un nivel de carga insuficiente, esta se puede recargar mediante carga rápida, carga normal o la carga de mantenimiento, esta información se ve desglosada en los tipos de carga del vehículo eléctrico. (Kía, 2015).

1.5. COMPONENTES PRINCIPALES DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Para poder entender el correcto funcionamiento del vehículo eléctrico es necesario conocer los componentes que este tiene, en la figura 7 se describe los componentes principales que posee el vehículo eléctrico en estudio “Kia Soul 2015”, los componentes de este tipo de vehículos difieren con respecto a los vehículos diésel y a gasolina debido que su principio de funcionamiento está basado en un motor eléctrico.

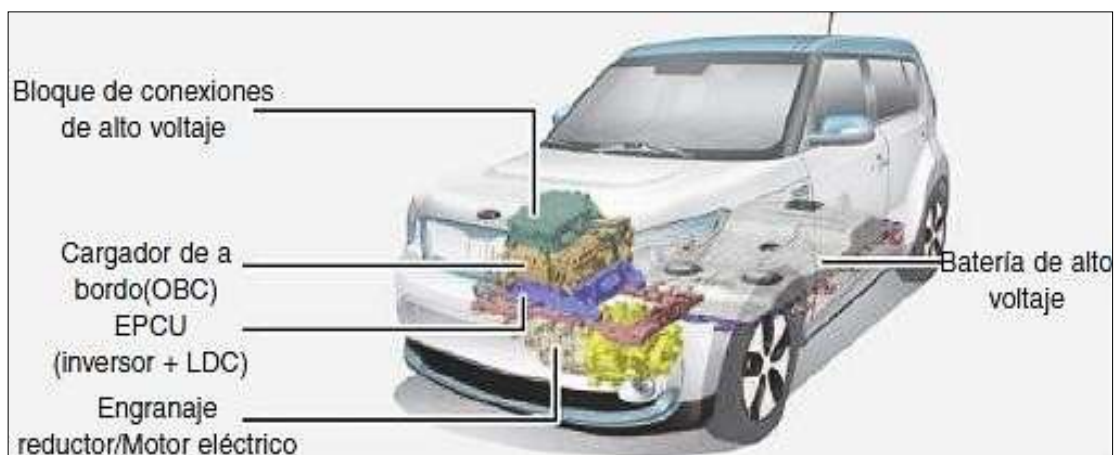


Figura 7: Partes principales del VE.

Fuente: (Kía, 2015)



1.5.1. Bloque distribuidor de alto voltaje.

Bloque encargado de suministrar la electricidad almacenada desde la batería de alto voltaje hacia el inversor, a LDC, compresor del aire acondicionado y el calefactor PTC.

1.5.2. Cargador para el Vehículo eléctrico.

Elemento externo que contiene el vehículo para poder recargar la batería de alto voltaje, es un tipo de carga lenta que puede ser conectado a una red de electricidad domiciliaria.

1.5.3. Inversor

Componente eléctrico encargado de convertir la corriente de continua a alterna para poder alimentar de electricidad al motor, y convertir la corriente de alterna a continua para recargar la batería de alto voltaje.

1.5.4. Convertidor de bajo voltaje.

Este componente eléctrico encargado de convertir la tensión de la batería de un alto voltaje a un bajo voltaje para alimentar de electricidad a los demás elementos del vehículo.

1.5.5. Motor eléctrico

La función del motor eléctrico es la de movilizar el vehículo eléctrico en si como los vehículos de combustión interna, utilizando la energía de la batería de alto voltaje que posee el VE.

1.5.6. Engranaje reductor

Este elemento hace la función de una caja de velocidades en los vehículos por combustión interna, encargada de suministrar la fuerza rotacional que genera el motor eléctrico hacia las ruedas con el par y la velocidad adecuado para su correcto funcionamiento.

1.5.7. Batería principal de alto voltaje



La batería de alto voltaje está dentro de los elementos con mayor importancia dentro de este tipo de vehículos eléctricos, debido a que son los acumuladores de energía para poder accionar al motor eléctrico del vehículo, están basados en polímero con iones de litio, para la alimentar los demás dispositivos eléctricos del vehículo, este consta con una batería extra de 12V que satisface estas necesidades.

Esta batería de alto voltaje puede reducir su capacidad cuando el vehículo se estacione durante un largo lapso de tiempo en lugares de temperaturas altas y bajas. Para este tipo de baterías se recomienda una carga normal para mantener la batería de alto voltaje en condiciones óptimas. En la figura 8 se aprecia la batería que utiliza el vehículo en estudio, la autonomía y el costo de un vehículo eléctrico dependen proporcionalmente a las características de la batería de alto voltaje. (Kía, 2015)



Figura 8: Baterías de Litio. Fuente: (Kía, 2015)

1.6. TIPOS DE CARGA DEL VEHICULO ELECTRICO.

En los tipos de carga se ve influenciado básicamente el tiempo que les toma el recargar completamente la batería del vehículo eléctrico, entre estos se encuentra:

1.6.1. Carga normal

En esta modalidad de carga se genera de forma normal o habitual, requiere de 5 horas a temperatura ambiente lo que va a permitir recargar el 100% de la batería.



1.6.2. Carga rápida

La modalidad de carga rápida permite que la batería alcance su 100% de carga en un tiempo inferior, pudiendo ser utilizado este tipo de carga en estaciones públicas, en donde el rendimiento y durabilidad de la batería pueden verse afectado si se aplica constantemente este tipo de carga. Tarda aproximadamente 20 minutos a temperatura ambiente hasta alcanzar un 80% del estado de la carga (cargador de 50Kw).

1.6.3. Carga de mantenimiento

Este tipo de carga puede ser aplicada mientras la carga normal y rápida no se encuentren utilizando la electricidad doméstica, requiriendo en esta modalidad mucho más tiempo, siendo necesario un tiempo estimado de 14 horas para alcanzar el 100% de la carga.

Dependiendo del estado y la durabilidad de la batería de alto voltaje empleado en los vehículos eléctricos, la especificación de la carga y las temperaturas ambiente, el tiempo necesario para cargar la batería de alto voltaje puede variar. (Kía, 2015)

1.6.4. Tipos de carga de baterías.

Para optimizar el tiempo de carga para las baterías, depende el tipo de cargador que se utilice en el VE, con ello se puede minimizar los tiempos de recargar las baterías.

A continuación, se muestra una tabla con los tipos de carga de baterías.



TIPOS DE CARGA					
CATEGORIA	ENTRADA DE CARGA (Vehículo)	CONECTOR DE CARGA	SALIDA DE CARGA	METODO DE CARGA	TIEMPO DE CARGA
Carga Normal				Use el cargador normal instalado en su hogar o en una estación de	Aprox. 5 horas (Temperatura Ambiente) (puede cargar al 100%)

Tabla 1: Tipos de cargas y sus características. **Fuente:** (Kia, 2015)



				carga pública	
Carga rápida				Use el cargador rápido de una estación de carga pública	Aprox. 30 min hasta alcanzar el 80% del estado de la carga. (Temperatura ambiente) (Se puede cargar directamente hasta el 94%)
Carga de mantenimiento				Use la electricidad doméstica	Aprox. 14 horas (temperatura ambiente) (permite cargar al 100%)

1.7. EFICIENCIA ENERGETICA.

La eficiencia energética en los VE es aproximadamente 3 veces superior a la eficiencia de los motores de combustión, debido a que estos no consumen energía cuando se encuentran sin movimiento y el vehículo se encuentre encendido, a diferencia de los vehículos de combustión interna que así estén sin movimiento continúan funcionando estando en ralentí lo que provoca un consumo de recursos y así disminuye su eficiencia energética. (Valera, 2011)

Según el manual de propietario de Kia, “un vehículo eléctrico se acciona mediante una batería y un motor eléctrico. Mientras que los vehículos convencionales se sirven de un motor de combustión interna, los vehículos eléctricos usan la energía eléctrica cargada al interior de una batería de alto voltaje. Por lo tanto, los vehículos eléctricos son respetuosos con el medio ambiente por no necesitar combustible y no emitir gases de escape”. (Kía, 2015)



Los motores eléctricos en cuanto a sus emisiones son mucho menos contaminantes que los vehículos que utilizan un motor de combustión, una de las desventajas en otros países es que para la generación de electricidad se basan en la combustión de fósiles los cuales generan altos niveles de contaminación ambiental. (Valera, 2011)

1.8. AUTONOMÍA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.

Se define como autonomía la Capacidad de un vehículo cualquiera para recorrer un espacio determinado sin necesidad de reponer su carga. (Eléctrico)

Para determinar la autonomía o el consumo de un vehículo eléctrico, es importante indicar en las condiciones o en que ciclo de homologación fue medido, dependiendo de las diferentes partes del mundo existen diferentes ciclos de homologación para determinar el consumo y la autonomía que arrojan los vehículos eléctricos.

El fabricante de un vehículo eléctrico entrega el dato de autonomía, este dato se refiere a los ciclos de homologación de pertenencia al mercado en el que se pondrá a la venta. Los más habituales son el ciclo NEDC y el EPA que se explican a continuación. (Rocano Y, 2018)

1.8.1. Ciclo NEDC (New European Driving Cycle)

Este ciclo contiene normativa estandarizada en la cual se basan los vehículos eléctricos que van a ser comercializados en el continente europeo.

Este ciclo estima el consumo urbano, extraurbano y mixto en una nave cerrada con la misma temperatura y presión atmosférica. Allí el coche permanece entre 20°C y 30°C durante un período comprendido entre 6 y 30 horas para que la temperatura de los líquidos del motor se estabilice. El kilometraje del coche debe estar entre 3.000 y 15.000 km.

La unidad de pruebas se coloca sobre un banco de rodillos con 22 posiciones prefijadas, que se mueven en función del peso del vehículo, simulando el consumo. A bordo sólo habrá un conductor y todos los sistemas eléctricos de desconectan. (Martínez, 2016)

1.8.2. Ciclo EPA (Environmental Protection Agency)



Este ciclo es conocido también como el ciclo FTP-75, es el método para homologar el consumo de los vehículos siendo EPA el organismo que legaliza dicho procedimiento.

En el caso del ciclo EPA la diferencia fundamental es que se separan las pruebas en ciudad y en autopista, con duraciones diferentes desde los 23 minutos hasta los 12 minutos. La velocidad media es de 77,4 km/h en autopista y de 31,7 km/h en la ciudad. (Martínez, 2016)



Capítulo 2

DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA LA SELECCIÓN DE RUTAS

Se define en este capítulo los parámetros para la selección de rutas según criterios de movilidad como congestión vehicular, vías rápidas, tipos de calzada entre otros. Para la selección de rutas se toma en cuenta los criterios establecidos en la ciudad de Cuenca para así generar un análisis comparativo de autonomía entre estas dos ciudades.

2.1. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE RUTAS

Las consideraciones que se toman para la selección de rutas en la ciudad de Machala son determinadas de acuerdo a criterios de movilidad, tomando en cuenta que las rutas deben de cubrir diferentes zonas de Machala con parámetros similares establecidos para la definición de rutas en la ciudad de Cuenca, siendo los criterios de selección:

- Congestión vehicular
- Tipos de calzada y vías de recorrido
- Velocidad máxima permitida
- Condiciones climáticas
- Posición geográfica
- Similitud de parámetros establecidos en Cuenca.

2.1.1. Congestión Vehicular

Se refiere a las condiciones de flujo vehicular que se saturan debido a la gran cantidad de vehículos en las vías.

Según el INEC para la ciudad de Machala hay aproximadamente 76.455 vehículos, que



en horas pico genera congestión vehicular en puntos específicos.

Para los vehículos eléctricos este parámetro generará un desgaste de autonomía en menor proporción en comparación a los vehículos que utilizan motores de combustión interna, debido a que la batería no entrega un consumo de corriente importante para vencer alguna fuerza de resistencia.

2.1.2. Vías de Recorrido y Tipo de Calzada

Es influyente por la razón de que para definir las rutas se han seleccionado vías con mayor frecuencia de uso para llegar a un destino final por parte de los usuarios, esto ayudará a obtener datos reales para la obtención del consumo de autonomía.

El tipo de calzada influye de manera directa en el modo de conducción de la persona; debido a las características del terreno el conductor acelerará o frenará de manera continua, mientras mayor sea la velocidad o los rangos no moderados de maniobra de conducción del vehículo, mayor será el gasto de la autonomía.

2.1.3. Velocidad Máxima Permitida

La velocidad es directamente proporcional a la cantidad de combustible consumido en motores de combustión interna, debido que al acelerar más el motor genera un mayor número de revoluciones provocando un mayor consumo de combustible, influyendo en esto aspecto factores como: aceleraciones bruscas y frenado repentinos.

Este parámetro es tomado en cuenta para corroborar si la autonomía del vehículo eléctrico se ve afectada según varíe la velocidad.

2.1.4. Factores climáticos

En los motores de combustión interna una parte del rendimiento del vehículo viene afectado por la temperatura exterior, cuando se incrementa la temperatura el aire contiene menos oxígeno, y esa circunstancia genera que la combustión no sea ideal, provocando bajo rendimiento.

En los vehículos eléctricos respecto a la ciudad de Machala, a mayor temperatura mejor es el rendimiento, debido a que se reduce la resistencia interna aumentando la velocidad de la reacción química de la batería, pero esta acción acorta la vida útil de la



misma causado por el proceso de corrosión que es provocada por el electrolito.

Como número general, una batería de ion litio que es capaz de entregar el 100% de su carga a 25°C, puede reducir su capacidad de entrega y almacenamiento de potencia hasta en un 30% a -18°C. (Alguacil, 2017)

2.1.5. Posición Geográfica

Machala está ubicada a una altitud de 6 msnm con una latitud: 3°15'30" S y longitud: 79°57'37" O, con un clima promedio de 22°C. (Geodatos, 2018)

Debido a la altura sobre el nivel del mar, el rendimiento de un automóvil se ve afectado debido a la densidad del aire de entrada al motor y en consecuencia a las prestaciones de toda máquina térmica. Este fenómeno ocasiona una caída de potencia y un menor torque.

En los vehículos eléctricos este fenómeno no existe, debido a que el motor utilizado no necesita de presión de aire para su funcionamiento, necesitando únicamente enfriar sus componentes electrónicos.

2.1.6. Similitud con Cuenca

Se toma en cuenta este parámetro debido a que los criterios que se debe analizar en la ciudad de Machala para la realización de las rutas, tienen que ser semejantes a los tomados en la ciudad de Cuenca, para así obtener un menor error en los resultados y realizar una comparación de autonomía más exacta.

En la ciudad de Cuenca se toma el parámetro de pendientes, pero debido a la geografía de Machala este parámetro no se considera.

2.2. DETERMINACIÓN DE RUTAS PARA CORRIDAS EXPERIMENTALES

Se presenta la determinación de las rutas en la ciudad de Machala mediante la descripción del estudio realizado, posteriormente se genera la adquisición de los datos, el análisis, después se validará la autonomía del vehículo eléctrico Kia Soul en Machala y finalmente se realizará la comparación de autonomía entre las ciudades de



Machala y Cuenca.

2.2.1. Descripción de las Rutas Establecidas

Una vez definido los criterios, se procede a determinar las rutas que cumplan con los parámetros requeridos:

2.2.1.1. Ruta 1: Puerto de Embarque Jambelí – Intersección de la Av. Bolívar Madero Vargas y Av. Arízaga.

La ruta 1 considera los siguientes parámetros:

- Vías de rápida circulación.
- Vías con mayor flujo de circulación.

Esta ruta consta de 3 carriles por dirección de vía para el flujo vehicular desde la Av. Bolívar Madero Vargas hasta la intersección de esta vía con la Av. Arízaga, con una longitud promedio de 4.6 km. La ruta es considerada como una vía de flujo rápida, con una velocidad de circulación máxima de 50 [km/h] y por vía de mayor circulación por el motivo de que conecta puntos de comercio marítimos y zonas lejanas con el centro de la ciudad. En la (Tabla 2) se detalla las características técnicas de la ruta 1.



Sitio de partida	Destino	Tiempo recorrido (Min)	Distancia recorrida (Km)	Velocidad máxima permitida
Puerto de Embarque Jambelí	Av. Arízaga	9 Min	4.6 Km	50 Km

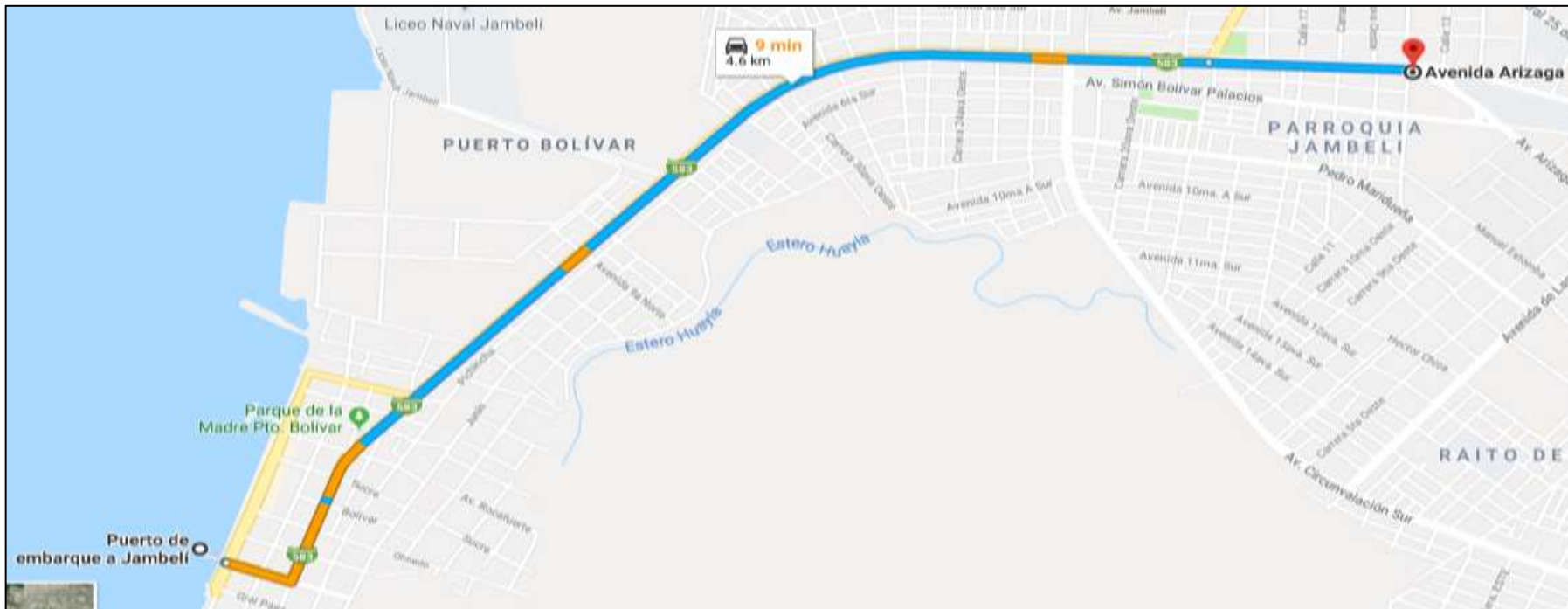


Figura 9: Ruta 1. Puerto de embarque Jambelí - Av. Arízaga. **Fuente:** Google Maps



DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA RED VIAL	NÚMERO DE CARRILES: 6	SENTIDO DE VÍA: SUROESTE - ESTE	ANCHO DE CARRILES: 4m
--	-----------------------	---------------------------------	--------------------------

Tabla 2: Consideraciones Técnicas Ruta 1: Puerto de Embarque Jambelí – Av. Arízaga. **Fuente:** Plan de movilidad.



NOMBRE DE LA VÍA: BOLÍVAR MADERO VARGAS		TIPO DE INTERSECCIÓN		PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE RUTA
Longitud de Vía (Km)	4,6 km	Semaforizada	9	* Límites de velocidad permitida
Direccionalidad	Doble vía	No Semaforizada	45	
No de Intersecciones	54	Calles en T	31	*Vías de mayor recorrido
Uniones con vías principales	11	Calles en Cruz	21	
Uniones con vías locales	43	Redondeles	1	
Capacidad promedio	10820	Puntos de distribución	1	



2.2.1.2. Ruta 2: Intersección de la Av. Bolívar Madero Vargas y Av. Arízaga – Calle Bolívar y Ayacucho

La ruta 2 considera los siguientes parámetros:

- Vías con mayor flujo de circulación
- Vías de rápida circulación.
- Congestión de flujo Vehicular.

Desde la Av. Arízaga hasta la intersección con la calle Junín, cuenta con una distancia de 1.6 Km, consta de 2 carriles de una sola vía la cual es considerada vía rápida, continuando por calles principales del centro de la ciudad de Machala hasta la intersección con la Bolívar y Ayacucho con una distancia de 4.8 Km que constan de 1 carril, este tramo se considera con congestión vehicular debido a ser calles que conectan los puntos principales del centro de la ciudad.

La ruta 2 tiene zona residencial y comercial amplia, considerada como una vía de rápida circulación, con una velocidad máxima de 50 [km/h].

La tabla 3 detalla las características técnicas de la ruta 2.



Sitio de partida	Destino	Tiempo recorrido (Min)	Distancia recorrida (Km)	Velocidad máxima permitida
Intersección Av. Bolívar Madero V. Y Arízaga.	Calle Bolívar y Ayacucho.	24 Min	6.4 Km	50 Km/h en la Av. Arízaga y 30 Km/h en calles del centro de la ciudad.

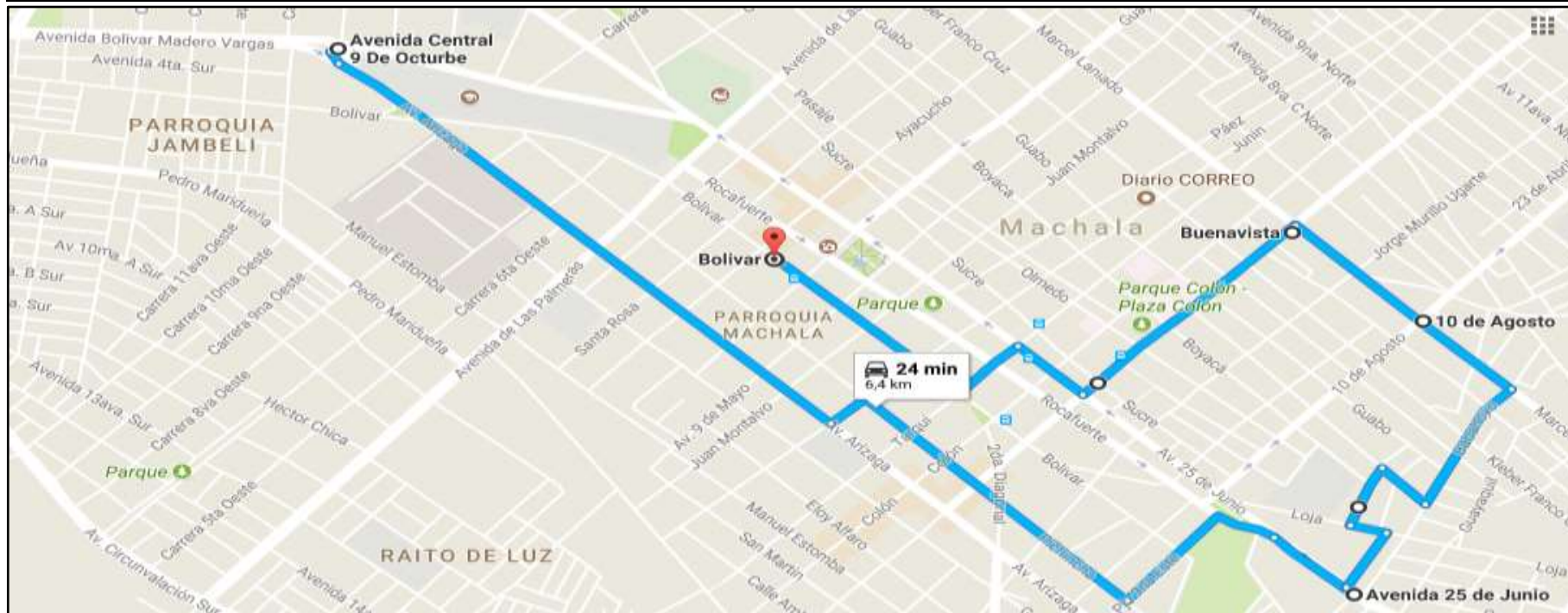


Figura 10: Ruta 2. Intersección de la Av. Bolívar Madero Vargas y Av. Arízaga – Calle Bolívar y Ayacucho. Fuente: Plan de movilidad.



Tabla 3: Consideraciones Técnicas Ruta 2: Intersección de la Av. Bolívar Madero Vargas y Av. Arízaga – Calle Bolívar y Ayacucho. **Fuente:** Plan de movilidad.

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA RED VIAL		NÚMERO DE CARRILES: 2	SENTIDO DE VÍA: ESTE - SURESTE	ANCHO DE CARRILES: 4m
NOMBRE DE LA VÍA: AV. ARÍZAGA		TIPO DE INTERSECCIÓN		PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE RUTA
Longitud de Vía (Km)	6,4 km	Semaforizada	9	* Límites de velocidad permitida
Direccionalidad	Una vía	No Semaforizada	44	*Vías rápidas
No de Intersecciones	53	Redondeles	0	
Uniones con vías principales	6	Puntos de distribución	1	*Congestión vehicular
		T	38	
Uniones con vías locales	47	Cruz	14	



2.2.1.3. Ruta 3: Calle Bolívar y Ayacucho – Av. Central 25 de junio.

La ruta 3 considera los siguientes parámetros:

- Congestión de flujo vehicular
- Vías con mayor flujo de circulación
- Vías de rápida circulación

La ruta 3 se divide en 2 secciones; en la primera sección se detalla las vías que provocan una mayor congestión vehicular, mientras que en la segunda sección se analiza las vías rápidas para los automóviles, comprobando de esta forma si la autonomía del Vehículo Eléctrico se ve afectada por la congestión vehicular. Debido a la congestión de flujo vehicular se generará aceleraciones y frenadas constantemente por lo que la batería va a ser consumida y regenerada repetidas veces

La siguiente ruta consta de una zona comercial dentro de la ciudad desde la calle Bolívar y Ayacucho hasta la intersección de las calles Junín y Kléver Franco Cruz (2.9 Km), todas las secciones de esta ruta tienen 2 carriles en un solo sentido, viéndose afectada por la congestión vehicular y por ser vías de mayor circulación.

Desde la intersección de Kléver Franco Cruz hasta el destino Av. Central 25 de junio (3.1 Km), se considera una vía rápida por ser vía principal.

La figura 11 muestra el mapa de la ruta 3.



Sitio de partida	Destino	Tiempo recorrido (Min)	Distancia recorrida (Km)	Velocidad máxima de circulación
Calle Bolívar y Ayacucho	Intersección Av. Central 25 de Junio y Las Palmeras.	25 Min	6 Km	30 km dentro de la ciudad - 50 Km vías principales.



Tabla 4: Consideraciones Técnicas Ruta 3: Intersección de las calles Bolívar y Ayacucho - Intersección de las calles Junín y Kléver Franco Cruz. **Fuente:** Plan de movilidad.

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA RED VIAL	NÚMERO DE CARRILES: 2	SENTIDO DE VÍA:SURESTE - SURESTE	ANCHO DE CARRILES: 4m
NOMBRE DE LA VÍA: CENTRO DE MACHALA	TIPO DE INTERSECCIÓN	PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE RUTA	



DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA RED VIAL		* Límites de velocidad permitida	
		NÚMERO DE CARRILES: 2	SENTIDO DE VÍA: SURESTE - SURESTE
Longitud de Vía (Km)	2.9 Km	Semaforizada	16
Direccionalidad	Una vía	No Semaforizada	10
No de Intersecciones	23	Redondeles	0
Uniones con vías principales	3	Puntos de distribución	0
		T	3
Uniones con vías locales	20	Cruz	20

*Vías de mayor circulación

*Congestión vehicular

Tabla 5: Consideraciones Técnicas Ruta 3: Intersección de las calles Junín y Kléver Franco Cruz – Av. Central 25 de junio. **Fuente:** Plan de movilidad.



NOMBRE DE LA VÍA: CENTRO DE MACHALA		TIPO DE INTERSECCIÓN		PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE RUTA
Longitud de Vía (Km)	3.1 Km	Semaforizada	13	* Límites de velocidad permitida
Direccionalidad	Una vía	No Semaforizada	15	*Vías de mayor circulación
No de Intersecciones	28	Redondeles	0	
Uniones con vías principales	4	Puntos de distribución	1	
		T	11	*Congestión vehicular
Uniones con vías locales	24	Cruz	17	



2.2.1.4. Ruta 4: 25 de junio y Palmeras – Facultad de Ingeniería Civil.

La ruta 4 considera los siguientes parámetros:

- Vías de mayor recorrido
- Vías de rápida circulación

La primera sección elegida es considerada de vías de mayor recorrido que cuenta con 2 carriles de doble sentido, esta ruta empieza desde la intersección de las Avenidas central 25 de junio y Palmeras hasta la intersección de la Avenida 25 de junio y la calle 6, con una velocidad máxima de 50 km/h.

La segunda sección consta de 3 carriles por sentido, considerada para este tramo como vías rápidas desde la intersección de la Avenida 25 de junio hasta la intersección con la Facultad de Ingeniería Civil. Con una velocidad máxima de 50 km/h.



Sitio de partida	Destino	Tiempo recorrido (Min)	Distancia recorrida (Km)	Velocidad máxima de circulación
Intersección Av. Central 25 de Junio y Las Palmeras.	Facultad de Ingeniería Civil.	26Min	11.2 Km	50 Km

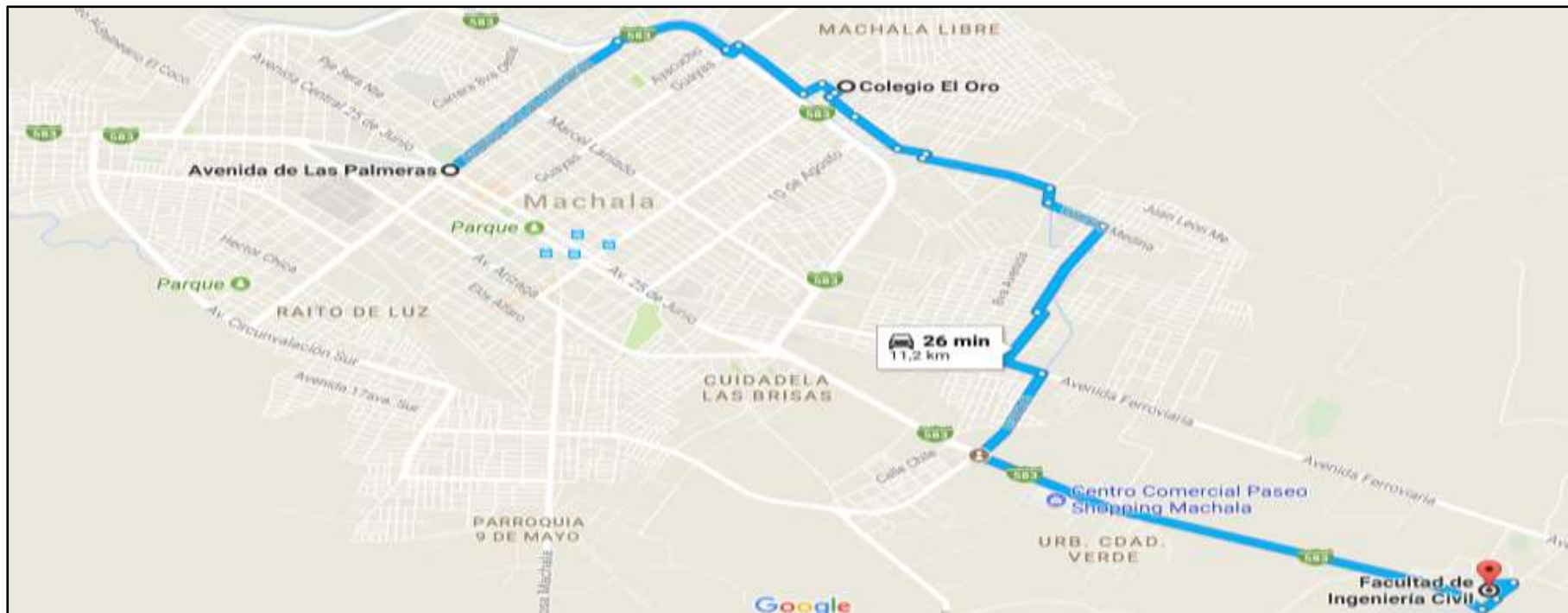


Figura 12: Ruta 4. Intersección Av. Central 25 de junio - Facultad de Ingeniería Civil. Fuente: Google Maps.



Tabla 6: Consideraciones Técnicas Ruta 4: Intersección de las Av. central 25 de junio y Palmeras - Intersección Av. 25 de junio y la calle 6.
Fuente: Plan de movilidad.

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA RED VIAL		NÚMERO DE CARRILES: 2	SENTIDO DE VÍA: SURESTE- ESTE	ANCHO DE CARRILES: 4m
NOMBRE DE LA VÍA: CENTRO DE MACHALA		TIPO DE INTERSECCIÓN		PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE RUTA
Longitud de Vía (Km)	8 Km	Semaforizada	11	* Límites de velocidad permitida
Direccionalidad	Doble vía	No Semaforizada	72	*Vías de mayor circulación
No de Intersecciones	82	Redondeles	1	
Uniones con vías principales	16	Puntos de distribución	2	
		T	25	
Uniones con vías locales	66	Cruz	17	



Tabla 7: Consideraciones Técnicas Ruta 4: Intersección de la Av. 25 de junio y la calle 6 – Facultad de Ingeniería Civil. **Fuente:** Plan de Movilidad.

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA RED VIAL		NÚMERO DE CARRILES: 4	SENTIDO DE VÍA: SURESTE - ESTE	ANCHO DE CARRILES: 4m
NOMBRE DE LA VÍA: 25 DE JUNIO		TIPO DE INTERSECCIÓN		PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE RUTA
Longitud de Vía (Km)	3.2 km	Semaforizada	0	* Límites de velocidad permitida *Vías de mayor recorrido
Direccionalidad	Doble Vía	No Semaforizada	10	
No de Intersecciones	10	Calles en T	1	
Uniones con vías principales	0	Redondeles	0	
Uniones con vías locales	10	Puntos de distribución	0	
		Calle en cruz	1	



2.2.1.5. Ruta 5: Facultad de Ingeniería Civil – Parque Central El Cambio

La ruta 5 considera los siguientes parámetros:

- Vías de rápida circulación.
- Tipos de calzada.

Esta ruta es de 2 carriles desde la facultad de ingeniería civil hasta la intersección de El cambio, cuenta con un cambio de calzada de asfalto gravilla y lastre en algunas zonas con una velocidad máxima de 60 Km.



Sitio de partida	Destino	Tiempo recorrido (Min)	Distancia recorrida (Km)	Velocidad máxima de circulación
Facultad de Ingeniería Civil	Universidad Técnica de Machala	11 Min	5.5 Km	60 Km

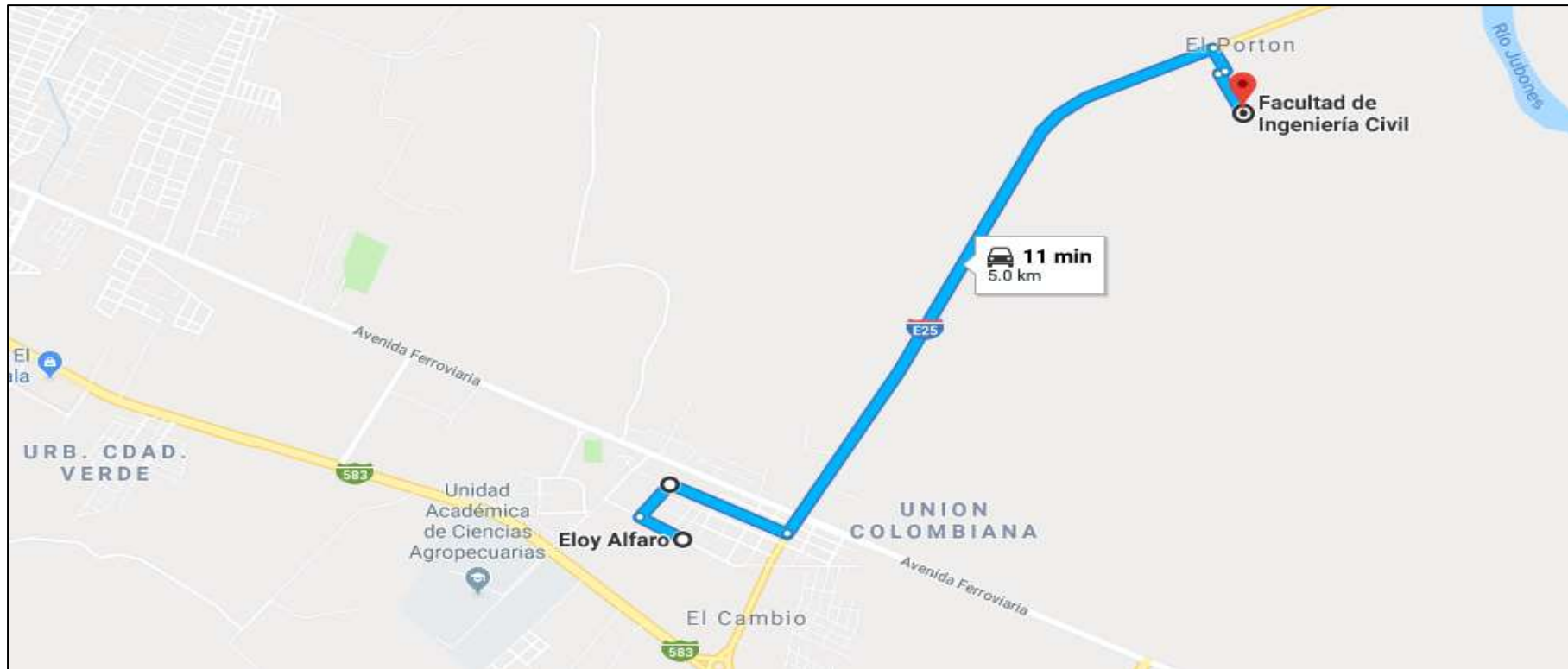


Figura 13: Ruta 5. Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Técnica de Machala. Fuente: Google Maps



Tabla 8: Consideraciones Técnicas Ruta 5: Facultad de Ingeniería Civil – Parque Central El Cambio. **Fuente:** Plan de movilidad.

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA RED VIAL		NÚMERO DE CARRILES: 4	SENTIDO DE VÍA: ESTE - NOROESTE	ANCHO DE CARRILES: 4m
NOMBRE DE LA VÍA: Troncal de la Costa		TIPO DE INTERSECCIÓN		PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE RUTA
Longitud de Vía (Km)	5 km	Semaforizada	0	* Límites de velocidad permitida
Direccionalidad	Doble Vía	No Semaforizada	16	
Capacidad Promedio	10820	Calles en T	3	*Tipo de calzada
No de Intersecciones	16	Redondeles	1	
Uniones con vías principales	3	Puntos de distribución	2	
Uniones con vías locales	13	Calles en cruz	3	



2.2.1.6. Ruta 6: Parque Central El Cambio – Parque Central de Machala.

La ruta 6 considera los siguientes parámetros:

- Vías de rápida circulación
- Vías con mayor recorrido

Consta de 2 carriles por sentido, desde la intersección de la calle Eloy Alfaro sector parque central El Cambio hasta la intersección con la autopista de El Cambio con una velocidad máxima de 50 Km/h, a partir de esa intersección la mayor parte del recorrido consta de 3 carriles con una zona residencial y comercial amplia.

La tabla 9 detalla algunas características de la ruta 6.



Sitio de partida	Destino	Tiempo recorrido (Min)	Distancia recorrida (Km)	Velocidad máxima de circulación
Universidad Técnica de Machala	Parque Central	20	9.5 Km	60 Km

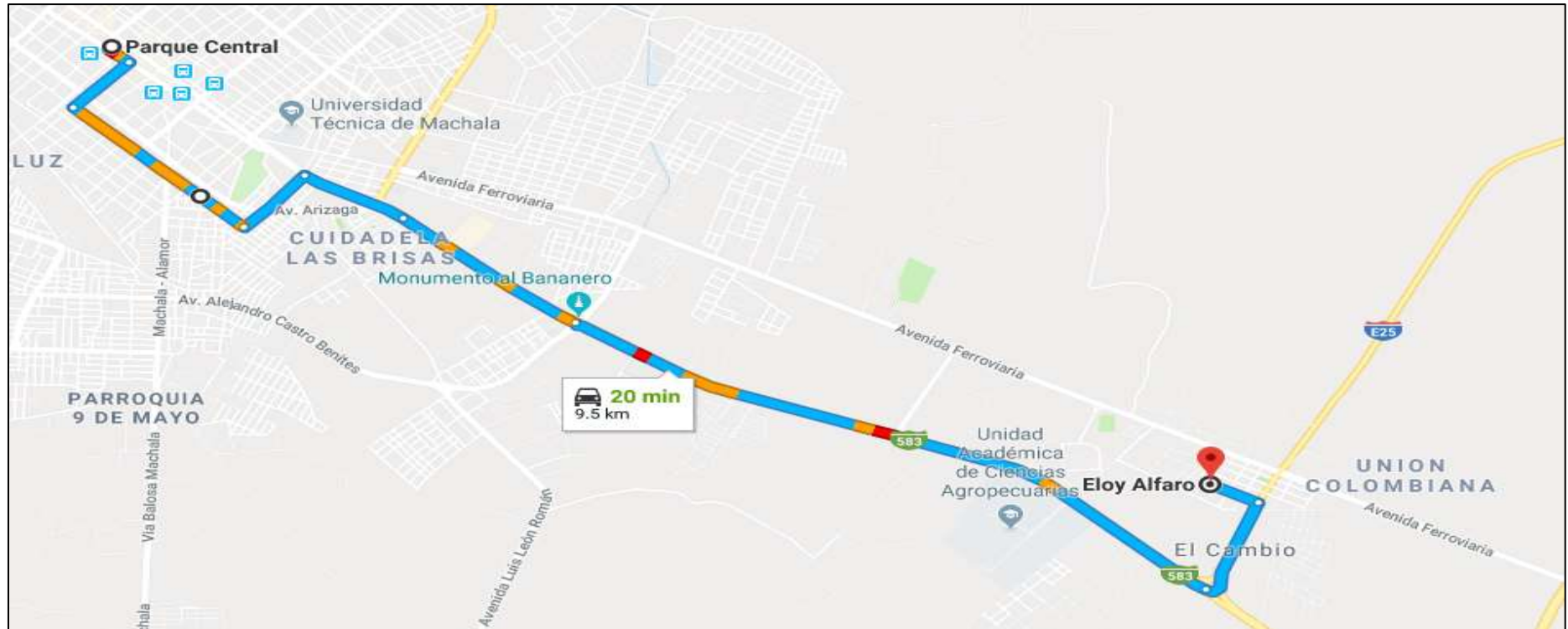


Figura 14: Ruta 6. Universidad Técnica de Machala– Parque Central. Fuente: Google Maps.



Tabla 9: Consideraciones Técnicas Ruta 6: Parque Central El Cambio – Parque Central de Machala. **Fuente:** Plan de movilidad.

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA RED VIAL		NÚMERO DE CARRILES: 6	SENTIDO DE VÍA: NOROESTE - SURESTE	ANCHO DE CARRILES: 4m
NOMBRE DE LA VÍA: Autopista El Cambio		TIPO DE INTERSECCIÓN		PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE RUTA
Longitud de Vía (Km)	9,5 km	Semaforizada	12	* Límites de velocidad permitida
Direccionalidad	Doble Vía	No Semaforizada	58	
No de Intersecciones	70	Calles en T	5	*Vías de mayor recorrido
Uniones con vías principales	11	Redondeles	1	
Uniones con vías locales	59	Puntos de distribución	2	
		Calles en cruz	7	



2.2.1.7. Ruta 7: Parque Central – Puerto de Embarque Jambelí

La ruta 7 considera los siguientes parámetros:

- Vías de rápida circulación
- Vías de mayor recorrido
- Congestión de flujo vehicular

Consta de 1 carril por sentido en la sección del Parque Central hasta la Av. Madero V, con gran congestión vehicular en horas pico debido a su amplia zona residencial y comercial, ya que está ubicada en el centro de Machala.

La tabla 10 detalla las características especificaciones técnicas de la ruta 7.



Sitio de partida	Destino	Tiempo recorrido (Min)	Distancia recorrida (Km)	Velocidad máxima de circulación
Parque Central	Puerto de Embarque Jambelí	17 Min	6.6 Km	60 Km

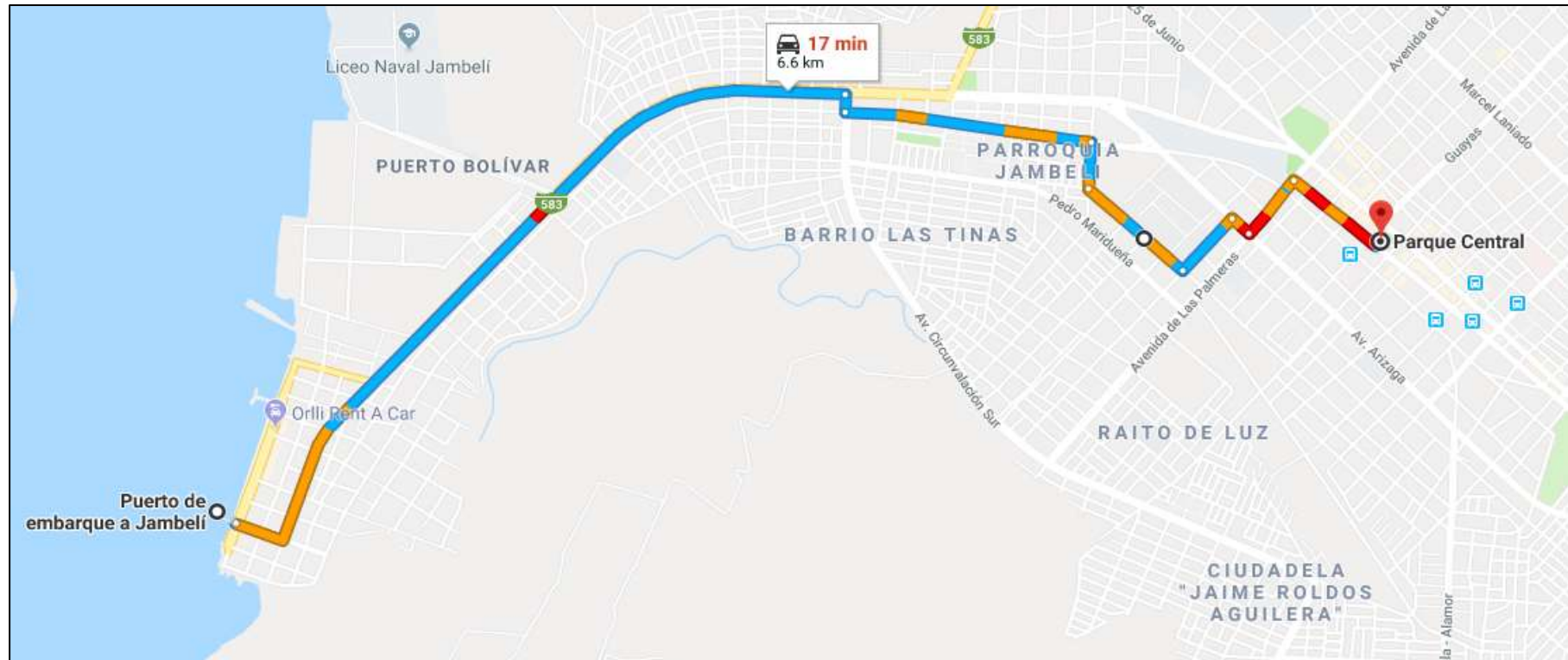


Figura 15: Ruta 7. Parque Central – Puerto de Embarque Jambelí. **Fuente:** Google Maps.



Tabla 20: Consideraciones Técnicas Ruta 7: Parque Central – Puerto de Embarque Jambelí. **Fuente:** Plan de Movilidad

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA RED VIAL		NÚMERO DE CARRILES: 2	SENTIDO DE VÍA: SURESTE - NOROESTE	ANCHO DE CARRILES: 4m
NOMBRE DE LA VÍA: BOLÍVAR MADERO VARGAS		TIPO DE INTERSECCIÓN		PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE RUTA
Longitud de Vía (Km)	6,6 km	Semaforizada	6	* Límites de velocidad permitida
Direccionalidad	Doble Vía	No Semaforizada	39	
No de Intersecciones	45	Calles en T	25	*Vías de mayor recorrido
Uniones con vías principales	11	Redondeles	4	
Uniones con vías locales	34	Punto de distribución	3	*Congestión vehicular
		Calles en cruz	0	



2.3. COMPARACIÓN DE RUTAS ENTRE MACHALA Y CUENCA CON RESPECTO A CRITERIOS DE MOVILIDAD

En la siguiente tabla se presenta la comparación de las rutas realizadas en la ciudad de Machala con las rutas de la ciudad de Cuenca, con respecto a criterios de movilidad. Es importante mencionar que en la ciudad de Machala los criterios como pendientes no se toman debido a su geometría en la ciudad.

Tabla 11: Comparación de rutas con respecto a criterios de movilidad.

Fuente: Autores

COMPARACIÓN DE RUTAS			
RUTA	MACHALA	CUENCA	CRITERIOS DE MOVILIDAD
1	Puerto de Embarque Jambelí - Av. Arízaga	Universidad Politécnica de Machala - Control Sur	- Vías de rápida circulación - Vías con mayor flujo de circulación
2	Intersección Av. Bolívar Madero V. Y Arízaga - Calle Bolívar y Ayacucho	Control Sur – Universidad Estatal de Cuenca	- Vías con mayor flujo de circulación - Vías de rápida circulación - Congestión de flujo Vehicular
3	Calle Bolívar y Ayacucho - Intersección Av. Central 25 de junio y Las Palmeras	Av. 3 Noviembre – Tarqui y Mariscal Sucre	- Congestión de flujo vehicular - Tipo de calzada - Vías con mayor flujo de circulación
4	Intersección Av. Central 25 de junio y Las Palmeras - Facultad de Ingeniería Civil	Presidente Borrero – Av. Huayna Cápac	- Congestión de flujo vehicular - Vías de mayor recorrido - Vías de rápida circulación
5	Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Técnica de Machala	Camino del Valle – Mirador Turi	- Vías de mayor recorrido - Vías de rápida circulación - Tipo de calzada
6	Universidad Técnica de Machala - Parque Central	Mirador Turi – Baños de Cuenca	- Vías de rápida circulación - Pendientes - Vías de mayor recorrido
7	Parque Central - Puerto de Embarque Jambelí	Baños – Universidad Politécnica Salesiana.	- Vías de rápida circulación - Pendientes - Vías de mayor recorrido - Congestión de flujo vehicular



Capítulo 3

ADQUISICIÓN DE DATOS MEDIANTE SOFTWARE EMOLAB 2.0.1

En este capítulo se presenta el proceso para la adquisición de la base de datos a través del Software Emolab 2.0.1, estos datos son obtenidos al realizar las pruebas experimentales, los cuales serán analizados para obtener las variables que son más influyentes para el consumo de la autonomía en la ciudad de Machala.

3.1 SOFTWARE EMOLAB 2.0.1

El software Emolab 2.0.1 es un programa de ingeniería desarrollado en LabVIEW por el ingeniero Paúl Ortiz, este programa permite visualizar y adquirir datos que son generados a través de la conexión con el OBD II del vehículo eléctrico, el cual muestra diferentes variables como: temperatura de la batería, tiempo de recorrido, porcentaje de aceleración, velocidad, torque generado, kilometraje, el porcentaje de carga de la batería, etc., estas van a ser analizadas para definir las variables con mayor influencia en la autonomía del VE en la ciudad de Machala.



Figura 16: Ventana Principal. Software Emolab 2.0.1. **Fuente:** Ing. Paul Ortiz.

3.2. CONSIDERACIONES PARA LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

La autonomía del VE en la ciudad de Machala está afectada debido a condiciones que intervienen en su funcionamiento como: modos de conducción, pesos existentes en el vehículo, sistemas adicionales de funcionamiento para el confort del manejo, las cuales intervienen de manera directa en su rendimiento.

3.2.1. Modos de conducción

Las características de conducción hacen referencia al comportamiento que el conductor tiene con la forma de manejo de su vehículo. Factores como el estilo de conducción afectará de manera directa a la autonomía, que se verá reducida ante cambios bruscos de velocidad o velocidades elevadas durante un tiempo prolongado. Una conducción moderada disminuye el consumo de corriente eléctrica alargando de esta forma el voltaje de la batería.

A continuación, se detallará los parámetros que intervienen en la conducción.



3.2.1.1. Análisis que intervienen en la conducción

La conducción se ejerce en 3 niveles de actividades.

- Nivel de control: se refiere a mantener un vehículo en una trayectoria determinada
- Nivel de maniobra: es evitar otros vehículos, esto hace referencia a girar a cualquier lado para evitar obstáculos o tránsito.
- Nivel de planificación: define a la intervención anticipada que el conductor tendrá sobre el vehículo antes de desarrollar alguna maniobra o desplazamiento.

3.2.1.2. Información de percepción y conducción

La única guía para un conductor es la visión, debido a que tiene que anticipar sus acciones cuando maneja un vehículo en desplazamiento. (Caparrós, 2012)

Información proporcionada al conductor por la visión:

- Características de entorno: El entorno y lugar por donde se circula va a definir la seguridad vial en el manejo de los vehículos. El conductor es un factor importante que influye en la elección de la velocidad en función de las condiciones de la vía.
- Posición relativa ocupada en un determinado instante: Es la relación entre el campo de visión o la visibilidad existente en ciertas vías y la velocidad a la que se circula con los vehículos.
- Elementos claves respecto a la orientación del entorno: La ubicación de acuerdo al entorno son factores que contribuyen en la selección de la velocidad, mientras menos obstáculos o peligro laterales tenga la vía en circulación mayor será el índice de velocidad.
- La velocidad de desplazamiento: El gasto de voltaje se verá afectada de manera directa de acuerdo a la velocidad de desplazamiento, es decir si el conductor acelera de forma brusca la autonomía de la batería tendrá un mayor gasto en comparación con un conductor que mantenga un estilo moderado de conducción.
- La velocidad es un factor que desgasta la energía de la batería de forma exponencial según se aumenta la misma. Los vehículos eléctricos



normalmente están limitados electrónicamente a 130-150 km/h para no consumir rápidamente las baterías; aunque el punto óptimo de eficiencia suele estar entre 90 y 110 km/h. (Emobility, 2018)

- El tiempo de reacción hacia un objeto: La velocidad de desplazamiento de los elementos del entorno de conducción pueden indicar la velocidad propia del vehículo. Esta condición no indica la velocidad ni la distancia del otro objeto, sino "el tiempo de respuesta antes de un choque contra otro objeto a una velocidad constante". (Marín.)

3.2.2. Pesos Existentes en el Vehículo

En el caso del conductor y ocupantes, mientras mayor peso existente en el vehículo mayor será el desgaste de la autonomía, debido a que el vehículo generará mayor consumo de corriente para vencer la fuerza de fricción de la calzada.

Es importante conocer el peso con el que se inicia el muestreo, esta no puede ser alterada entre las muestras debido a que se modificaría la entrega de torque y potencia del vehículo.

3.2.3. Sistemas de funcionamiento adicionales del Vehículo

3.2.3.1. Sistema de eleva vidrios: el sistema de eleva vidrios se activa mediante una batería diferente a la de alto voltaje. Para las muestras obtenidas todos los vidrios estuvieron cerrados.

3.2.3.2. Sistema de aire acondicionado: este sistema al igual que la calefacción consumen energía de la batería principal (alto voltaje), provocando un gasto de autonomía. Para las pruebas realizadas el aire acondicionado estuvo prendido en 20°C.

3.2.3.3. Sistemas de iluminación y audio: para las muestras tomadas estos dos sistemas estuvieron apagados, estos sistemas adquieren energía de una batería de 12v.



3.3. PROTOCOLO DE PRUEBAS

Una vez definida las rutas, se procede a la realización de las pruebas experimentales en la ciudad de Machala la cual está ubicada a una altitud de 6 msnm, con una temperatura promedio de 22°C. (Geodatos, 2018).

Todas las muestras tomadas en el software Emolab 2.0.1., cumplen una serie de pasos que deben de ser realizados para una toma de datos segura.

Para generar las corridas experimentales se realizó el siguiente protocolo:

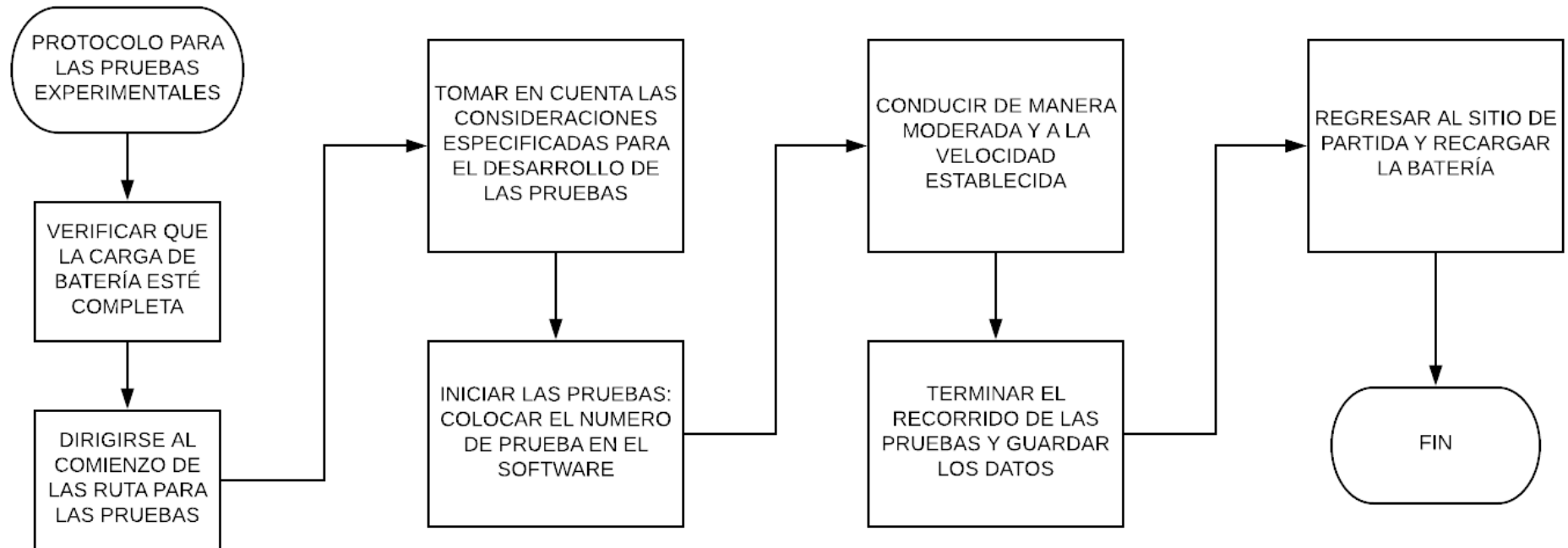


Figura 17: Protocolo de pruebas. Fuente: Autores.



El protocolo se realizó en todas las pruebas experimentales con los siguientes pasos.

1. Se debe verificar que la carga de la batería esté al 100%, para que no haya problema de análisis posteriormente.
2. Dirigirse al comienzo de la ruta, para proceder a las corridas experimentales.
3. Considerar todos los parámetros ya mencionados, antes de comenzar las pruebas.
4. Colocar el número de prueba que se va a realizar y comenzar la ruta.
5. En el transcurso de la prueba se debe considerar los límites de velocidad establecidos y conducir de forma moderada.
6. Al momento de terminar las rutas se guarda la prueba realizada.
7. Regresar al sitio de partida.

3.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO MEDIANTE CORRELACIONES DE PEARSON

Al realizar las pruebas experimentales el software adquiere 52 variables (tabla 12), pero no todas aportan información significativa en el estudio, por esta razón se debe generar un análisis de Pearson para identificar las variables más influyentes con respecto al consumo de autonomía en la ciudad de Machala.

3.3.1. Obtención de variables influyentes mediante correlación de Pearson

3.3.1.1 Correlaciones de Pearson

Si se tiene dos variables X y Y, sus valores oscilaran entre -1 y $+1$. En este sentido $+1$, indica la relación entre las variables es perfecta positiva, esto quiere decir que ambas variables están íntimamente relacionadas, por el contrario -1 indica una relación perfecta negativa, lo que significa que las variables no tienen una directa relación. (W., 2012)



3.3.1.2. Selección de variables mediante índices de Pearson

De todos los datos obtenidos Tabla (12), las variables de mayor importancia será el tiempo que dura la prueba (Time [HH:MM: SS]), el consumo de batería (SOC [%]), la distancia recorrida (Odometer [Km]) el torque del motor comandado ([Nm]) y la velocidad de recorrido (Speed [Km h]) , datos que se relacionaran para obtener el consumo de batería en cada corrida experimental, la altitud es una variable muy importante si se trata de obtener una autonomía real del vehículo, pero esta no se toma en cuenta debido a que la ciudad de Machala está a nivel del mar y sus valores para las pruebas tomadas varían entre 5 a a15 msnm, valores que son insignificantes para las pruebas realizadas.



Tabla 3: Datos obtenidos con el programa Emolab 2.0.1. **Fuente:** Autores

Time [HH:MM:SS]	Accel Pedal [%]	Speed [Kmh]	SOC [%]	Available Charge Power [KW]	Available Discharge [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]	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]	Alt (MSL)[m]



Tabla 4: Resultados obtenidos del análisis de la correlación de Pearson.
Autores.

Fuente:

Correlación: Time [HH:MM: TIEMPO RECOR; CONSUMO; Drive Motor; Gear State P;			
Time [HH:MM: SS]	TIEMPO RECORRIDO	CONSUMO	
Drive Motor Speed TIEMPO RECORRIDO	1,000		
CONSUMO	0,988 0,000	0,988 0,000	
Drive Motor Speed	-0,296 0,000	-0,296 0,000	-0,264 0,000
RECORRIDO -0,283	0,995 0,000	0,995 0,000	0,987 0,000
Timestamp [ms] -0,296	1,000 0,000	1,000 0,000	0,988 0,000
pitch [Grados] 0,207	-0,007 0,809	-0,007 0,809	-0,002 0,938
yaw [Grados] 0,429	-0,345 0,000	-0,345 0,000	-0,290 0,000
Zacc [m/s ²] 0,021	-0,006 0,834	-0,006 0,834	-0,005 0,857
Motor torque com -0,069	0,013 0,651	0,013 0,651	0,010 0,728
0,016			



Drive motor speed 1,000	0,896 0,000	0,896 0,000	-0,864 0,000
Gear State B ECO OFF Switch Charge Cancel			
Zacc [m/s2]	Timestamp [ms]	pitch [Grados]	yaw [Grados]
pitch [Grados]	-0,007 0,808		
yaw [Grados]	-0,345 0,000	0,082 0,004	
Zacc [m/s2]	-0,006 0,834	0,010 0,737	0,007 0,816
Motor torque com -0,065 0,025	0,013 0,651	0,297 0,000	-0,012 0,667
Drive motor speed 0,821 0,810	-0,896 0,000	0,807 0,000	0,729 0,000
Drive motor speed	Motor torque com -0,069 0,016		
Contenido de la celda: Correlación de Pearson Valor p			



3.5. Variables de estudio

Al realizar el análisis de correlación de Pearson se determina que las variables que muestren un análisis estadístico mayor a +/- 0.8, son variables que representan una mayor influencia en el consumo de autonomía, siendo estas:

3.3.1.1. Velocidad del recorrido

3.3.1.2. Distancia de Recorrido

3.3.1.3. Tiempo de Recorrido

Se le considera al torque comandado para verificar si esta variable tiene influencia de acuerdo a la geometría plana de la ciudad.

3.3.1.4. Motor torque comandado

Tabla 5: Variables obtenidas de la correlación. **Fuente:** Autores.

VARIABLES SELECCIONADAS				
<i>Tiempo de recorrido</i>	<i>Torque de motor comandado</i>	<i>Distancia Recorrido</i>	<i>SOC</i>	<i>Velocidad</i>
[hh:mm: ss]	[Nm]	[m]	[%]	[kmh]



ESTUDIO Y DETERMINACIÓN DE AUTONOMÍA DEL VE EN LA CIUDAD DE MACHALA.

Este capítulo trata sobre la determinación de autonomía del VE para la ciudad de Machala, para lo cual se genera un análisis previo de la base de datos obtenida a través del software EMOLab 2.0.1, el cual recopila los datos generados en las diferentes pruebas de las rutas experimentales.

Con los valores de las diferentes pruebas de rutas que se realiza se procesa la información y se muestra de manera gráfica la variación del consumo de autonomía de manera real y teórica, se analiza cómo afectan las variables con mayor influencia en la autonomía del VE.

Mediante un análisis matemático de los valores obtenidos se determina la autonomía que representa el vehículo eléctrico en la ciudad de Machala.

4.1. Base de datos.

El software EMOLab 2.0.1 genera una base de datos que indica el comportamiento del vehículo eléctrico en tiempo real, donde se observa la variación de cada una de las variables según se realiza la prueba experimental de la ruta, los datos obtenidos directamente del software EMOLab se encuentran como se observa en la figura siguiente.



Time [HH:MM:SS]	Odometer [Km]	Alt (MSL)[m]	Drive Motor Speed [rpm]	Motor Torque Command [Nm]	SOC [%]
9:40:55	10073,8	0	0	1,4	85
9:40:56	10073,8	0	0	1,5	85
9:40:57	10073,9	0	0	34	85
9:40:58	10073,9	0	100	61	85
9:40:59	10073,9	0	300	56,5	85
9:41:00	10073,9	0	500	51,6	85
9:41:01	10073,9	0	700	60,6	85
9:41:02	10073,9	0	900	57,3	85
9:41:03	10073,9	0	1000	55,2	85
9:41:04	10073,9	0	1200	51,1	85
9:41:05	10073,9	0	1400	50,7	85
9:41:06	10073,9	0	1500	46,9	85
9:41:07	10073,9	0	1700	37	85
9:41:08	10073,9	0	1700	8,4	85

Figura 18: Base real de datos. **Fuente:** autores.

De acuerdo a los datos obtenidos es necesario la transformación de algunas variables para poder ser analizadas, las cuales son:

- El tiempo de recorrido. Para poder determinar el tiempo de recorrido es necesario una transformación de la variable time [HH:MM:SS] de la base de datos que genera el programa ya que este indica la variación en tiempo real, para lo cual se realiza una resta entre la hora actual menos la hora de inicio de la ruta, dando como resultado el tiempo de duración del recorrido.
- Distancia recorrida. Para poder determinar la distancia recorrida es necesario una transformación de la variable Odometer [Km] de la base de datos que genera el programa, ya que este indica la variación de kilómetros recorridos según el odómetro del vehículo, se realiza una resta entre el kilometraje actual menos el kilometraje en el que se inició la prueba experimental, dando como resultado la distancia de recorrido.
- Consumo de autonomía. Para poder determinar el consumo de autonomía es necesario una transformación de la variable SOC [%] de la base de datos que genera el programa, ya que este indica el estado de la carga que dispone la batería en tiempo real, para ello se realiza una resta entre el porcentaje de batería actual menos el porcentaje de la batería cuando se inició la prueba experimental, dando como resultado el consumo de autonomía.

Una vez transformada las variables se procede a generar el análisis y determinar la autonomía en la ciudad de Machala, quedando una nueva base de datos.



TIEMPO RECORRIDO	RECORRIDO (KM)	Alt (MSL)[m]	Drive Motor Speed [rpm]	Motor Torque Command [Nm]	CONSUMO REAL
0:00:00	0	0	0	1,4	0
0:00:01	0	0	0	1,5	0
0:00:02	0,1	0	0	34	0
0:00:03	0,1	0	100	61	0
0:00:04	0,1	0	300	56,5	0
0:00:05	0,1	0	500	51,6	0
0:00:06	0,1	0	700	60,6	0
0:00:07	0,1	0	900	57,3	0
0:00:08	0,1	0	1000	55,2	0
0:00:09	0,1	0	1200	51,1	0
0:00:10	0,1	0	1400	50,7	0
0:00:11	0,1	0	1500	46,9	0
0:00:12	0,1	0	1700	37	0
0:00:13	0,1	0	1700	8,4	0

Figura 19: Base de datos modificada. **Fuente:** autores.

4.1.1. Esquematización de la base de datos obtenida en las rutas experimentales.

Para generar las gráficas de consumo de los valores obtenidos en las rutas experimentales en la ciudad de Machala, se basa en la plataforma de Excel, en la cual se procesa los datos obtenidos y se grafica los resultados de los valores reales y teóricos de cada ruta.

Para la gráfica del consumo real se toman los valores obtenidos mediante el programa EMOLab 2.0.1, que son los datos que se obtienen de manera real en cada una de las pruebas experimentales del circuito. Se toma en cuenta todo el circuito conformado por las 7 rutas para graficar de manera completa la variación del consumo de la autonomía vs tiempo.

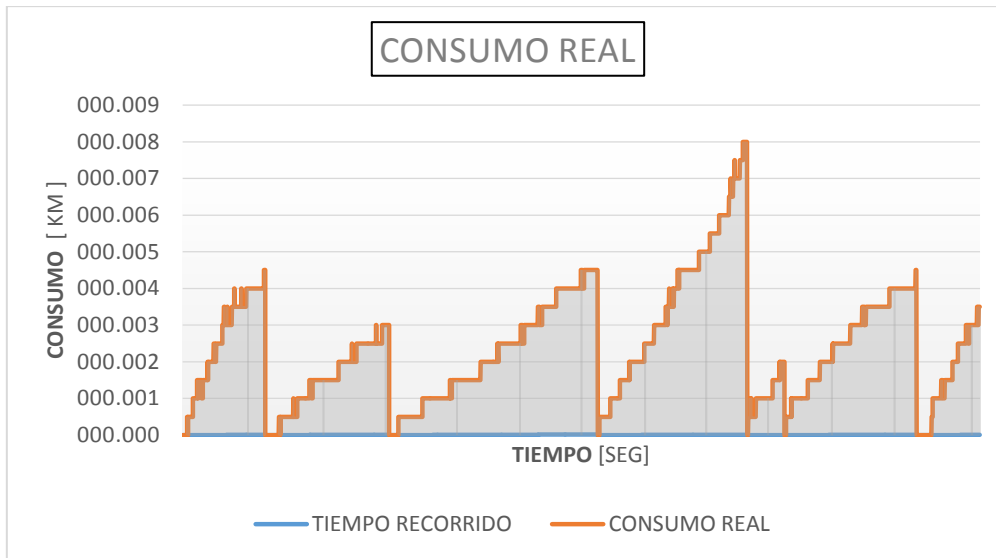


Figura 20: Consumo real adquiridas en las pruebas experimentales. **Fuente:** Autores.

Una vez obtenida la gráfica del consumo real de la autonomía del VE, se observa el consumo que presenta cada una de las 7 rutas que conforman el circuito, en donde se observa que la ruta con mayor consumo que se genera en el circuito es la ruta 4, debido a que es la ruta con mayor distancia de recorrido en kilómetros lo cual afecta directamente al consumo de la autonomía. Todas las rutas tienen la misma inclinación en la gráfica del consumo real, lo que indica que el consumo en todas las rutas es similar debido a que la ciudad de Machala representa una geografía plana sin mucha variación de parámetros influyentes en sus rutas.

La gráfica del consumo teórico se realiza a base de los datos obtenidos mediante la ecuación que genera el software de ingeniería. Esta ecuación se adapta a la variación del consumo según varían los parámetros influyentes.

Regresión múltiple para CONSUMO
Informe de construcción del modelo

X1: TIEMPO RECOR X2: RECORRIDO X3: Drive Motor X4: Motor Torque

Ecuación final del modelo

$$\text{CONSUMO} = -0,0034 + 46,48 X1 + 0,59929 X2 - 0,000010 X3 - 0,000006 X4 + 0,016603 X2^2 + 0,000000 X3^2 - 8,678 X1 * X2 + 0,009867 X1 * X3 - 0,000020 X2 * X3 - 0,000000 X3 * X4$$

Figura 21: Ecuación del consumo. **Fuente:** Autores.

Generada la ecuación del consumo, se obtienen los valores teóricos de la variación del consumo, esta ecuación genera variables las cuales dependen de los parámetros influyentes que son: tiempo recorrido (X1), recorrido (X2), drive motor Speed (X3) y motor torque command (X4).

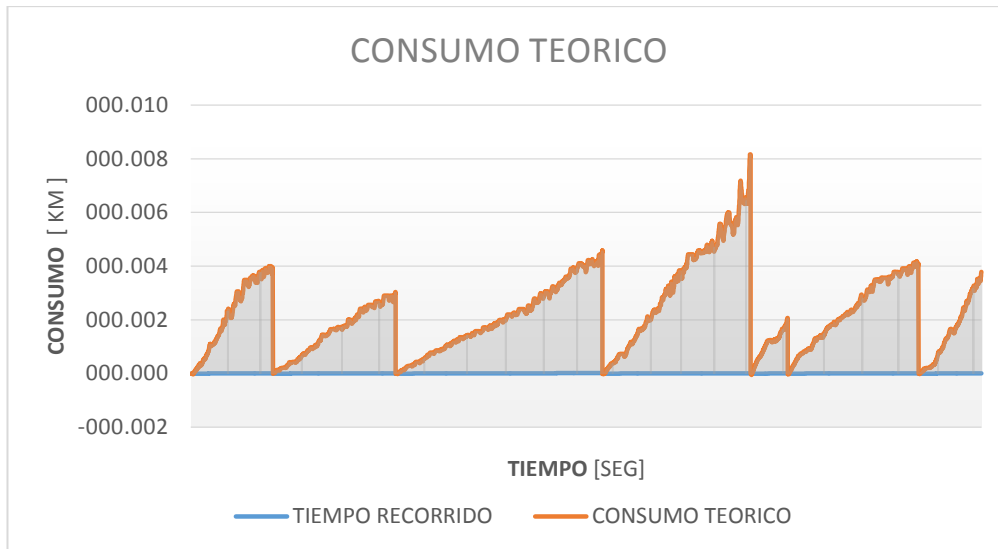


Figura 22: Consumo teórico de las pruebas experimentales. **Fuente:** Autores.

Realizada las dos gráficas del consumo real vs consumo teórico, se puede obtener el error o la variación que existe entre estas gráficas, esto indica el nivel de confiabilidad que se puede tomar en la obtención de los datos.

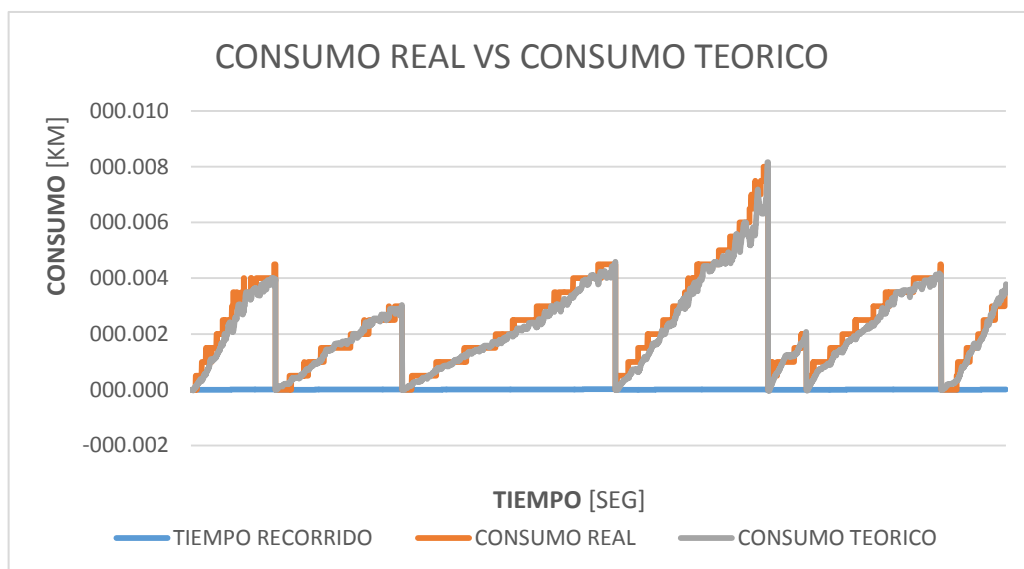


Figura 23: Consumo real vs consumo teórico. **Fuente:** Autores.

En la gráfica superior se puede observar la estimación de los consumos generados real vs teórico, en donde la gráfica de color tomate representa la variación del consumo real del VE en la ciudad de Machala, la gráfica de color gris se genera mediante la



ecuación la cual se puede observar cómo sigue y se adapta a la gráfica del consumo real en donde existe una pequeña variación o un pequeño margen de error.

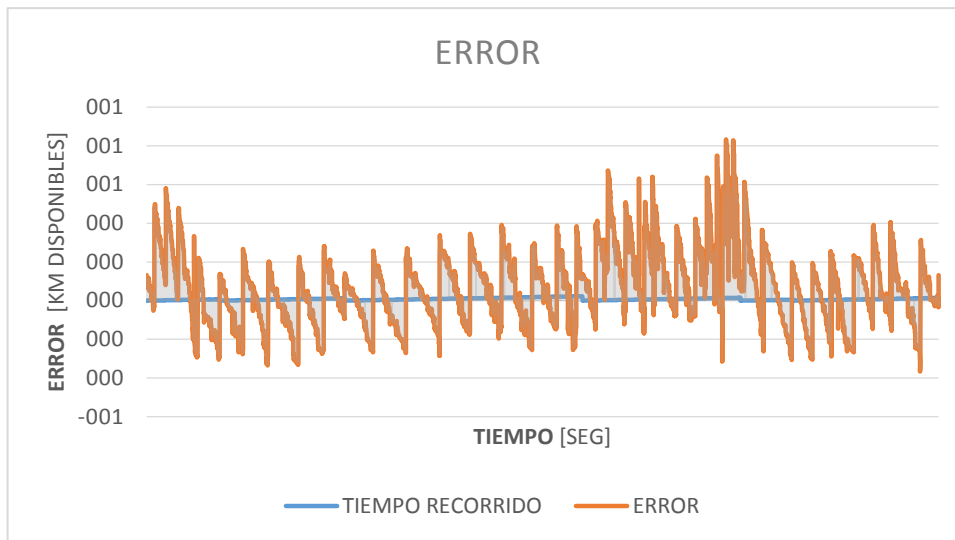


Figura 24: Error. **Fuente:** Autores.

El error representa la variación que existe entre los valores del consumo real vs el consumo teórico, en donde se observa que el error es mínimo lo cual representa una mayor confiabilidad de los valores obtenidos tanto de manera real como teórica.

4.1.2. Análisis resultados.

Dentro de esta sección se procede a analizar los valores obtenidos mediante la ayuda del software de ingeniería que indica de manera gráfica y estadística el comportamiento y la influencia de las variables dentro de la autonomía del VE con la ayuda de diferentes herramientas matemáticas como las gráficas de efectos cruzados y las gráficas de contorno que representa de manera esquemática el comportamiento de las variables contra el consumo del VE.

4.1.2.1. Análisis de efectos cruzados

Para el análisis de los efectos cruzados se determinan las variables con mayor influencia para la autonomía del VE, las cuales se explican en el capítulo 3 y se encuentran ilustradas en la tabla 15, en donde se establece las unidades de medición de



cada variable en la columna derecha.

Tabla 6: Variables influyentes. **Fuente:** Autores.

VARIABLES	
Tiempo recorrido	<i>Horas</i>
Recorrido	<i>Km</i>
Drive motor speed	<i>RPM</i>
Motor torque command	<i>Nm</i>
Consumo	<i>Km disponibles</i>

Una vez obtenido las variables más influyentes de acuerdo a la correlación de Pearson, se procede a realizar un análisis en el software de ingeniería obteniendo una gráfica de efectos cruzados de cada una de las rutas que indica los parámetros con mayor influencia con respecto al consumo de autonomía del VE en Machala de cada ruta, obteniendo así su comportamiento de manera gráfica. La grafica 25 ilustra los efectos cruzados, en donde el número de interacciones que se ilustran varían de cada una de las rutas, debido a que las variables no tienen la misma cantidad de influencia en todas las rutas. Las gráficas que se observan son de las variables que están con mayor influencia en cada una de las rutas., Si es que no se encuentra la interacción es debido a que no presentan influencia con respecto al consumo en ese tramo de la ruta.

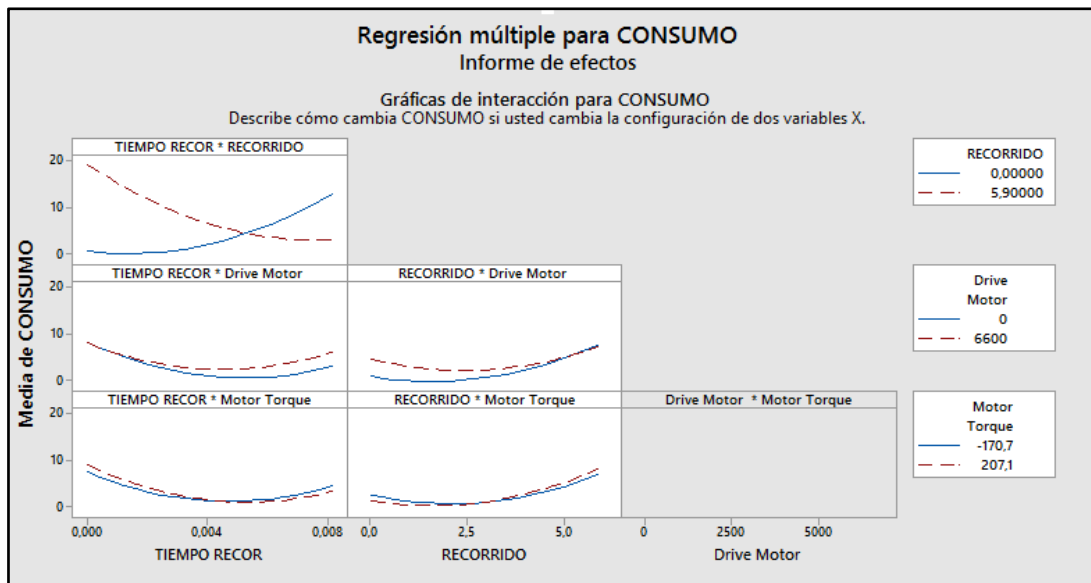


Figura 25: Grafica de informe de los efectos cruzados. **Fuente:** Autores.

De acuerdo a la gráfica 25, del informe de efectos cruzados, se observa que en la columna de la izquierda indica las gráficas del tiempo recorrido vs las otras variables influyentes, en donde se describe cómo cambia el consumo si es que se modifica la configuración de las otras variables influyentes. Se puede observar que el tiempo recorrido tiene una interacción fuerte con el recorrido, lo que explica que estas dos variables tienen gran influencia para el consumo de autonomía.

En la figura 26, se muestra de manera individual como cada una de las variables con mayor influencia varían el consumo de autonomía del VE, a diferencia de la figura 25 que muestra como afectan las variables de manera cruzada, esto quiere decir que la combinación de 2 variables influyen al consumo.

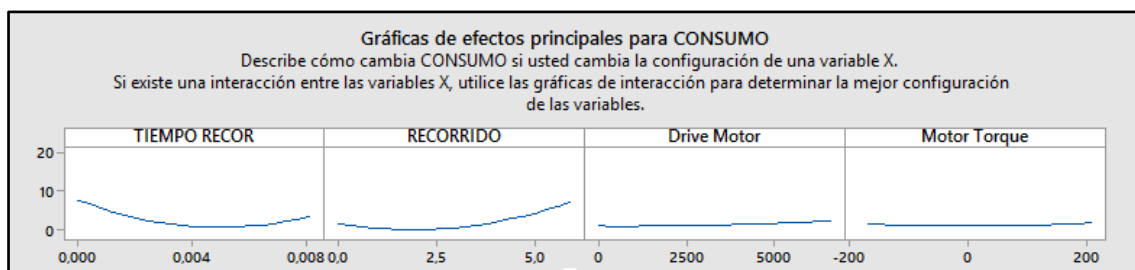


Figura 26: Grafica de informe de los efectos principales. **Fuente:** Autores.

La figura 26, indica que el recorrido y el tiempo recorrido son variables que desgastan la autonomía de manera proporcional según varíen las mismas.



4.1.2.2. Graficas de contorno.

Para poder generar las gráficas de contorno es necesario identificar cual de las variables son las que se desea analizar. En la variable Z o variable de respuesta, siempre irá el consumo, debido a que se desea analizar como esta siendo afectado el consumo con respecto a las demas variables influyentes. Una vez identificada la variable de respuesta se colocan las variables de entrada que son las variables influyentes que se desea analizar, para poder identificar cuales de las variables se debe colocar es necesario acudir al informe de efectos cruzados que indica la combinacion de las variables que se deben de analizar en las gráficas de contorno.



Figura 27: Proceso de desarrollo de la gráfica de contorno. **Fuente:** Autores.

La figura 28, ilustra la gráfica de contorno con respecto al consumo, de acuerdo a las 2 variables influyentes de acuerdo a la primera gráfica del informe de efectos cruzados de la ruta 1, que son el tiempo recorrido y el recorrido.

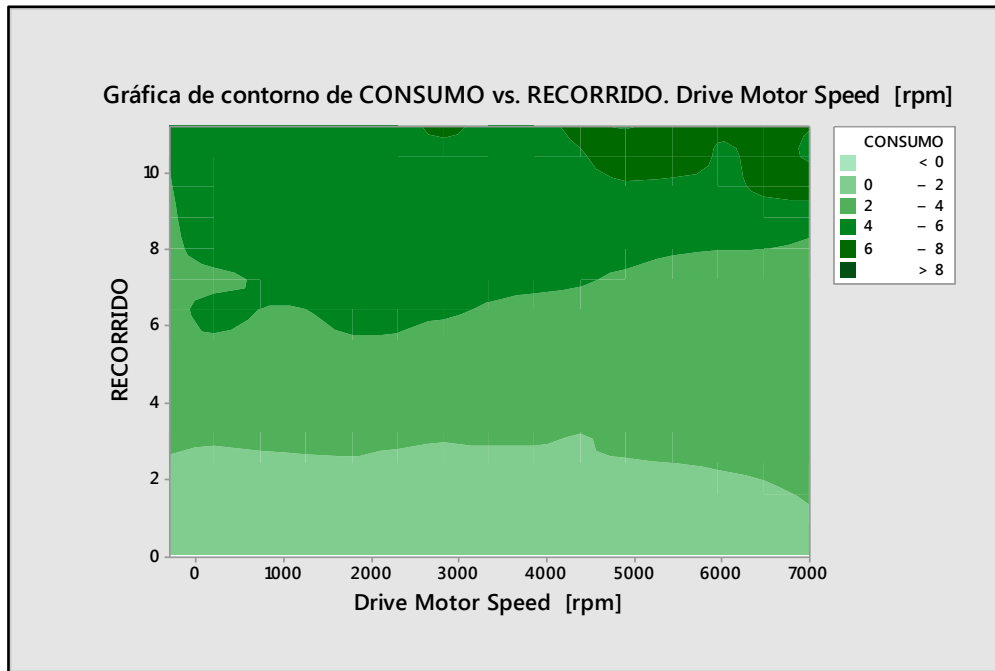


Figura 28: Gráfica de contorno del circuito 1. **Fuente:** Autores.

En la gráfica se puede observar como están afectando el recorrido y la velocidad al consumo, para su análisis se basan en una gama de colores que van desde colores claros a oscuros, en donde el color más oscuro representa la mayor cantidad de influencia que tienen las variables para el consumo. Se muestra en la gráfica como a mayor velocidad y a mayor recorrido se encuentra la mayor influencia de consumo, entre los valores de (3800 – 7000 Rpm) y (10Km) la puntuación es mayor a 6 Km de disponibilidad en esta zona.

4.1.3. Análisis de la base de datos del VE en Machala de la ruta con mayor consumo.

Debido a que todas las gráficas de todas las rutas tienen la misma inclinación en la variación del consumo vs tiempo, se determina que todas las rutas tienen similar índice de consumo, para el análisis se procede a elegir una de las rutas más influyentes para determinar el consumo que se genera en la autonomía del VE en Machala.

Con la gráfica de consumo real obtenida, se observa que la ruta con el pico más alto de consumo es la ruta 4 de todo el circuito, dicha ruta será evaluada y analizada para determinar la autonomía que existe en el VE en la ciudad de Machala.

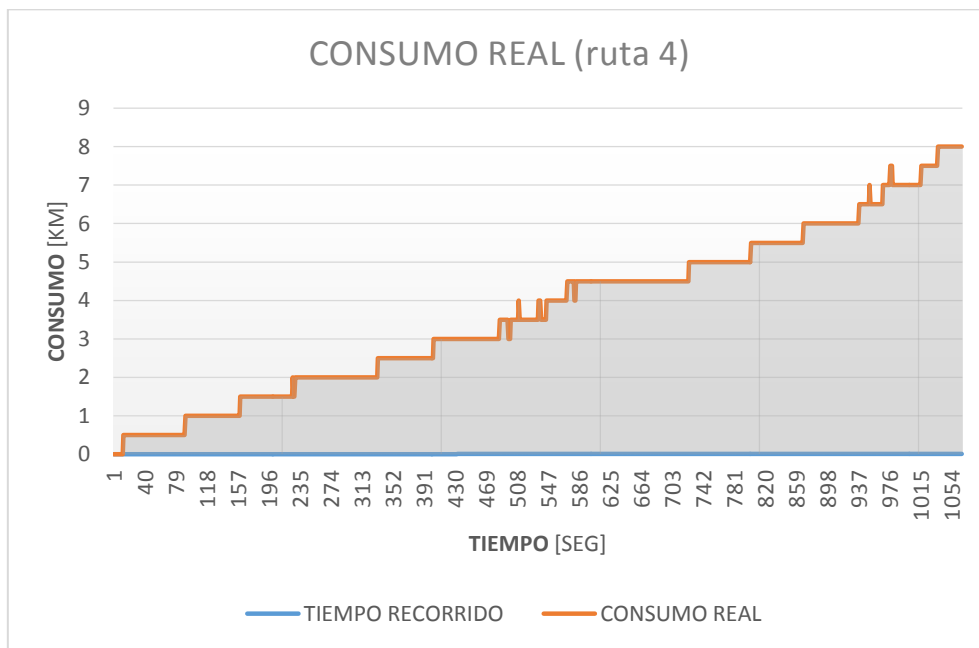


Figura 29: Consumo real Ruta 4. **Fuente:** Autores.

La gráfica de consumo real de la ruta 4 representa la variación del consumo vs el tiempo, esta es una de las rutas con un valor de consumo más alto debido a que es la ruta con mayor distancia de recorrido en kilómetros.

Para la obtención de la gráfica del consumo teórico de la ruta 4, se procede a introducir los datos generados solamente en este tramo del circuito correspondiente a la ruta 4.

Regresión múltiple para CONSUMO REAL
Informe de construcción del modelo

X1: TIEMPO RECOR X2: RECORRIDO X3: Drive Motor X4: Motor Torque

Ecuación final del modelo

$$\text{CONSUMO REA} = 0,1866 - 174,66 X1 + 0,7139 X2 - 0,000017 X3 + 0,000079 X4 - 0,01892 X2^2 + 0,000000 X3^2 + 34,13 X1 * X2 + 0,00447 X1 * X3 - 0,000011 X2 * X3 - 0,000067 X2 * X4$$

Figura 20: Ecuación de consumo. Ruta 4. **Fuente:** Autores.

Una vez obtenida la ecuación se procede a remplazar los datos de las variables influyentes para generar la gráfica del consumo teórico.

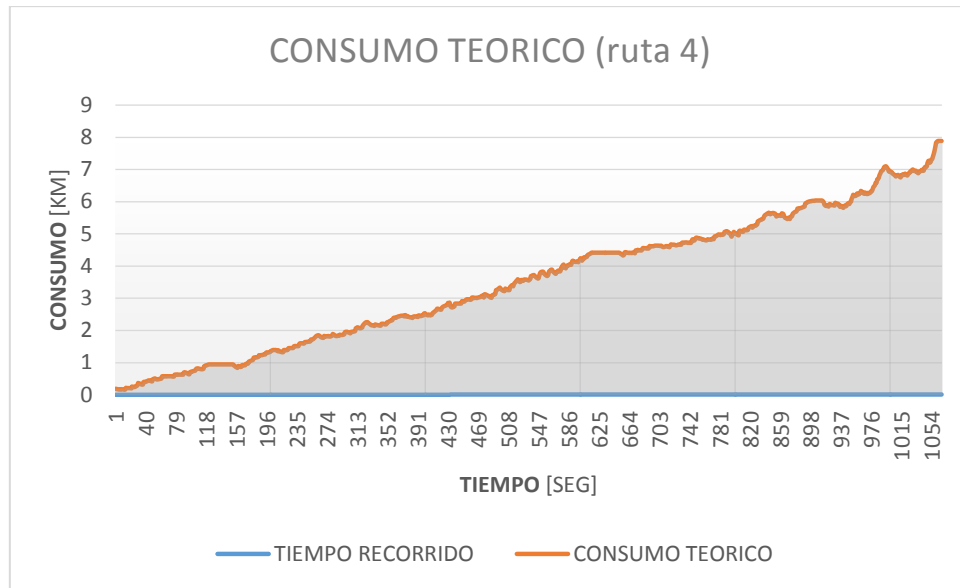


Figura 31: Consumo teórico Ruta 4. **Fuente:** Autores.

Obtenida la gráfica del consumo real y la gráfica del consumo teórico se puede determinar la variación o el margen de error que existe entre estas, se observa que las gráficas siguen la misma trayectoria adaptándose a los valores obtenidos de manera real.

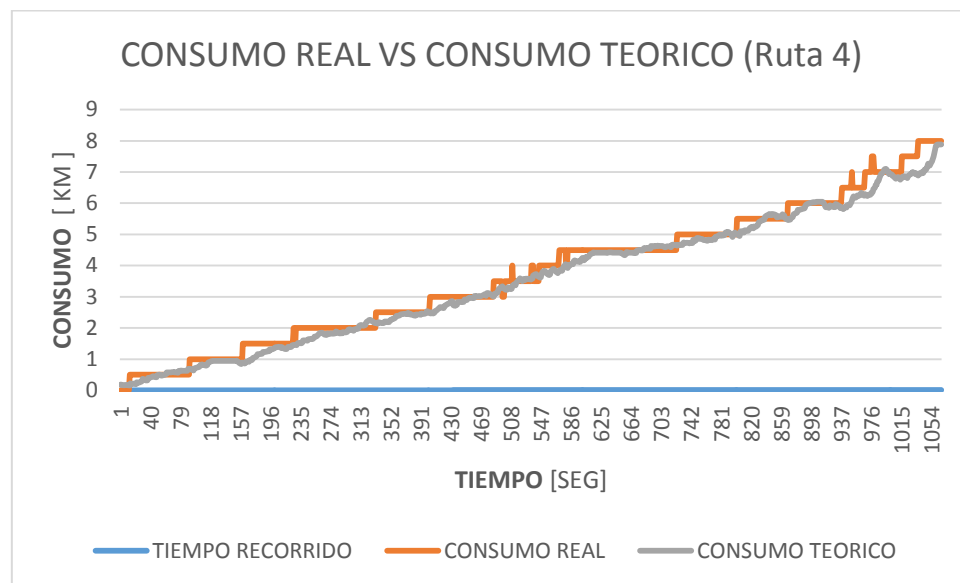


Figura 21: Consumo real vs consumo teórico Ruta 4. **Fuente:** Autores.



El margen de variación en esta ruta oscila entre valores inferiores a 1, lo cual representa una confiabilidad estable del sistema matemático y de los valores generados en el consumo.

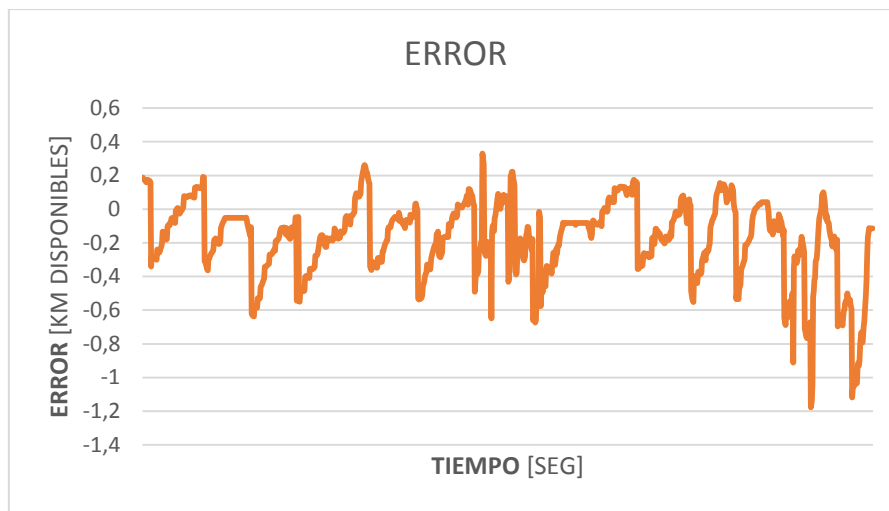


Figura 33: Consumo real vs consumo teórico Ruta 4. **Fuente:** Autores

Con el gráfico de error obtenido se observa que la variación entre los valores reales y teóricos son insignificantes, esto quiere decir que para determinar la autonomía del VE en Machala o en una ciudad a nivel del mar se puede apoyar en la ecuación determinada que se adapta a los valores reales de consumo.

4.1.4. Análisis gráfico de los valores influyentes en la autonomía del VE en la ciudad de Machala.

Realizado el análisis de todo el circuito en la ciudad de Machala se procede a realizar el análisis de la ruta con mayor influencia en la variación de consumo de la autonomía del VE. Para este caso es la ruta 4. Para el primer análisis se procede al informe de efectos cruzados la cual es representada en la figura 34.

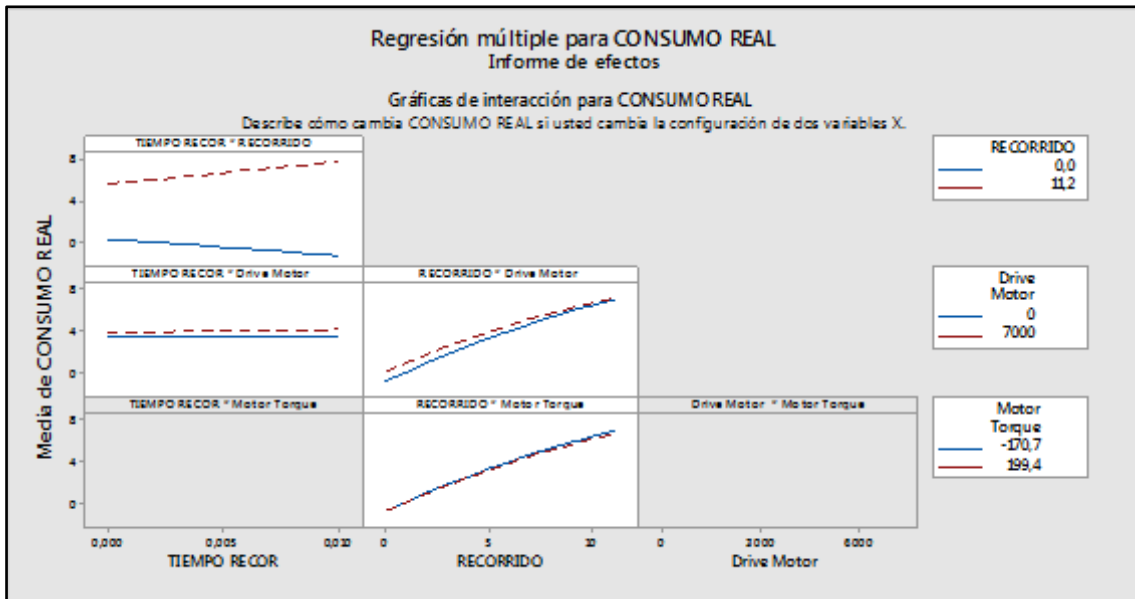


Figura 34: Gráfica de informe de efectos cruzados. Fuente: Autores.

La figura 34 presenta las interacciones de algunas de las variables que afectan el consumo de autonomía del VE, esto explica que dos variables van a depender para el desgaste de la autonomía del VE. En esta gráfica se observa que todas las variables no están relacionadas entre sí para el consumo pues ninguna variable esta interactuando con otra lo que se dice que cada variable afecta independientemente en el consumo de autonomía.

Para describir de una mejor manera cómo afecta cada variable al gasto de la autonomía, se basa en el informe de efectos principales la cual es presentada en el siguiente gráfico.

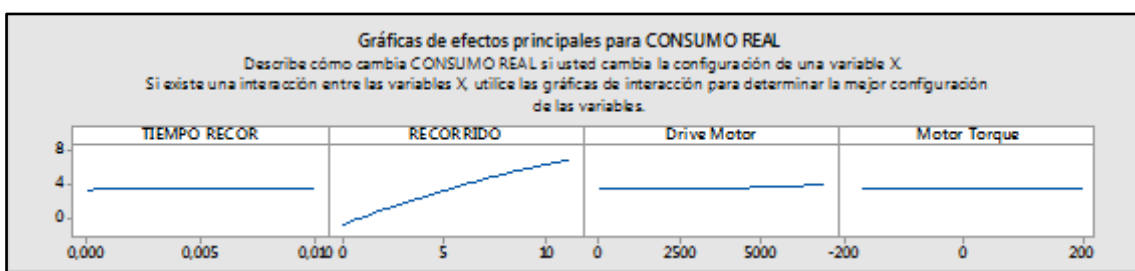


Figura 22: Gráfica de informe de efectos principales. Fuente: Autores.

La figura 35 presenta el informe de efectos principales, la cual representa el consumo de autonomía del VE independientemente de cada variable. Se observa que las variables como el tiempo recorrido, la velocidad, y el torque tienen un gasto



proporcional, pero el recorrido aumenta de forma exponencial el consumo de autonomía dependiendo de los Km que se recorre, independientemente del tiempo y de las otras variables para una ciudad a nivel del mar.

Para representar de mejor manera el consumo de autonomía, se realiza las gráficas de contorno de las variables que se representan en el informe de efectos cruzados.

En la figura 36, se observa de manera esquemática el consumo de autonomía con las variables de afección: tiempo de recorrido y recorrido, donde se observa que un consumo elevado mayor a 6 Km de disponibilidad se da en las zonas próximas a 8 Km de recorrido con un tiempo aproximado de 8 minutos.

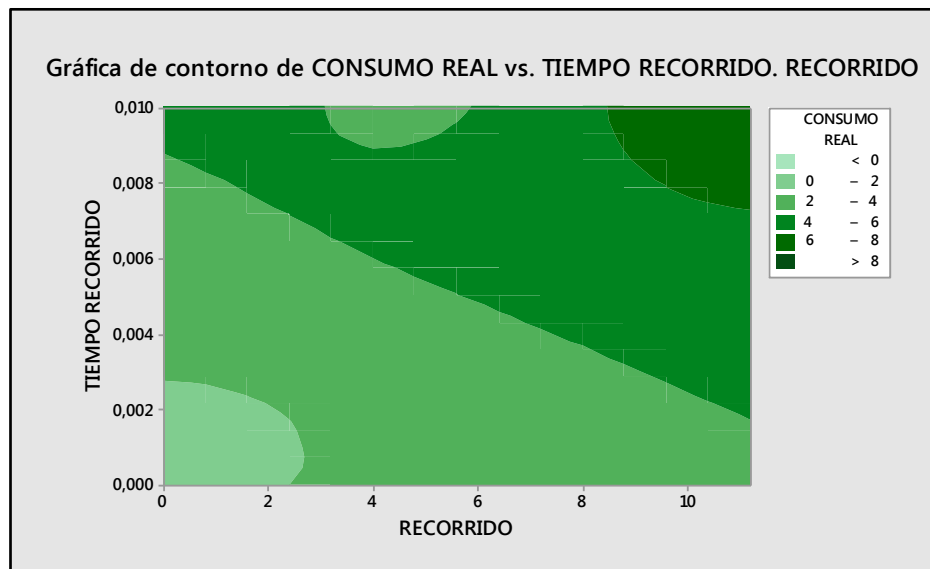


Figura 36: Gráfica de contorno de Consumo Real vs Tiempo recorrido * Recorrido.
Fuente: Autores

La figura 37 presenta de manera esquemática el consumo de la autonomía con las variables de afección: tiempo de recorrido y drive motor speed, donde se observa que un consumo elevado (6 Km de disponibilidad) se da en las zonas mayores a 4500 RPM de velocidad con un tiempo aproximado de 8 minutos.

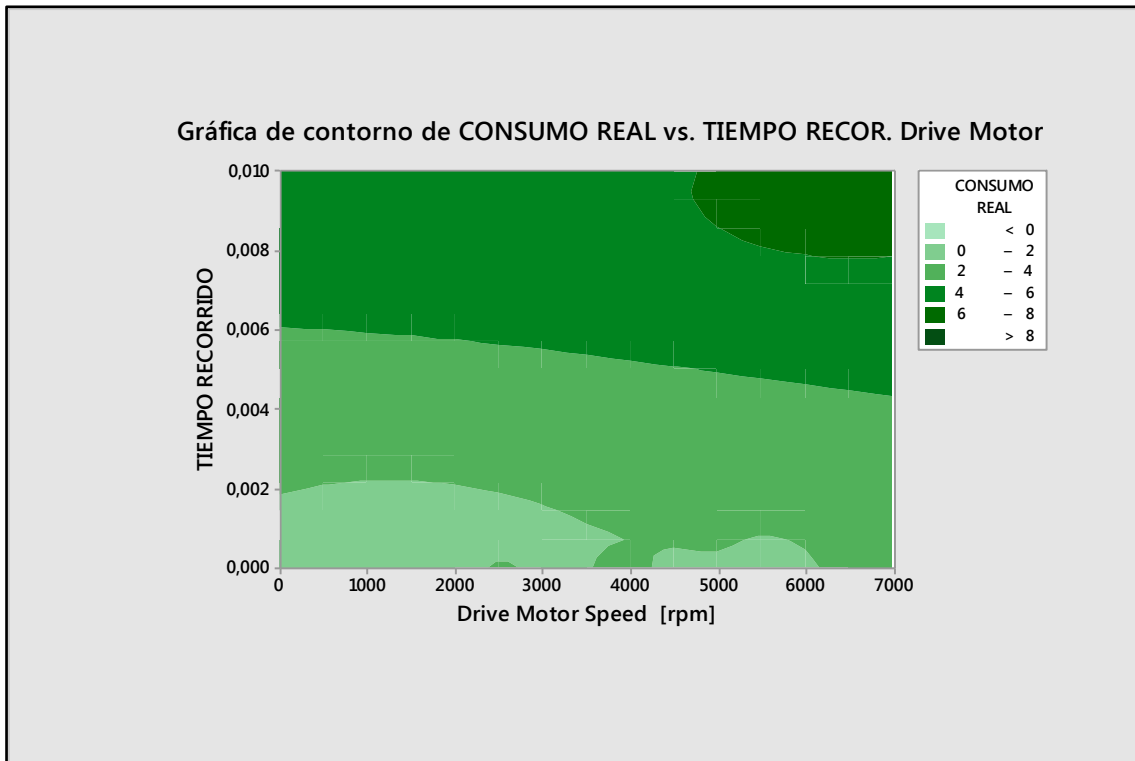


Figura 37: Gráfica de contorno de Consumo Real vs Tiempo recorrido * Drive motor speed. **Fuente:** Autores.

La figura 38, presenta de manera esquemática el consumo de la autonomía con las variables de afección: recorrido y drive motor speed, donde se observa que un consumo elevado (8 Km de disponibilidad) se da en las zonas mayores a 4000 RPM de velocidad con un recorrido aproximado de 9 kilómetros.

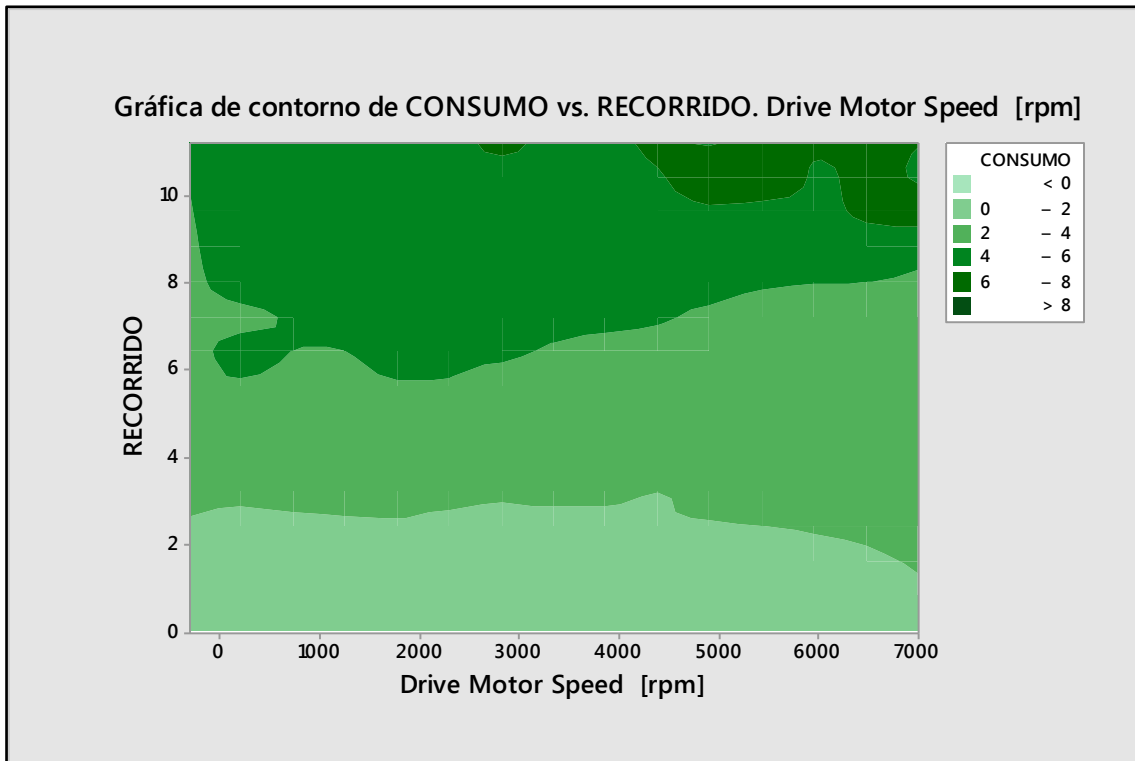


Figura 38: Gráfica de contorno de Consumo Real vs Tiempo recorrido * Drive motor speed. **Fuente:** Autores.

La figura 39 presenta de manera esquemática el consumo de la autonomía con las variables de afección: recorrido y motor torque command, donde se observa que un consumo elevado (6 Km de disponibilidad) se da en las zonas mayores a 50 – 100 Nm con un recorrido aproximado de 9 kilómetros.

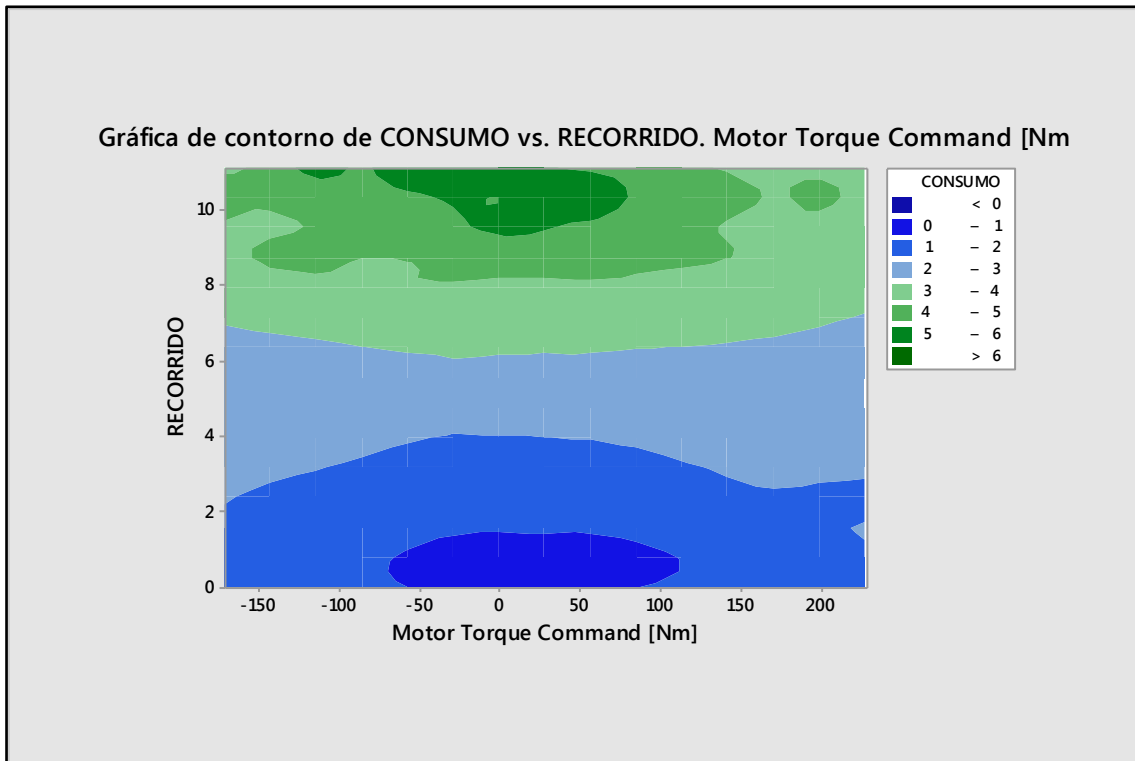


Figura 39: Gráfica de contorno de Consumo Real vs Tiempo recorrido * Drive motor speed. **Fuente:** Autores.

4.2. DETERMINACION DE LA AUTONOMIA DEL VE.

Para determinar la autonomía del vehículo eléctrico en la ciudad de Machala se basa en la ecuación de consumo que se generó en la regresión de las variables influyentes, esta ecuación determina el consumo de la autonomía del VE según varían las variables influyentes como es el tiempo de recorrido, la distancia del recorrido, la velocidad del VE y el torque que este genera para movilizar el vehículo en las rutas experimentales.

El consumo se mide en kilómetros disponibles que tiene el VE, una autonomía del VE con el 100% de sus baterías cargadas es de 165 Km, esto quiere decir que el vehículo puede recorrer 165 Km hasta que sus baterías sean consumidas en su totalidad.



Tabla 7: Parámetros para el cálculo de la autonomía del VE. **Fuente:** Autores.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Consumo	Km disponibles
autonomía en vacío	165 Km en vacío (baterías cargadas 100%)

La ecuación del consumo de autonomía del VE en Machala es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 \text{Consumo} = & 0.1866 - 174.66(X1) + 0.7139(X2) - 0.000017(X3) + 0.000079(X4) \\
 & - 0.01892(X2^2) + 0.000000(X3^2) + 34.13(X1 * X2) + 0.00447(X1 * X3) \\
 & - 0.000011(X2 * X3) - 0.000067(X2 * X4)
 \end{aligned}$$

(Ecuación 1)

La ecuación del consumo contiene las variables influyentes de manera simbólica con otra variable para una mejor visión de la ecuación, en donde cada incógnita expresada en la ecuación se describe en la siguiente tabla con sus correspondientes unidades de medición.

Tabla 8: Variables influyentes en la autonomía del VE. **Fuente:** Autores.

VARIABLES INFLUYENTES EN LA AUTONOMIA DEL VE		
variable	Descripción	unidad
X1	Tiempo recorrido	(HH:mm:ss)
X2	Recorrido	Km
X3	Drive motor speed	RPM
X4	Motor torque command	Nm

Explicado cada una de las variables influyentes dentro de la ecuación del consumo se procede a generar una tabla de la variable dependiente para un mejor entendimiento del análisis de la autonomía teórica del vehículo. Como se apreció en la gráfica del consumo real vs el consumo teórico la variación de datos es muy pequeña por lo que el análisis brinda un alto nivel de confiabilidad.

La única variable dependiente es el consumo y se mide en kilómetros disponibles.

**Tabla 9:** Variable dependiente y variables independientes. **Fuente:** Autores

VARIABLE DEPENDIENTE		VARIABLES INDEPENDIENTES		
Variable	Descripción	Variable	Descripción	Unidad
X	AUTONOMIA (km Disponibles)	X1	Tiempo recorrido	(HH:mm:ss)
		X2	Recorrido	Km
		X3	Drive motor speed	RPM
		X4	Motor torque command	Nm

Identificado las variables independientes y dependiente de la ecuación del consumo se procede a reemplazar los valores de acuerdo a la base de datos que brinda el programa EMOLab 2.0.1.

$$\begin{aligned} \text{Consumo} = & 0.04186 + 56.71(X1) + 0.40454 (X2) - 0.000022(X3) - 0.000382(X4) \\ & + 851(X1^2) + 0.01769(X2^2) + 0.000000(X3^2) + 0.000015(X4^2) \\ & - 6.926(X1 * X2) - 0.002030(X1 * X3) \end{aligned}$$

(Ecuación 2)

Para el análisis se reemplaza todas las incógnitas correspondientes a una variable independiente que es el recorrido (km), esta variable es la distancia que el vehículo eléctrico recorre, este proceso de reemplazo se genera colocando en la ecuación todos los datos que coincidan con el recorrido de 10 km, esto es para determinar el consumo del VE que se genera en 10 km de recorrido.



TIEMPO RECORRIDO	RECORRIDO O	Alt (MSL)[m]	Drive Motor Speed [rpm]	Motor Torque Command [Nm]	CONSUMO REAL	CONSUMO TEORICO	ERROR
0:16:32	10	0	400	-31,4	7,00	7,3351604	0,33516036
0:16:33	10	0	200	-9,3	7,00	7,3391739	0,33917387
0:16:34	10	0	0	0,8	7,00	7,3502587	0,35025868
0:16:35	10	0	0	34	7,00	7,3325662	0,33256619
0:16:36	10	0	100	67,3	7,00	7,3072675	0,30726751
0:16:37	10	0	400	105,3	7,00	7,2641177	0,26411765
0:16:38	10	0	1000	130,1	7,00	7,2061898	0,20618984
0:16:39	10	0	1300	53,4	7,00	7,2309053	0,23090529
0:16:40	10	0	1600	73,1	7,00	7,1986794	0,19867938
0:16:41	10	0	1800	48,7	7,00	7,2000688	0,20006883
0:16:42	10	0	2000	33,9	7,00	7,1958054	0,19580538
0:16:43	10	0	2200	72,1	7,00	7,1602396	0,16023962
0:16:44	10	0	2500	67,5	7,00	7,1424837	0,14248366
0:16:45	10	0	2700	74,7	7,00	7,1252855	0,12528546
0:16:46	10	0	3000	57,4	7,00	7,1150921	0,11509211
0:16:47	10	0	3300	83,1	7,00	7,0795168	0,0795168

Figura 40: Base de datos correspondientes a 10 Km de recorrido. **Fuente:** Autores.

En los 10 Km que recorre el VE de acuerdo a la base de datos se tiene algunos valores, esto es debido a que se toma los datos en periodos muy cortos de tiempo con una variación de aproximadamente cada segundo una toma de datos, en la figura superior se observa la tabulación de datos correspondiente a 10 Km que genera el programa EMOLab 2.0.1. Para el análisis se toma una fila cualquiera de estos datos y se reemplaza cada una de las incógnitas con los valores correspondientes en la ecuación del consumo. Se genera una tabla en donde se reemplaza los valores de las incógnitas y se pueden apreciar los resultados, tomando como constante la variable $X_2 = 10$ km.

Tabla 10: Tabla de resultados de los cálculos de autonomía del VE. **Fuente:** Autores.

VARIABLES INDEPENDIENTES			VALORES DE LA BASE DE DATOS (MITITAB)
Variable	Descripción	Unidad	Valor
X1	Tiempo recorrido	(HH:mm:ss)	(00:16:42)
X2	Recorrido	Km	10 km
X3	Drive motor speed	RPM	2000
X4	Motor torque command	Nm	33,9
AUTOMIA TEORICA		Km	7,1958
AUTONOMIA REAL VE		km	7,00
ERROR		-	0,1958



De acuerdo a la tabla del análisis del consumo que se genera en la autonomía del VE Kia Soul, representa por cada 10 Km de recorrido un consumo de 7 Km de disponibilidad de la autonomía de manera real, y un consumo teórico de 7,1958 Km, teniendo una variación de 0,1958 correspondiente a un rango menor de $\pm 5\%$ dando validez a la ecuación para cualquier análisis estadístico.

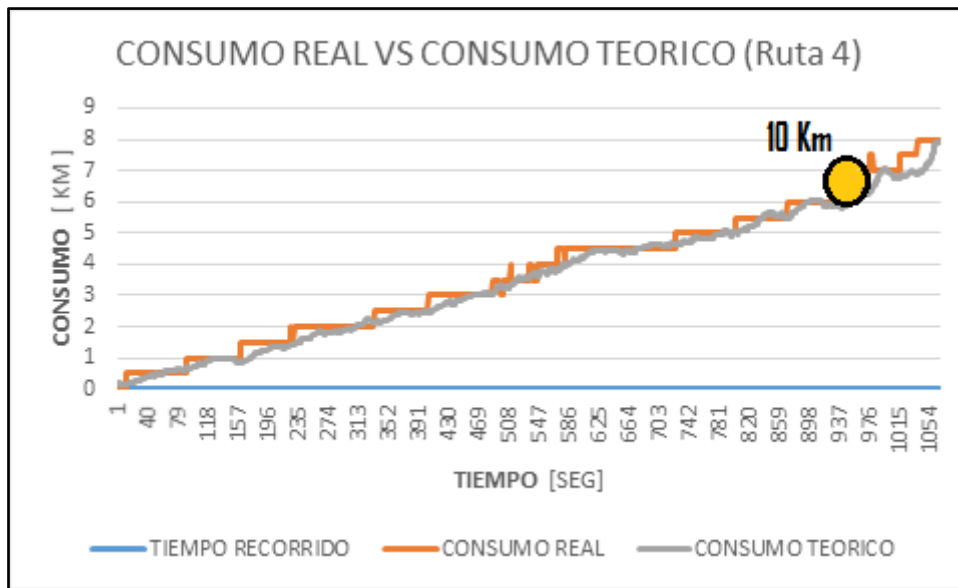


Figura 41: Análisis gráfico del consumo en 10 Km recorridos. **Fuente:** Autores.

En la gráfica del consumo real vs teórica se puede corroborar de manera visual los resultados obtenidos en el análisis, en los 10 km de recorrido que se analizó se puede observar que se genera un consumo de alrededor de 7km de disponibilidad de la autonomía del vehículo eléctrico, con un tiempo recorrido de alrededor de 940 - 970 seg. (15 – 16 min).



Capítulo 5

ANÁLISIS COMPARATIVO DE AUTONOMÍA DEL VE KIA SOUL ENTRE LAS CIUDADES DE CUENCA Y MACHALA.

En este capítulo se analiza el consumo de autonomía del VE Kia Soul entre las ciudades de Machala y Cuenca. Para dar a conocer el gasto de autonomía en la ciudad de Cuenca se basa en proyectos técnicos ya elaborados, de la cual se adquiere la autonomía que presenta el VE para esta ciudad y de esta forma analizar un consumo específico en cierto kilómetros de recorrido.

5.1 Análisis del consumo de autonomía obtenida en la ciudad de Machala.

El gasto de autonomía en la ciudad de Machala es obtenida en 10 km, esto quiere decir que por cada 10 km de recorrido, el VE Kia Soul tendrá un gasto de autonomía de 7 Km de disponibilidad, si se desea obtener para un cierto kilometraje mayor el consumo de recorrido, se sigue el modelo del valor ya obtenido.

La carga total de la batería (100%) del VE Kia Soul en vacío da un kilometraje de disponibilidad de 165 Km, para conocer el porcentaje que se pierde del vehículo por cada 10 Km de recorrido sabiendo que su consumo es de 7 Km de disponibilidad se realiza la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Consumo por cada } 10 \text{ Km} = \frac{7\text{km} * \text{Porcentaje total de carga}}{\text{Kilómetros de disponibilidad}}$$

$$\frac{7\text{Km} * 100\%}{165 \text{ Km}} = 4.24\%$$

(Ecuación 3)



En la ciudad de Machala por cada 10 Km de recorrido del VE Kia Soul se pierde un 4.24% de la carga de la batería.

5.2 Análisis del consumo de autonomía obtenida en la ciudad de Cuenca.

De acuerdo a la tesis “Determinación de la autonomía real del VE en la ciudad de Cuenca mediante análisis experimental” de la página 65, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\text{Autonomía Teórica} = \frac{\text{SOC}\% * \text{Autonomía Vacio}}{100}$$

(Ecuación 4)

(Bueno, 2017)

Este proyecto técnico determina una autonomía en la ciudad de Cuenca de 122.43 Km con un porcentaje de carga de 74.2% de la batería.

Con estos datos se analiza que con un 74.2% de la carga de batería del VE se genera una autonomía de 122,43 Km en la ciudad de Cuenca. Para poder comparar con la autonomía de la ciudad de Machala se analiza el porcentaje para 10 Km de recorrido, obteniendo:

$$\% \text{ Consumo por cada } 10 \text{ Km} = \frac{10\text{km} * \text{Porcentaje de carga}}{\text{Kilómetros de autonomía}}$$
$$\frac{10\text{Km} * 74.2\%}{122.43\text{Km}} = 6.06\%$$

(Ecuación 5)

En la ciudad de Cuenca se determina que por cada 10 Km de recorrido se genera un consumo del 6.06 % de la carga de batería total.



5.3. Comparación del consumo de autonomía del VE en la ciudad de Machala y Cuenca

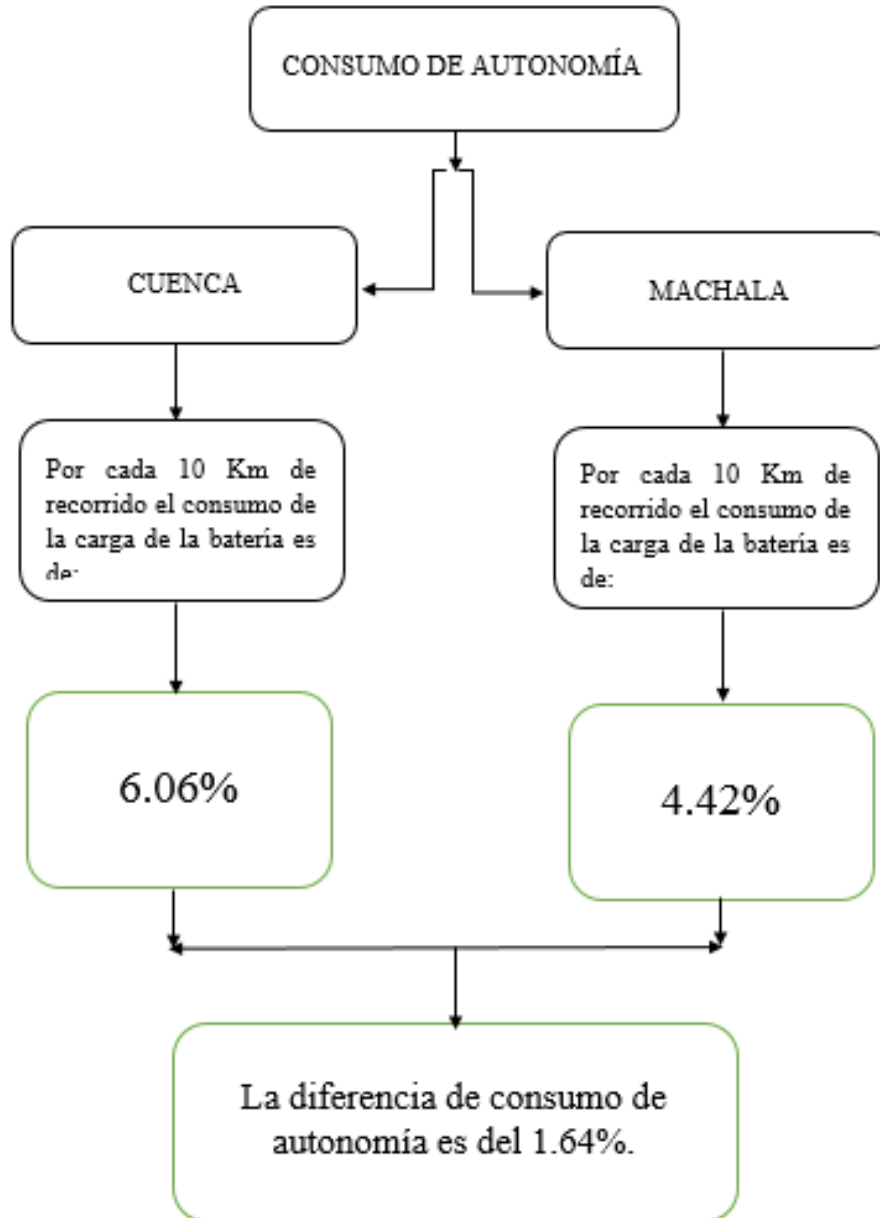


Figura 42: Autonomía Cuenca vs Machala. **Fuente:** Autores.

De acuerdo a la figura superior se observa que el consumo de autonomía entre las 2 ciudades se haya con una variación del 1.64% del consumo de batería por cada 10 Km, lo cual se ve representado que en Machala hay una mayor autonomía del VE.



CONCLUSIONES

- Mediante el estado del arte del VE se observa el desarrollo que tienen estos vehículos desde su creación hasta la actualidad, dando a conocer el avance tecnológico que ha tenido este tipo de vehículos, se da a conocer como se determina la autonomía de los VE en diferentes partes del mundo bajo diferentes ciclos de homologación.
- Para el desarrollo de este proyecto se define rutas experimentales para el análisis de la autonomía del VE en la ciudad de Machala, este circuito comprendido en 7 rutas que abarcan diferentes parámetros de movilidad como: congestión vehicular, tipo de calzada, velocidad máxima, condiciones de manejo, entre otros, tomando en cuenta que el análisis de este proyecto está realizado en una ciudad a nivel del mar por lo que la altimetría no es considerada para el análisis de consumo tomándolo como 0.
- Para determinar las variables más influyentes con respecto al consumo de la autonomía del VE se utiliza un análisis de correlación de Pearson, el cual indica la relación que tienen cada variable con respecto al consumo de autonomía del VE, siendo las variables más influyentes: la distancia de recorrido (km), el tiempo recorrido, la velocidad del VE, el torque generado.
- Para corroborar la base de datos obtenida mediante el software de ingeniería, se generó 4 réplicas de los circuitos con las mismas condiciones de operación como peso del vehículo, aire acondicionado activado, vidrios cerrados, entre otros, con



el propósito de verificar que la variación de los datos sea mínima y poder garantizar el análisis de autonomía del VE en la ciudad de Machala.

- Se obtiene la gráfica del consumo de todas las 7 rutas, generando un comportamiento con similar inclinación de consumo vs tiempo, lo que representa que, en las distintas rutas comprendidas en la ciudad de Machala, el consumo de autonomía es similar, tomando en cuenta la ruta 4 para el análisis y determinación de autonomía del VE en la ciudad de Machala ya que se observa que esta ruta presenta un pico más alto debido a su distancia de recorrido.
- Para la determinación de la autonomía del VE se tomó un rango específico de 10 km de recorrido para analizar su consumo de autonomía, dando un consumo de 7 km de disponibilidad, lo que representa que por cada 10 km recorridos en la ciudad de Machala se genera un consumo de 4,24% de batería.
- Para el análisis comparativo de autonomía del VE entre las ciudades de Machala y Cuenca, basados en proyectos técnicos se indica que la autonomía en la ciudad de Cuenca con un 74,2% abastece 122,43 km de recorrido, siendo necesario para el análisis comparativo tomar en cuenta los mismos kilómetros de recorrido en ambas ciudades para observar su consumo, obteniendo en la ciudad de Cuenca por cada 10 km un consumo de 6.06% de batería.
- Con los resultados obtenidos en este proyecto se determina que existe una mayor autonomía del VE Kia Soul en la ciudad de Machala, indicando que por cada 10km recorridos se genera un consumo de 1,64% menos en la batería, con respecto a la ciudad de Cuenca.



RECOMENDACIONES

- Para mejorar la determinación de la autonomía del VE se recomienda utilizar diferentes métodos como redes neuronales, debido a que este método es un sistema de inteligencia artificial que se acopla de mejor manera generando un rango mínimo de error.
- Para análisis posteriores de determinación de autonomía, se sugiere reducir tiempos de muestreo para un análisis más exacto, debido que a mayor tiempo el error puede incrementar dando datos erróneos para el análisis de autonomía.
- Se puede reducir el error del análisis de autonomía si las pruebas experimentales se realizan con el vehículo en condiciones estándares, sin utilizar ningún sistema que intervenga en el consumo de autonomía y manteniendo un modo de conducción estable.
- Debido a que este proyecto está realizado en ciertas rutas que cubren la ciudad de Machala, se recomienda realizar pruebas en diferentes rutas a diferentes condiciones y criterios de movilidad para corroborar que la variación de la autonomía sea similar en toda ruta ubicada a nivel del mar.



BIBLIOGRAFÍA

- Aguero, H. (29 de noviembre de 2009). *Historia del automovil electrico*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/23308080/Historia-del-automovil-electrico>
- Alguacil, M. (2017). La influencia de la temperatura ambiente en la autonomía del vehículo eléctrico. *Renault*.
- Araujo, A. (29 de Enero de 2016). Siete autos eléctricos buscan mercado en el Ecuador. *EL COMERCIO*, pág. 1.
- Bueno, Q. . (2017). *Determinación de la autonomía real del VE en la ciudad de Cuenca mediante análisis experimental*. Cuenca.
- Caparrós, A. E. (2012). *Factores humanos que intervienen en la conducción*. Murcia.
- Eléctrico, R. E. (s.f.). *EVWIND*. Obtenido de EVWIND: <http://www.evwind.com/sobre-el-vehiculo-electrico/definicion-y-tipos/>
- Electromovilidad*. (22 de julio de 2018). Obtenido de <http://electromovilidad.net/el-vehiculo-%20electrico/>
- Emobility, A. (2018). Autonomía de los vehículos eléctricos.
- Geodatos. (2018). Coordenadas geográficas de Machala, El Oro, Ecuador.
- Kía. (2015). *Manual del Propietario*. Corea: Kía Motor Corp.
- Marín., J. M. (2015). *Club auto*.
- Martines G, J. (marzo de 2013). VEHICULOS ELECTRICOS. *Vehículo eléctrico: analisis y prospectiva de factores tecnológicos y económicos*.
- Martínez, G. G. (2016). Los ciclos de homologación de autonomía. *movilidad electrica*.
- Monzón Jaso, D. L. (25 de mayo de 2011). *CURSO DE INTRODUCCIÓN AL VEHÍCULO ELÉCTRICO*. Obtenido de <https://coiina.files.wordpress.com/2011/06/documentacion-total.pdf>
- Payri, F., & Desantes, J. (2011). *Motores de combustión interna alternativo*. Barcelona: REVERTÉ, S.A.



- Rocano Y, D. D. (Enero de 2018). Ciclos Homologados. *Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados*. Cuenca , Ecuador.
- Valera, L. I. (25 de 11 de 2011). *Los vehículos eléctricos*. Obtenido de https://www.nebrija.com/la_universidad/facultades/facultad-artes-letras/actividades/AulaPluriligie/articulos/LoretoRoas-coches-electricos.pdf
- W., W. E. (2012). *Correlation Coefficient*. Wolfram Research.



ANEXOS

RUTAS MACHALA. PRIMER CIRCUITO

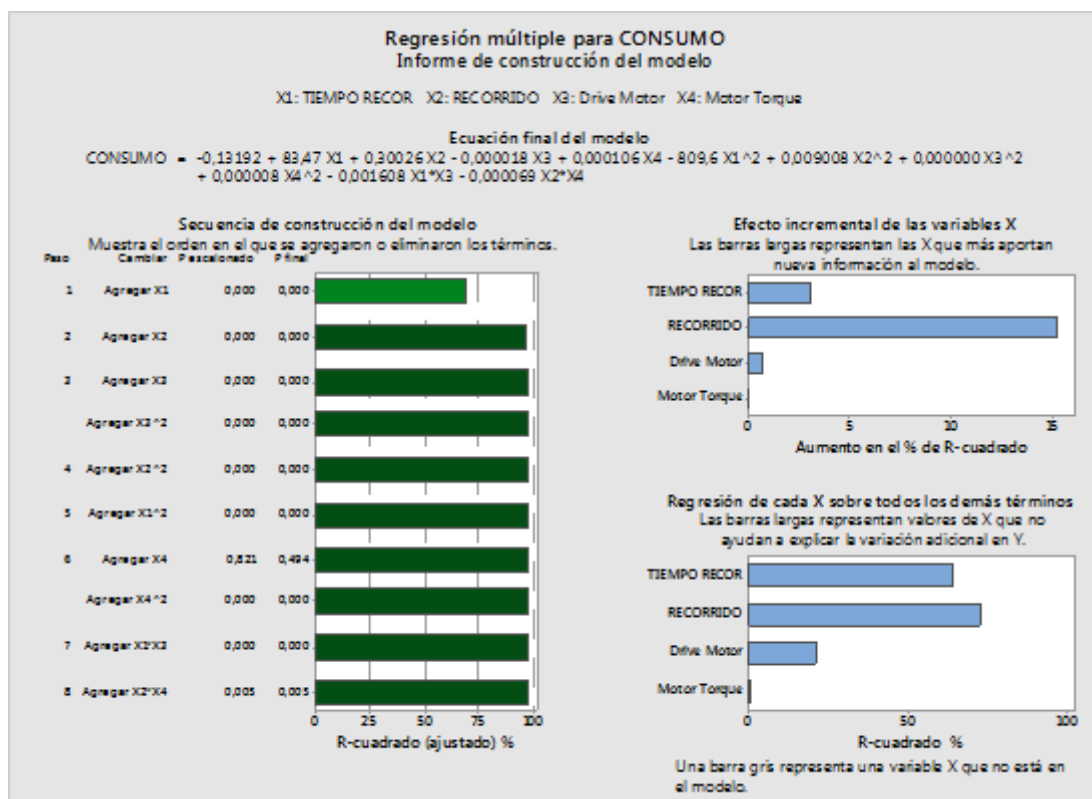


Figura 43: Regresión múltiple para consumo. **Fuente:** Autores.

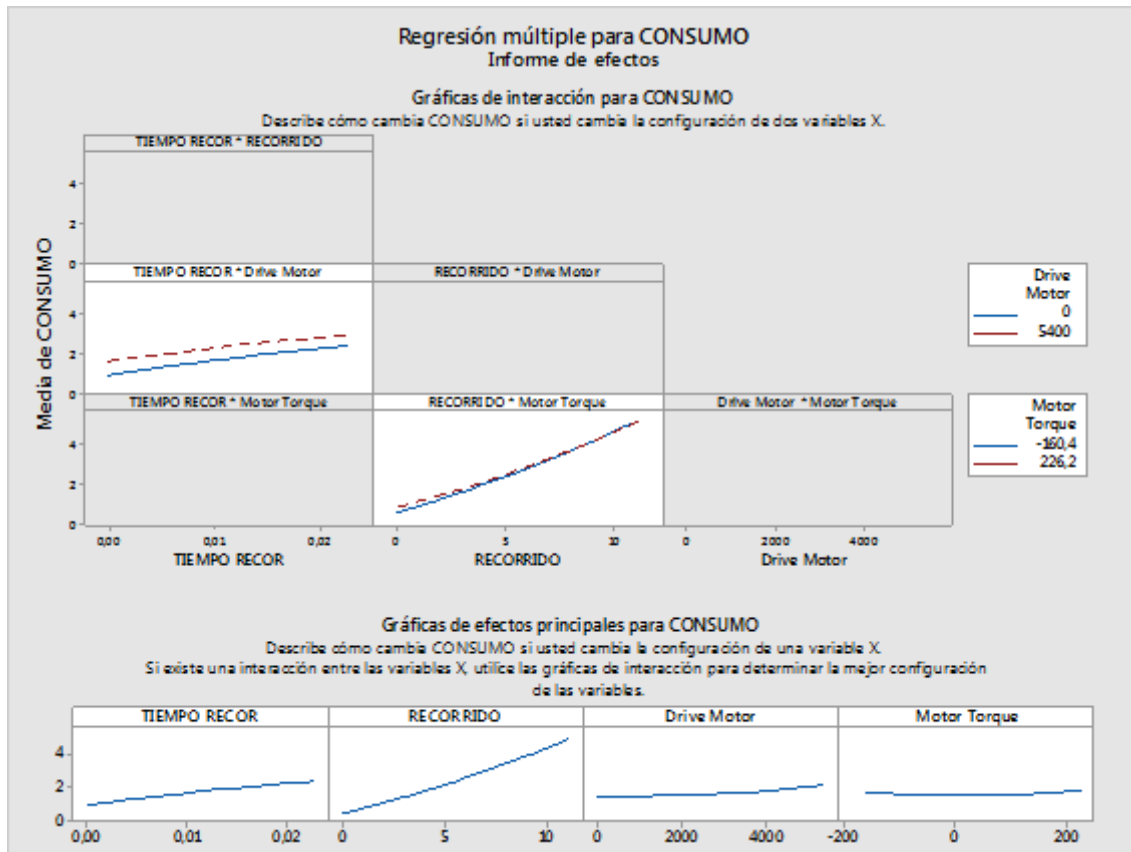


Figura 44: Informe de efectos cruzados y principales. Circuito 1. Fuente: Autores

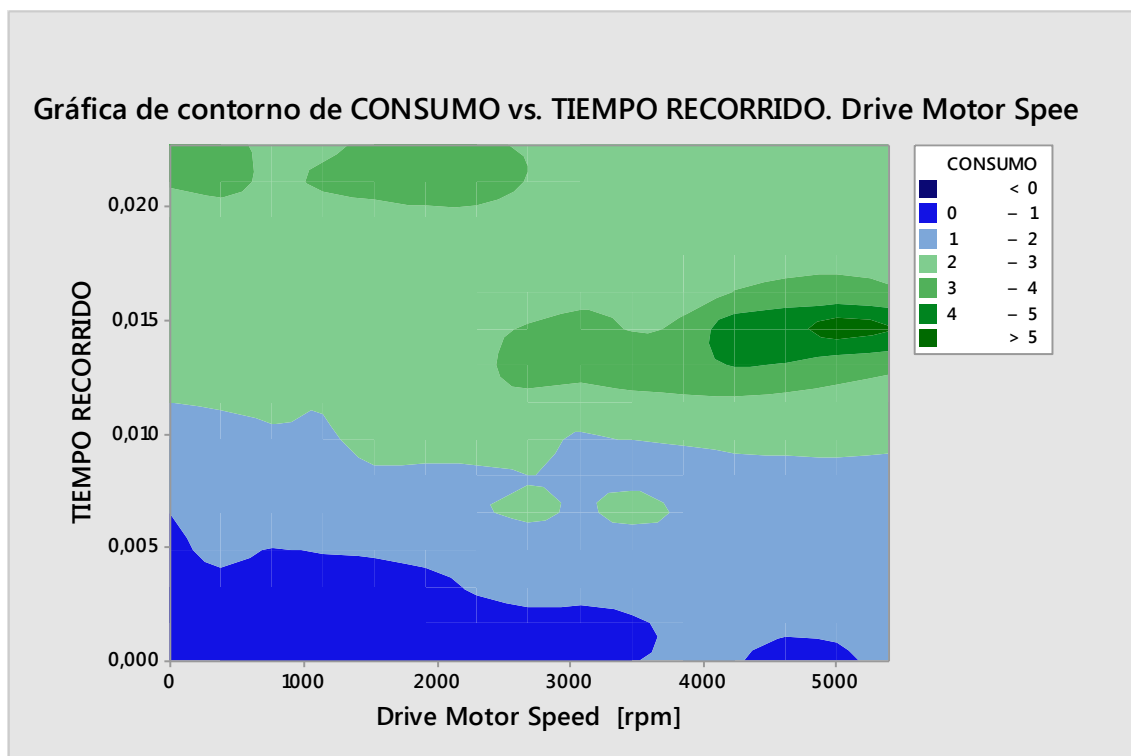


Figura 45: Gráfica de contorno de consumo vs tiempo recorrido y velocidad. Fuente: Autores



Gráfica de contorno de CONSUMO vs. RECORRIDO. Motor Torque Command [Nm]

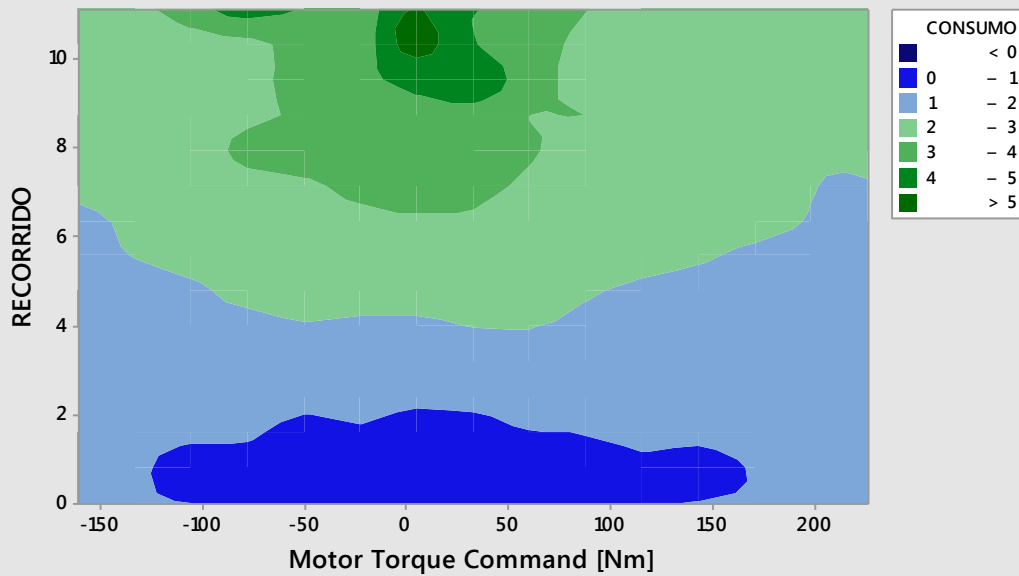


Figura 46: Gráfica de contorno de consumo vs recorrido y torque. **Fuente:** Autores



CIRCUITO 1. RUTA 4 (MÁS INFLUYENTE)

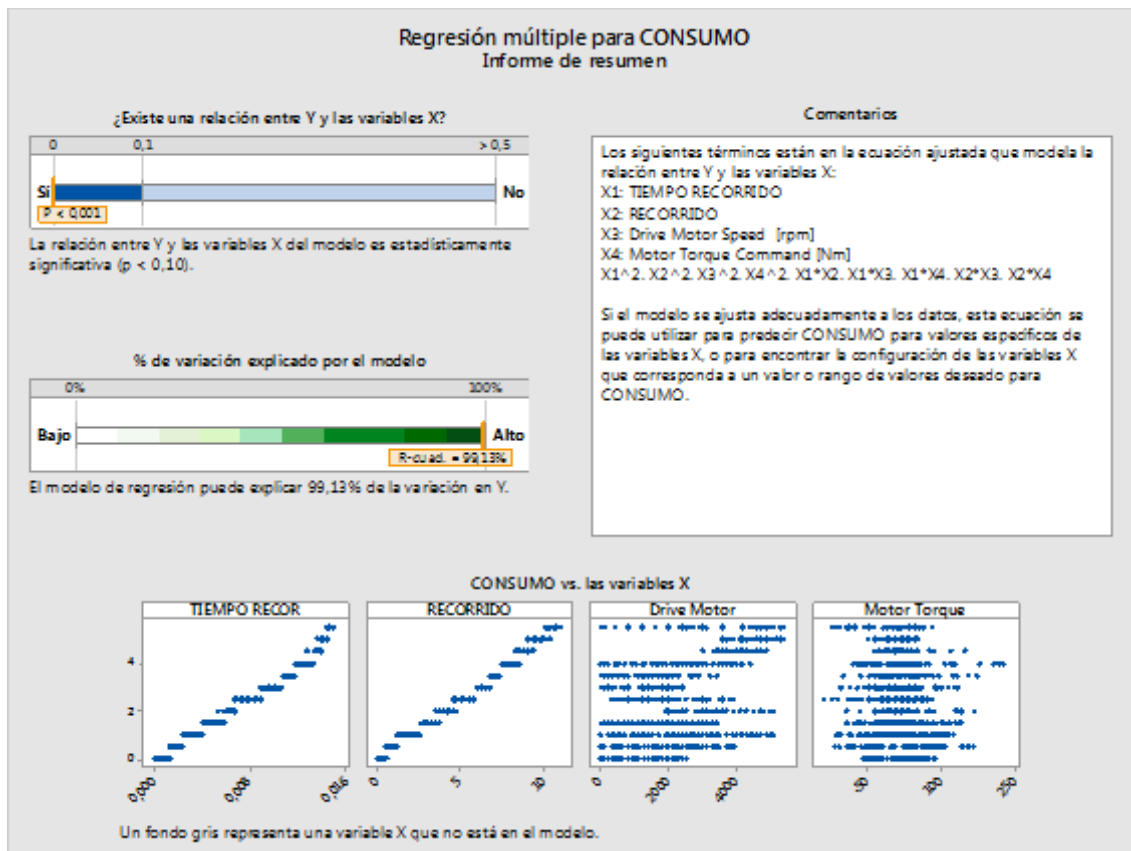


Figura 47: Regresión múltiple para el consumo. Fuente: Autores

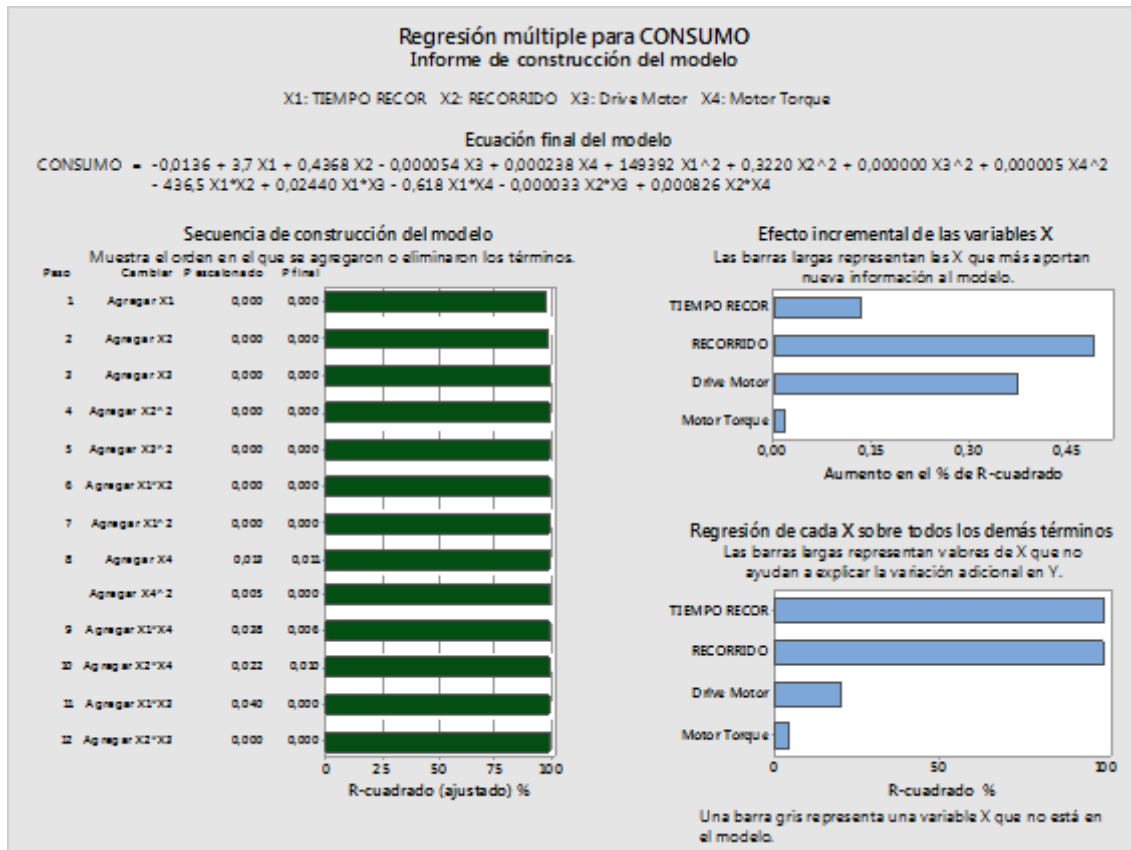


Figura 48: Regresión múltiple para el consumo. Informe de ecuación. Fuente: Autores.

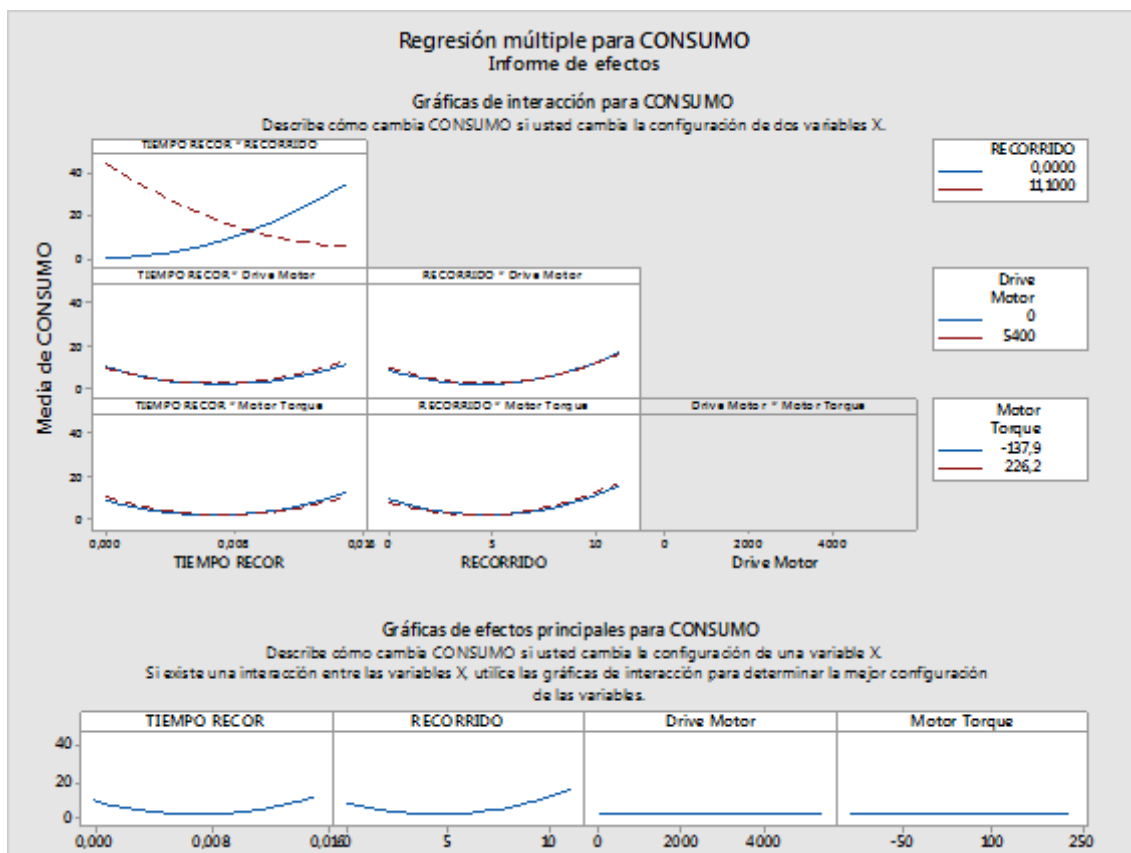


Figura 49: Informe de efectos cruzados y efectos principales. Fuente: Autores

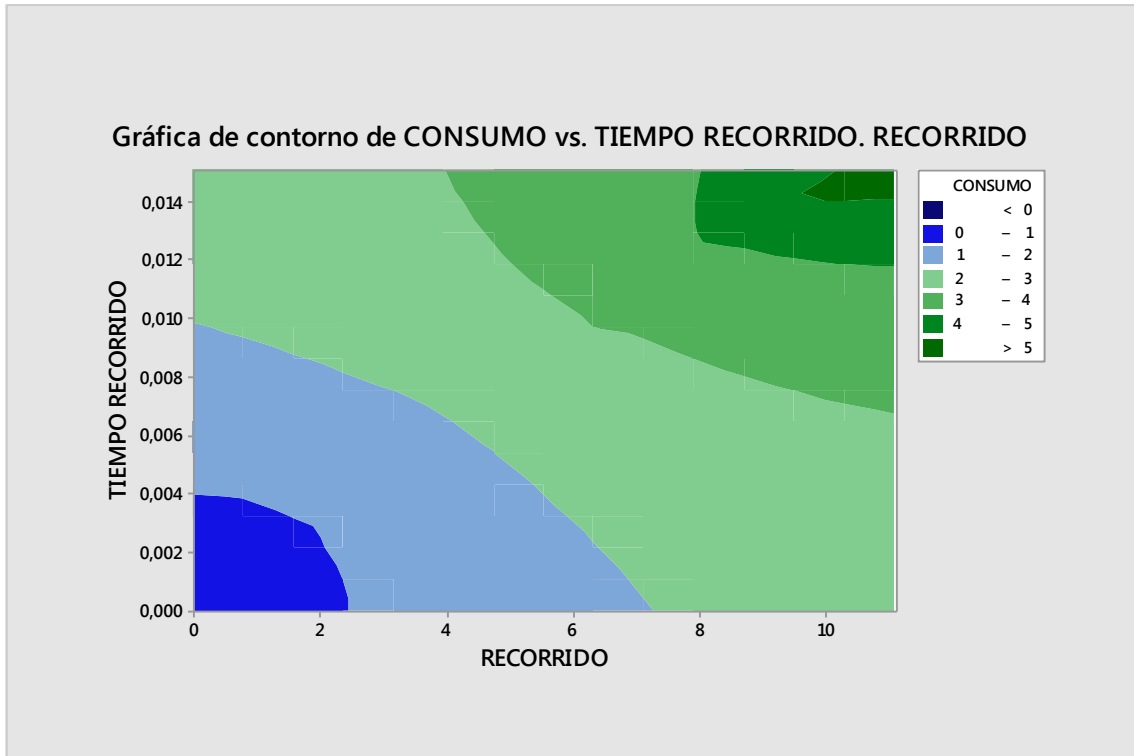


Figura 50: Gráfica de contorno de consumo vs recorrido y recorrido. Fuente: Autores

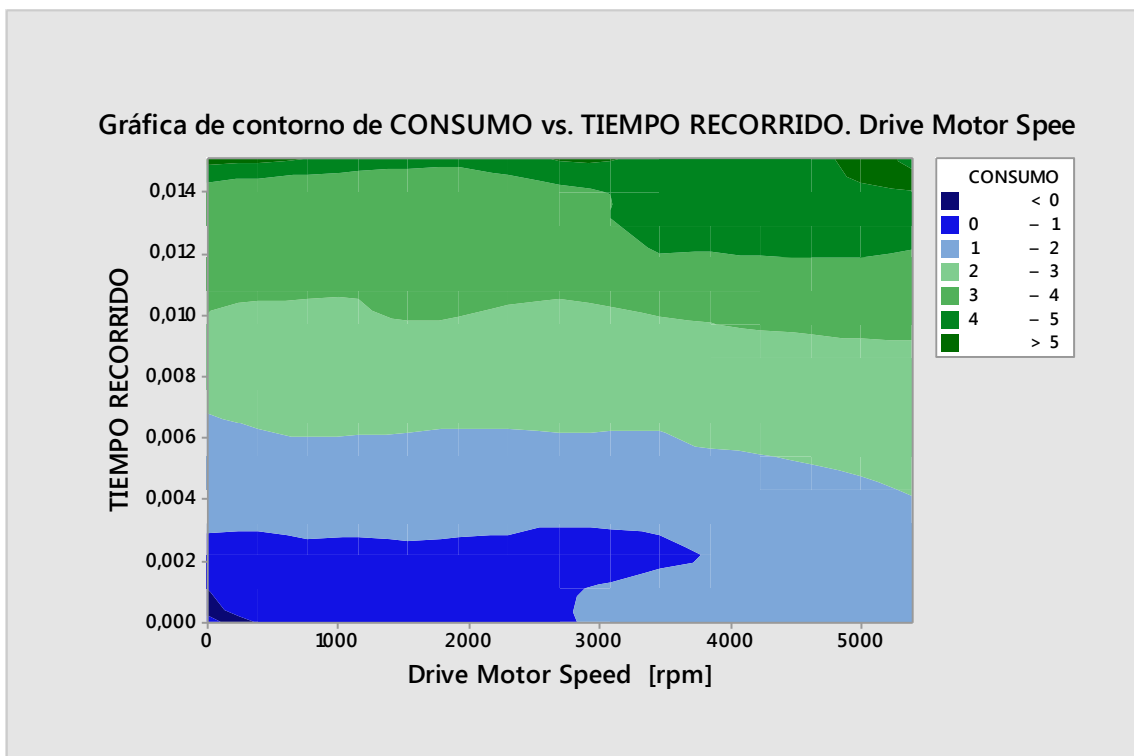


Figura 51: Gráfica de contorno de consumo vs tiempo recorrido y velocidad. Fuente: Autores

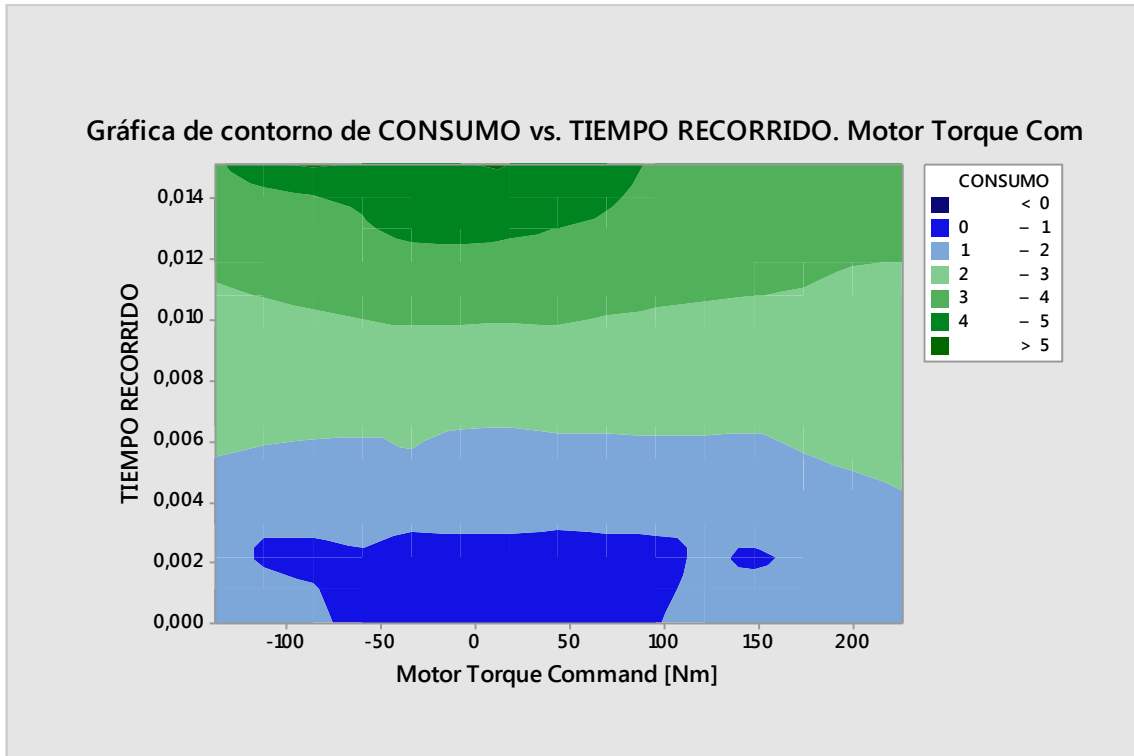


Figura 52: Gráfica de contorno de consumo vs tiempo recorrido y torque. **Fuente:** Autores.

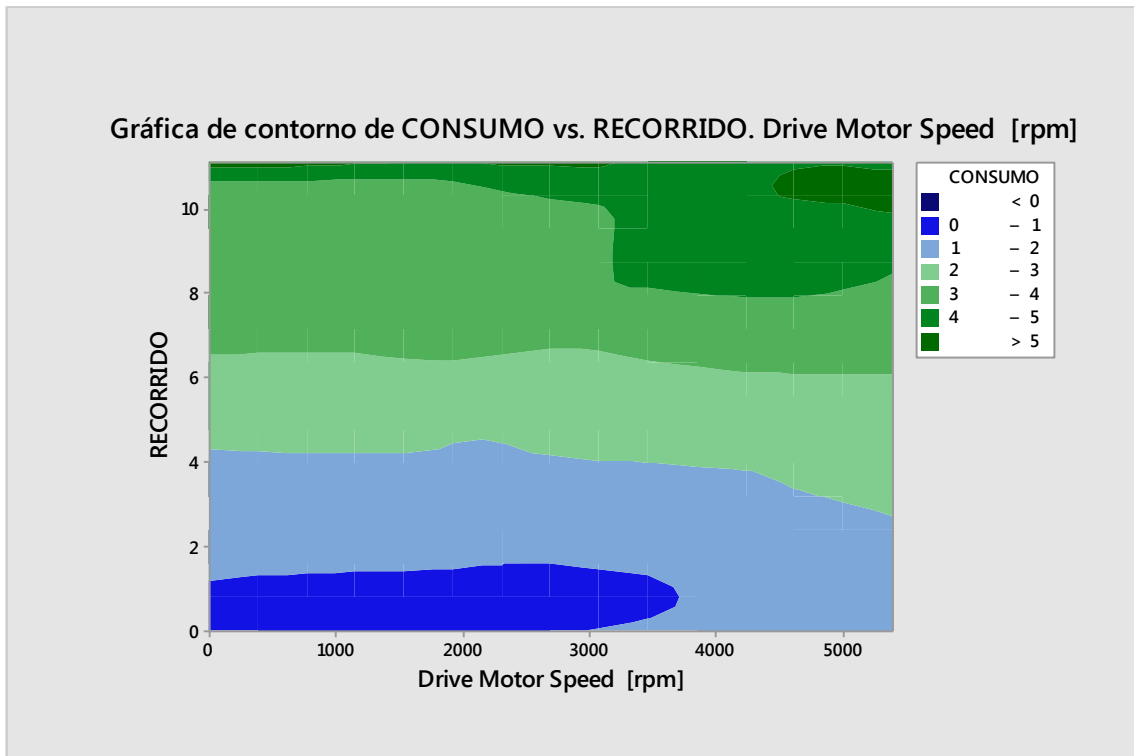


Figura 53: Gráfica de contorno de consumo vs recorrido y velocidad. **Fuente:** Autores.

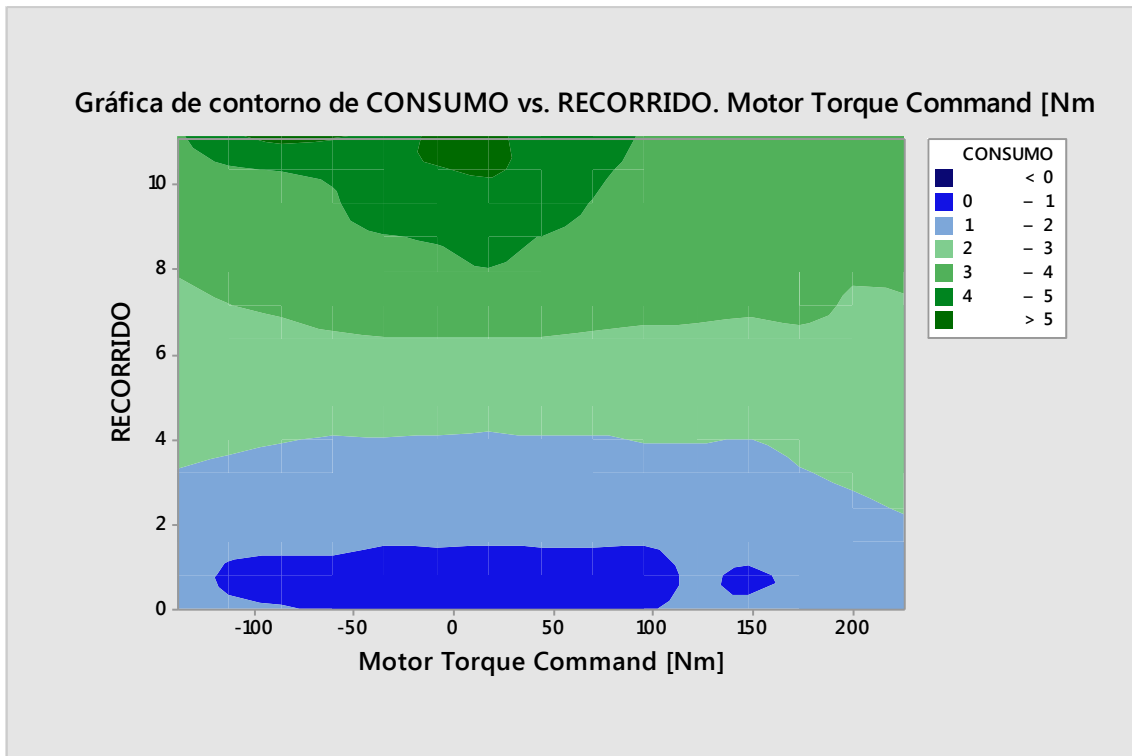


Figura 54: Gráfica de contorno de consumo vs recorrido y torque. **Fuente:** Autores.



RUTAS MACHALA. SEGUNDO CIRCUITO

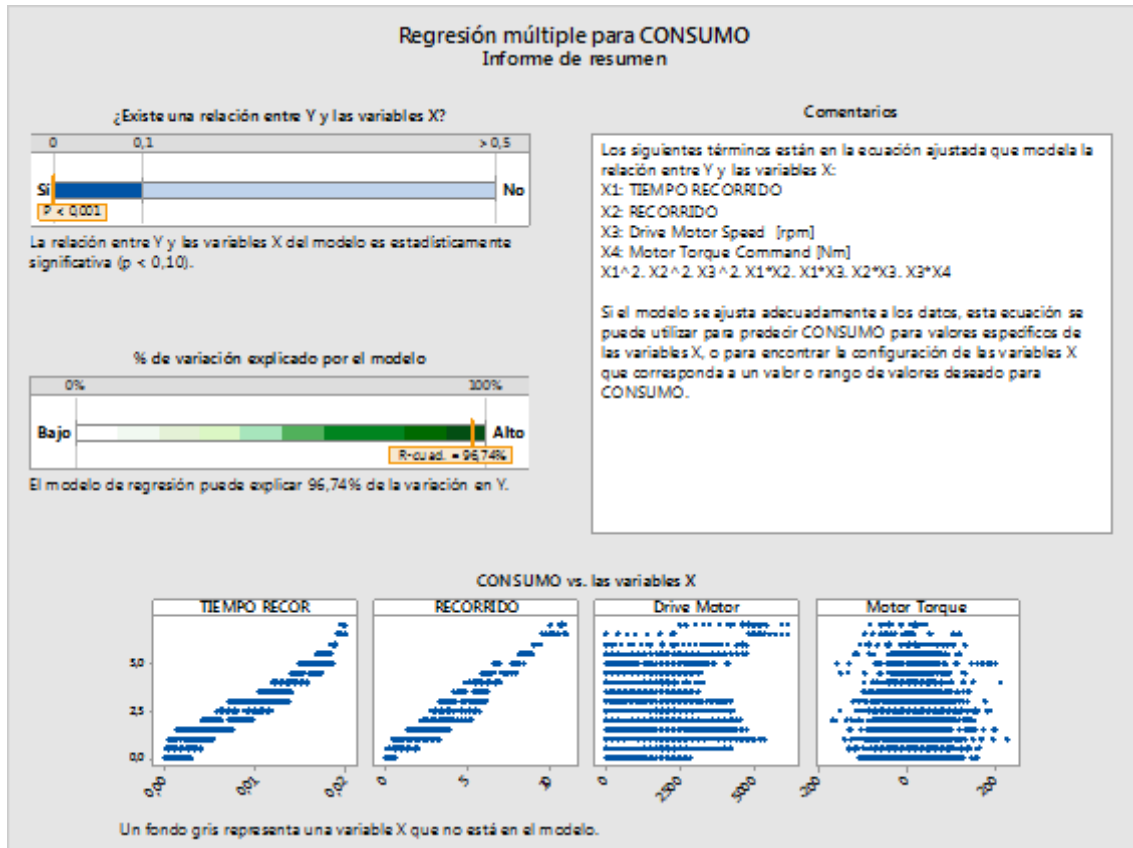


Figura 55: Regresión múltiple para consumo. Informe de resumen. Fuente: Autores.

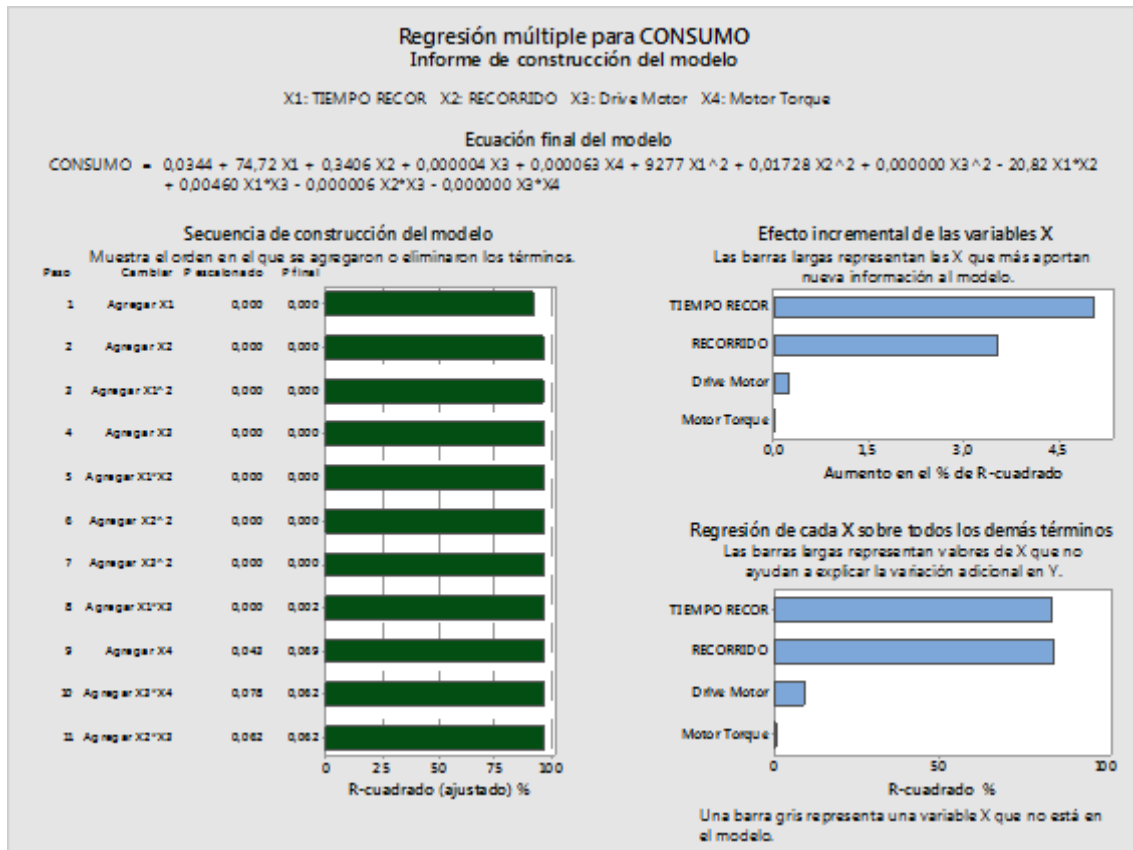


Figura 56: Regresión múltiple para consumo. Informe de ecuación. Fuente: Autores.

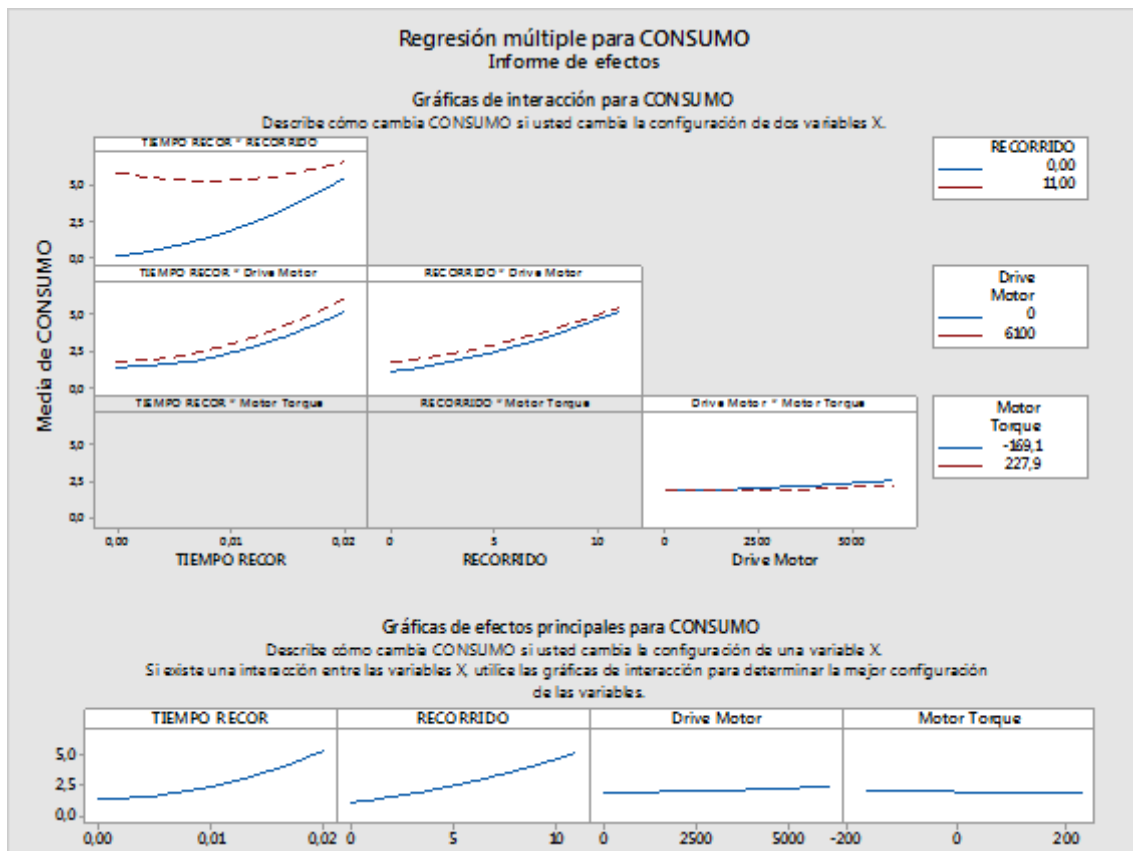


Figura 57: Informe de efectos cruzados y efectos principales. Fuente: Autores.

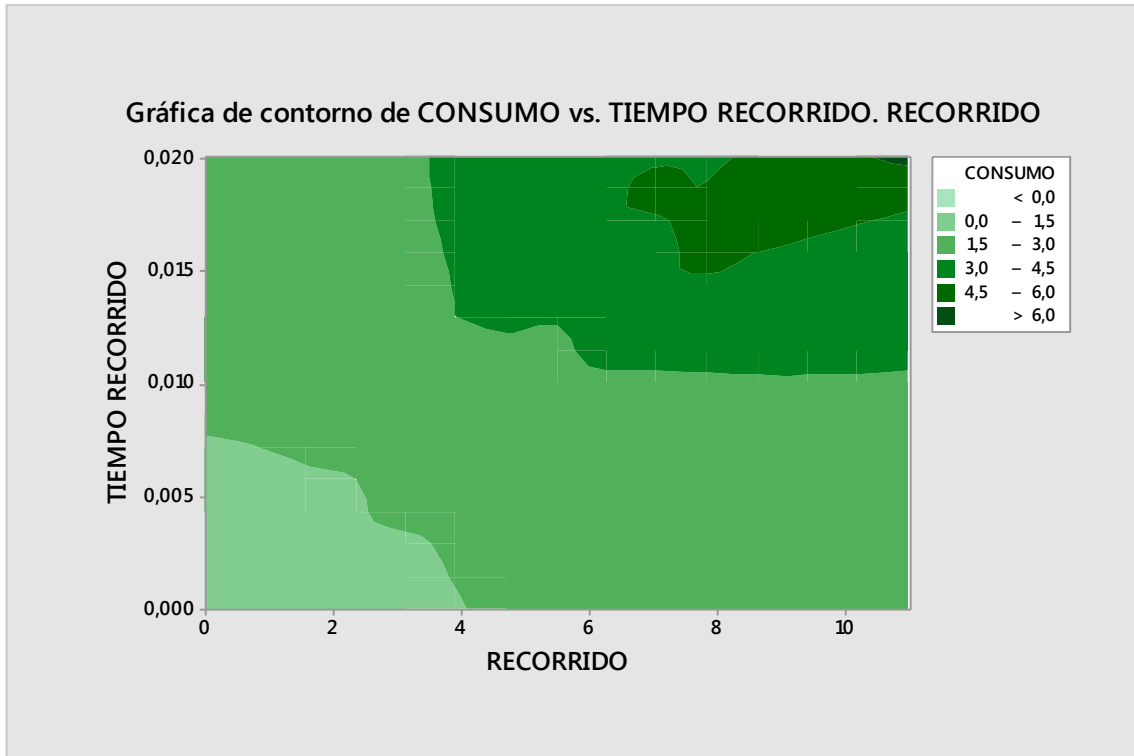


Figura 58: Gráfica de contorno del consumo vs tiempo recorrido y recorrido. **Fuente:** Autores.

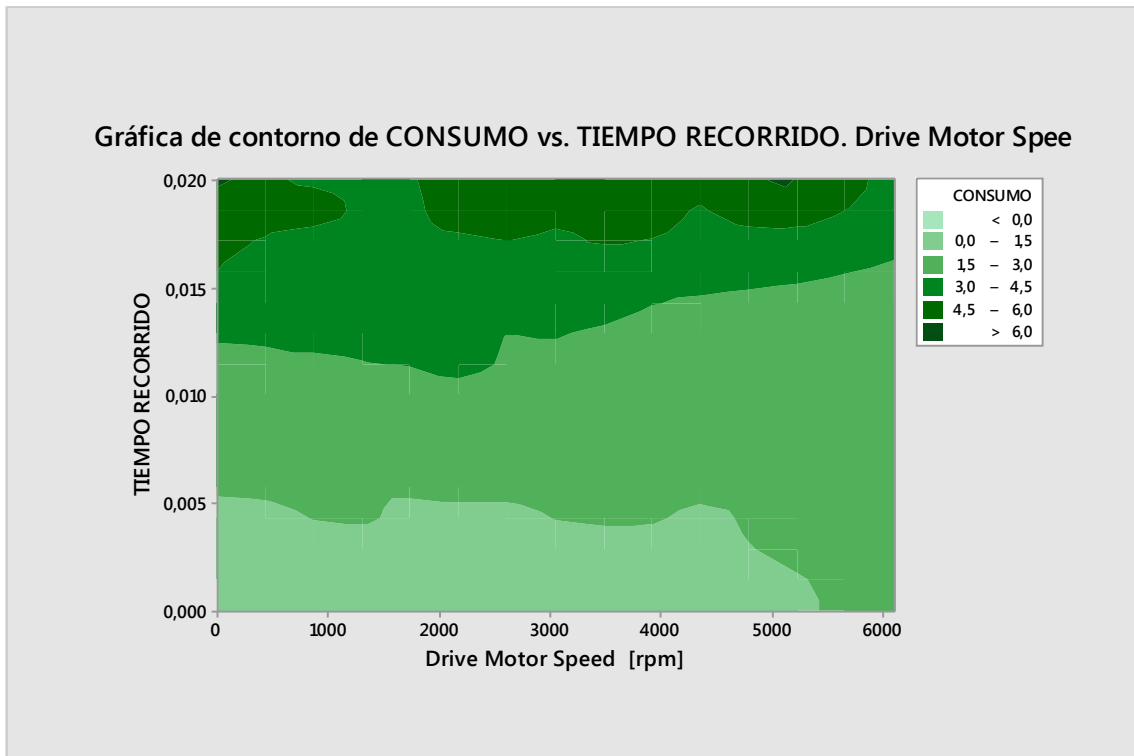


Figura 59: Gráfica de contorno del consumo vs tiempo recorrido y velocidad. **Fuente:** Autores.



Gráfica de contorno de CONSUMO vs. RECORRIDO. Drive Motor Speed [rpm]

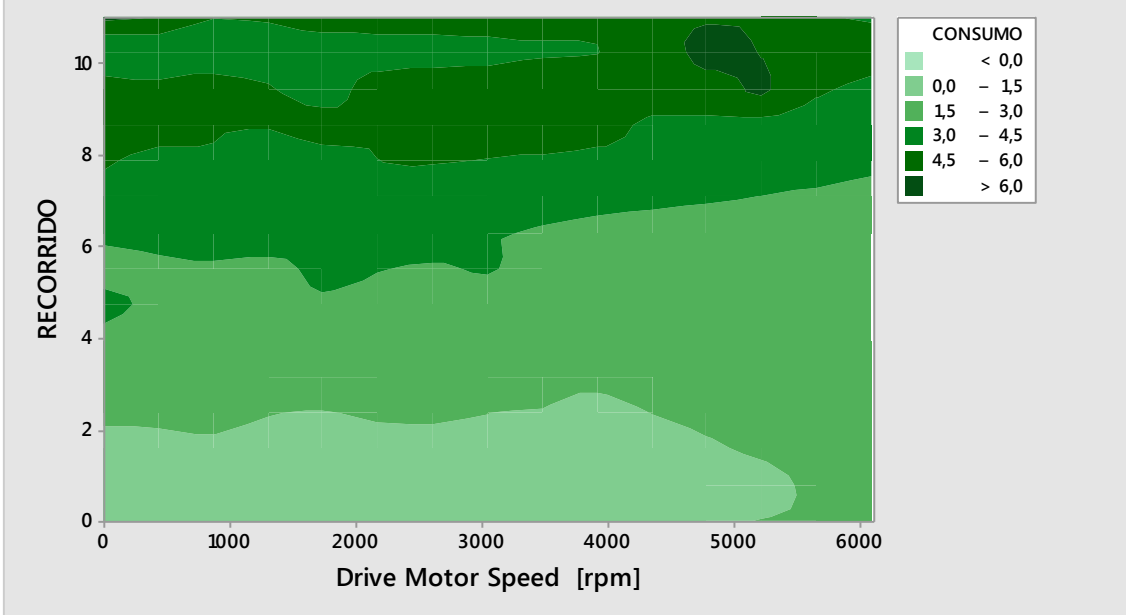


Figura 60: Gráfica de contorno del consumo vs recorrido y velocidad. **Fuente:** Autores.

Gráfica de contorno de CONSUMO vs. Drive Motor Spee. Motor Torque Com

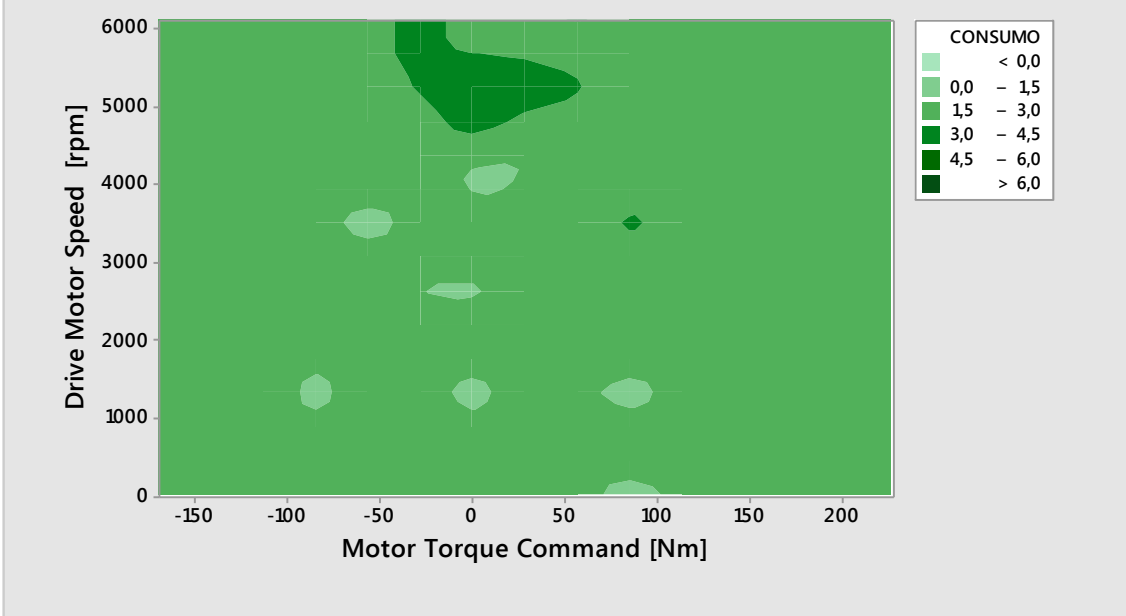


Figura 61: Gráfica de contorno del consumo vs velocidad y torque. **Fuente:** Autores.



CIRCUITO 2. RUTA 4 (MÁS INFLUYENTE)

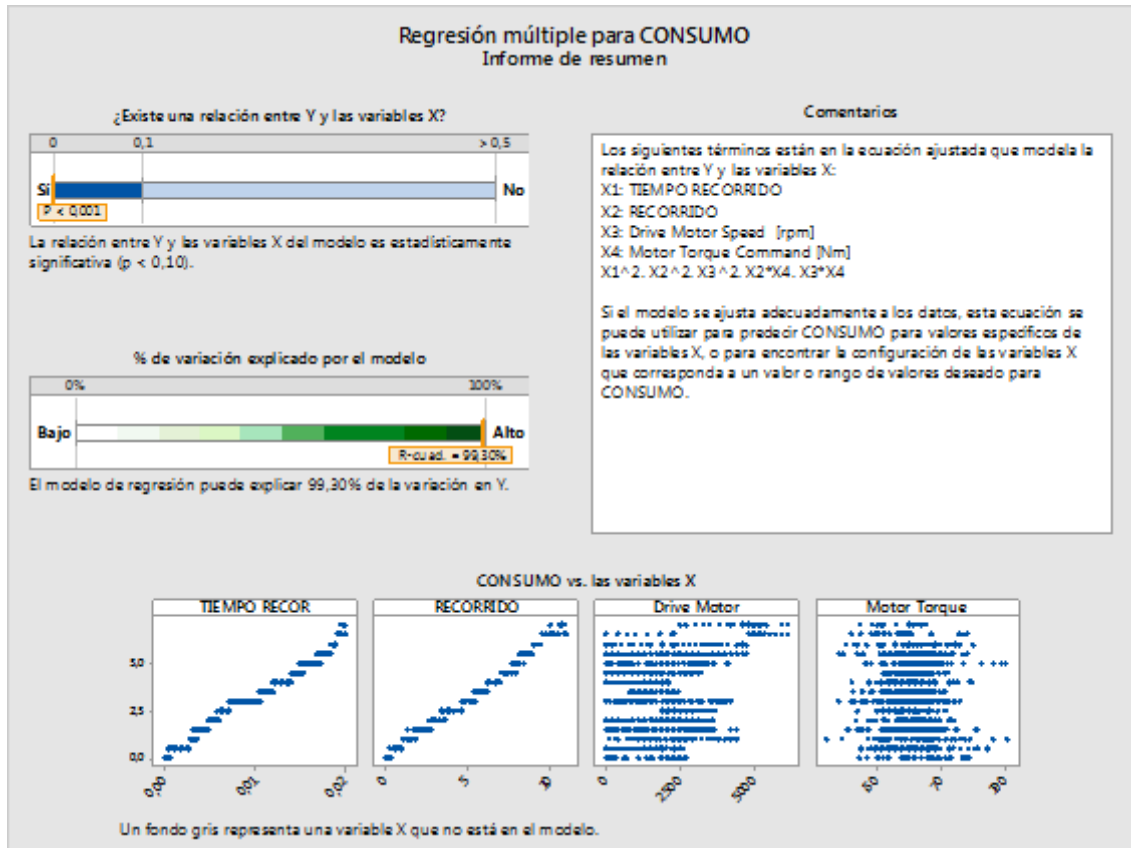


Figura 62: Regresión múltiple para el consumo. Informe de resumen Fuente: Autores.

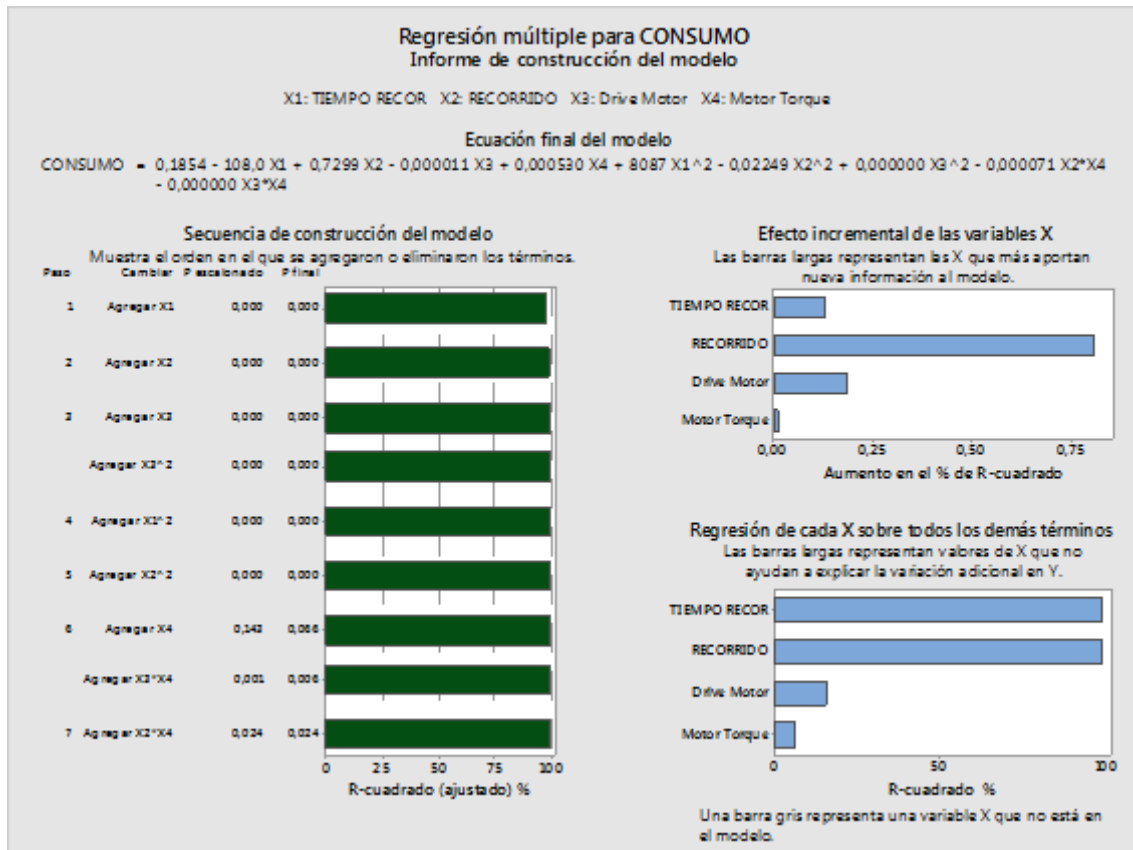


Figura 63: Regresión múltiple para el consumo. Informe de ecuación. Fuente: Autores.

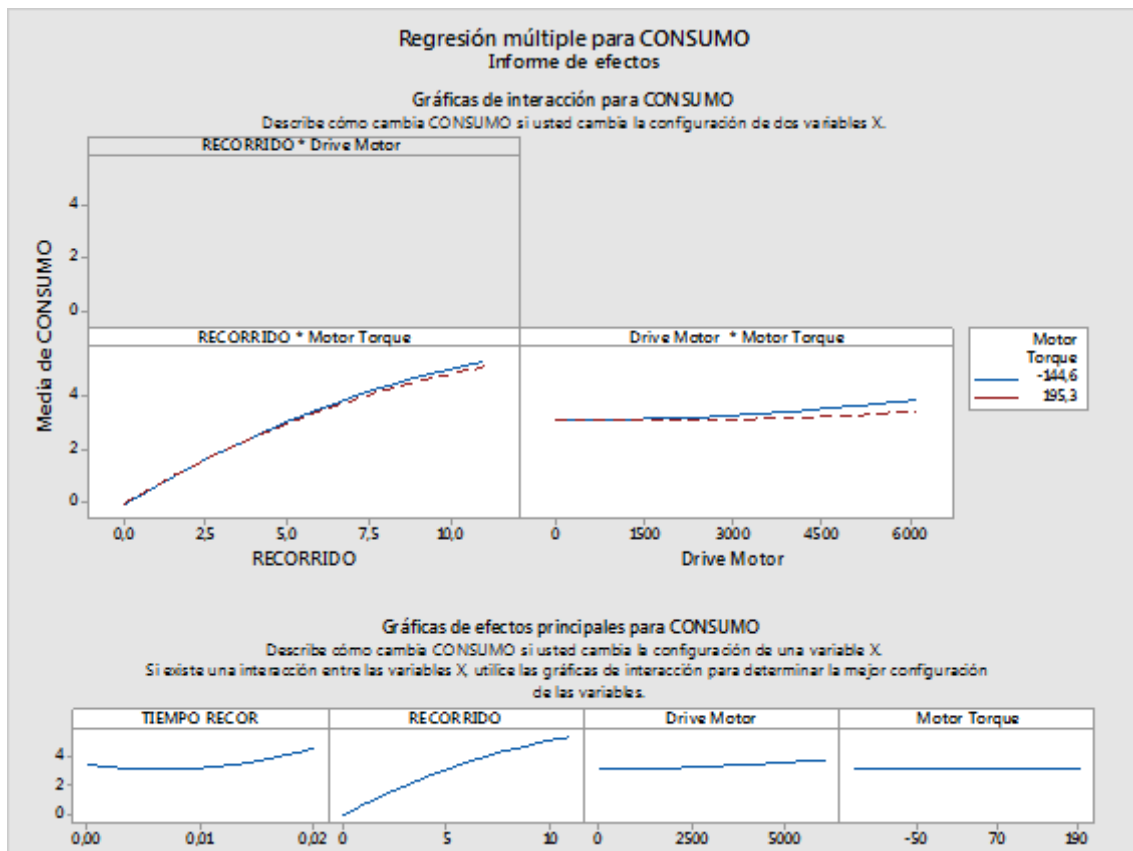


Figura 64: Informe de efectos cruzados y de efectos principales. Fuente: Autores.

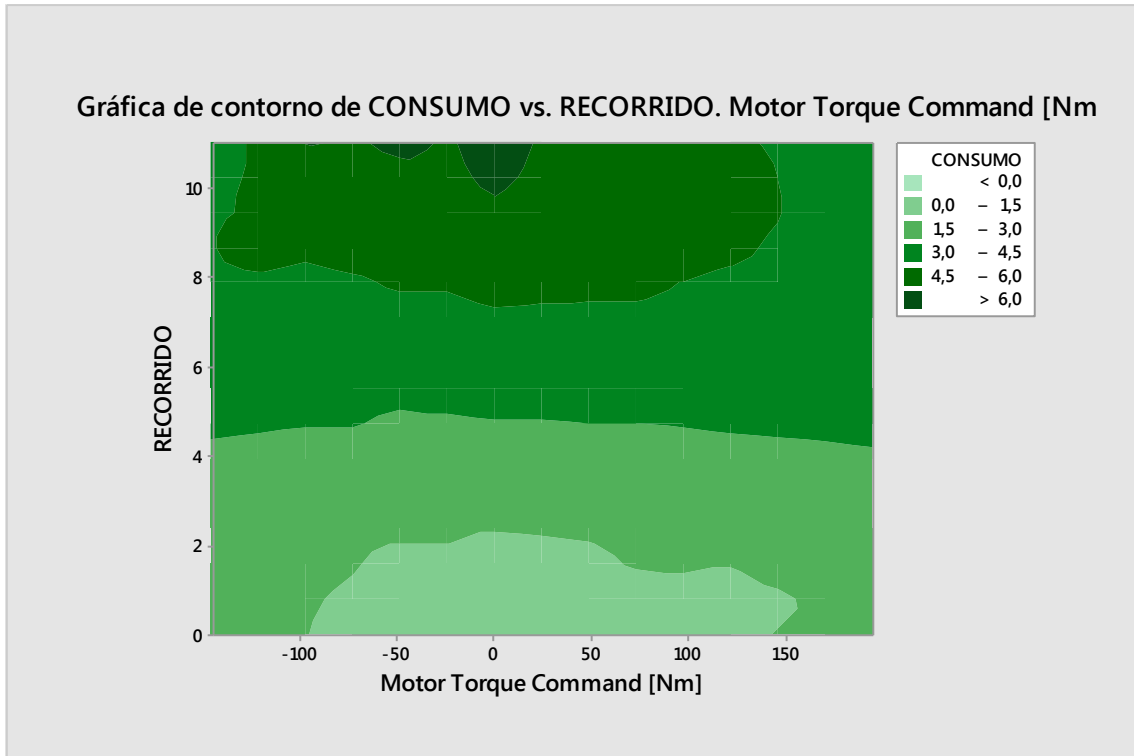


Figura 65: Gráfica de contorno del consumo vs recorrido y torque. **Fuente:** Autores.

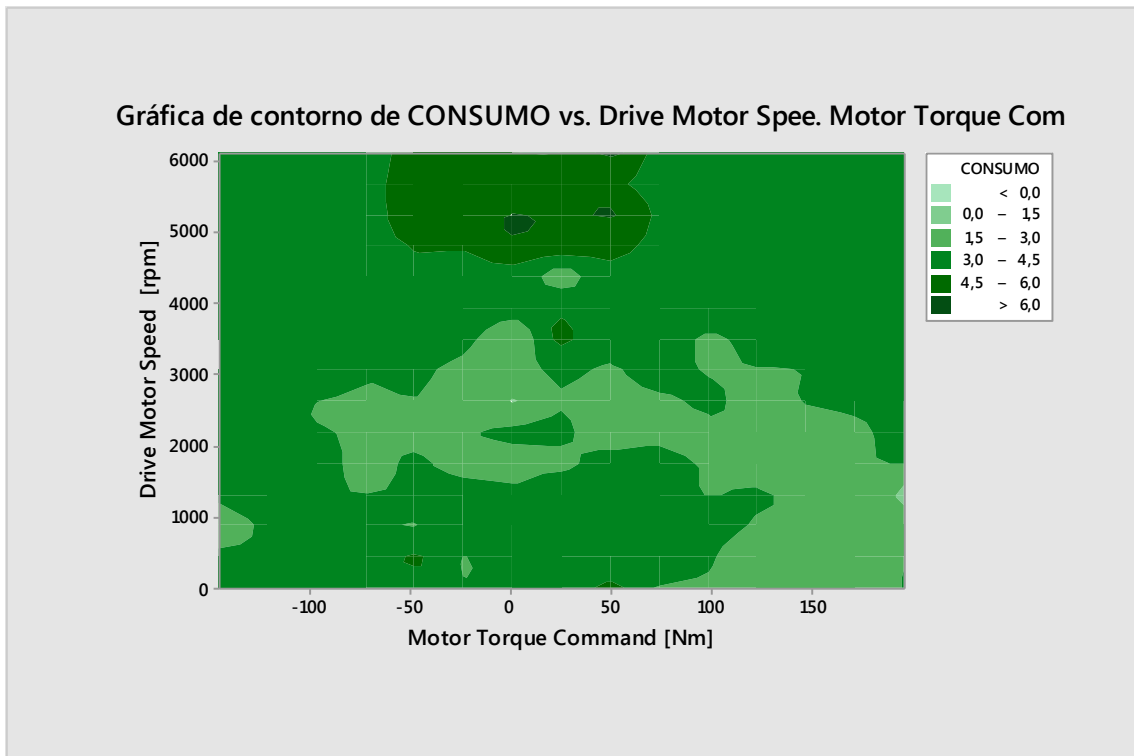


Figura 66: Gráfica de contorno del consumo vs velocidad y torque. **Fuente:** Autores.



RUTAS MACHALA. TERCERA PRUEBA

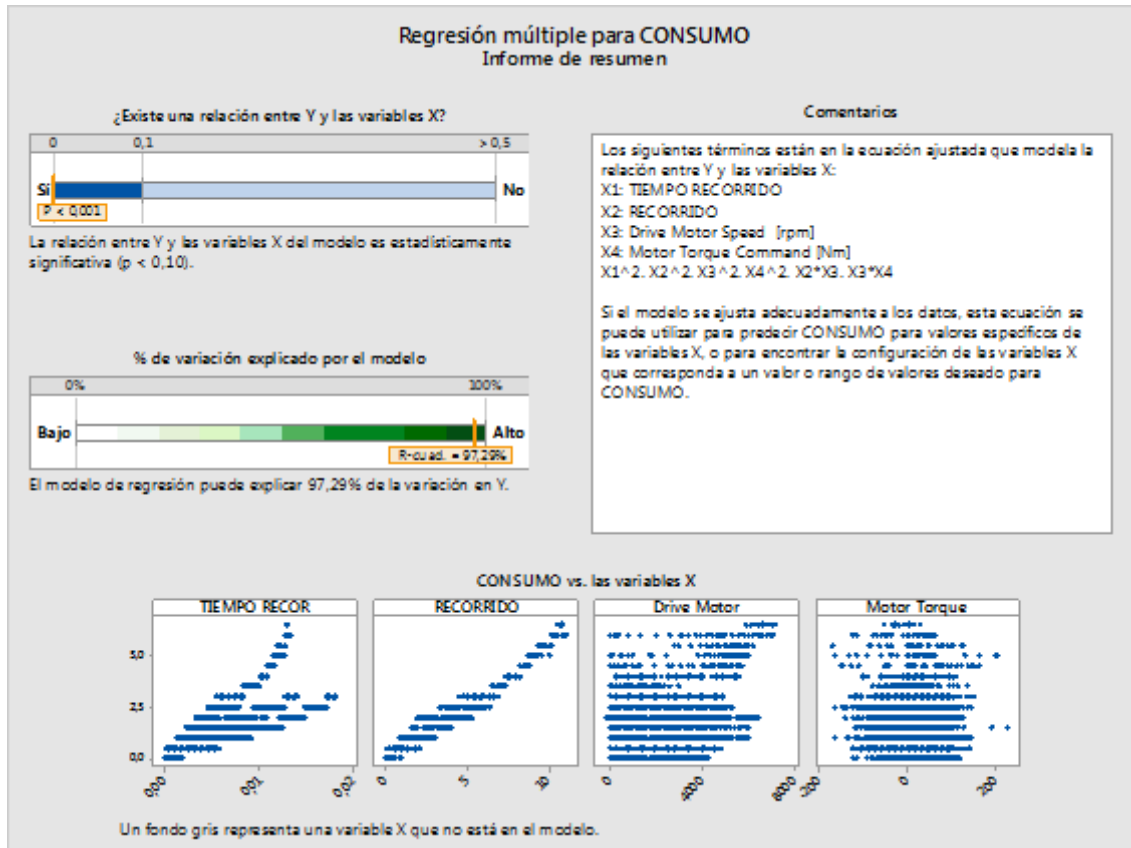


Figura 67: Regresión múltiple para el consumo. Informe de resumen **Fuente:** Autores.

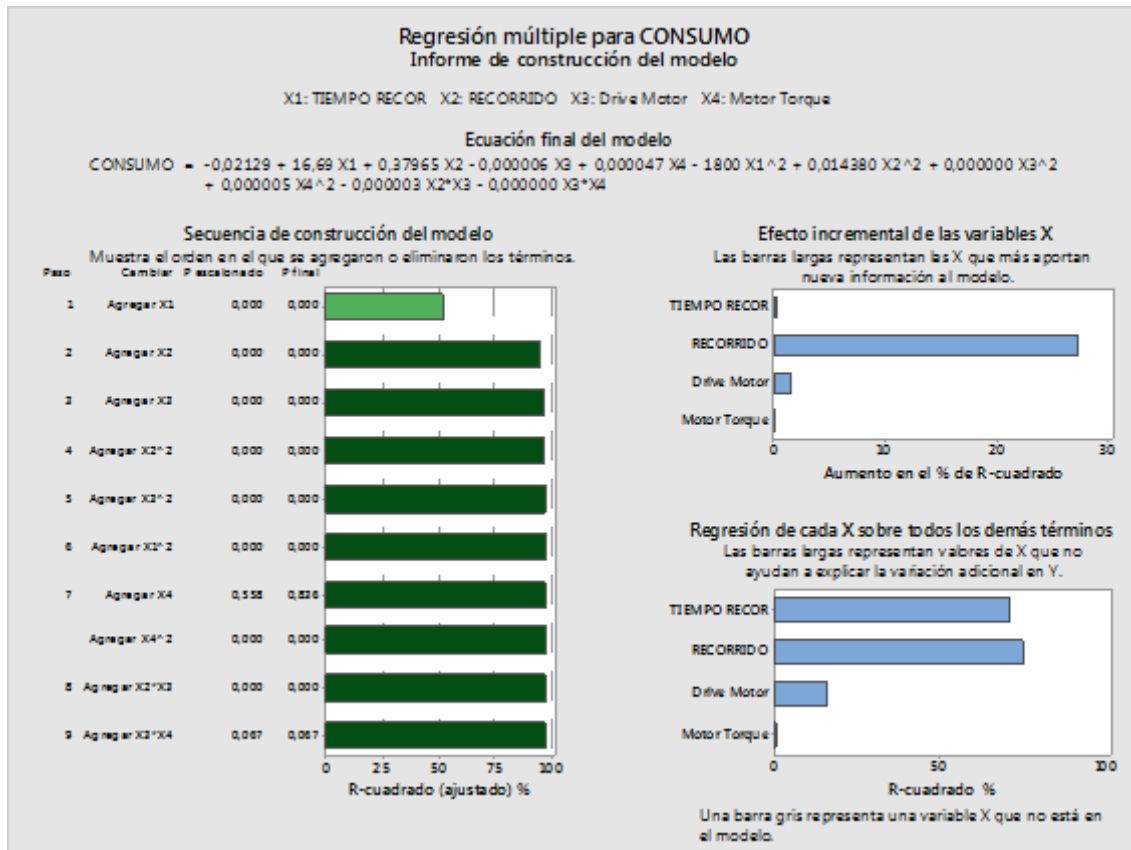


Figura 68: Regresión múltiple para el consumo. Informe de ecuación. Fuente: Autores.

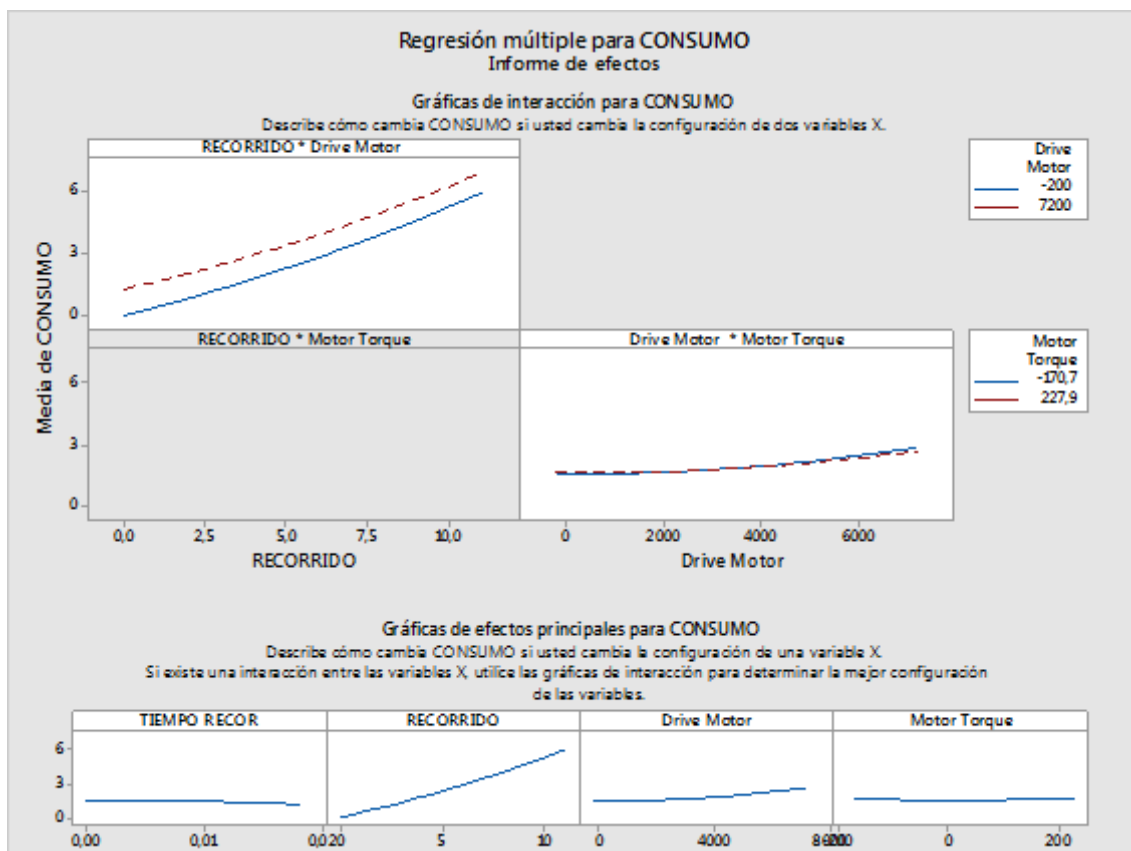


Figura 69: Informe de efectos cruzados y efectos principales. Fuente: Autores

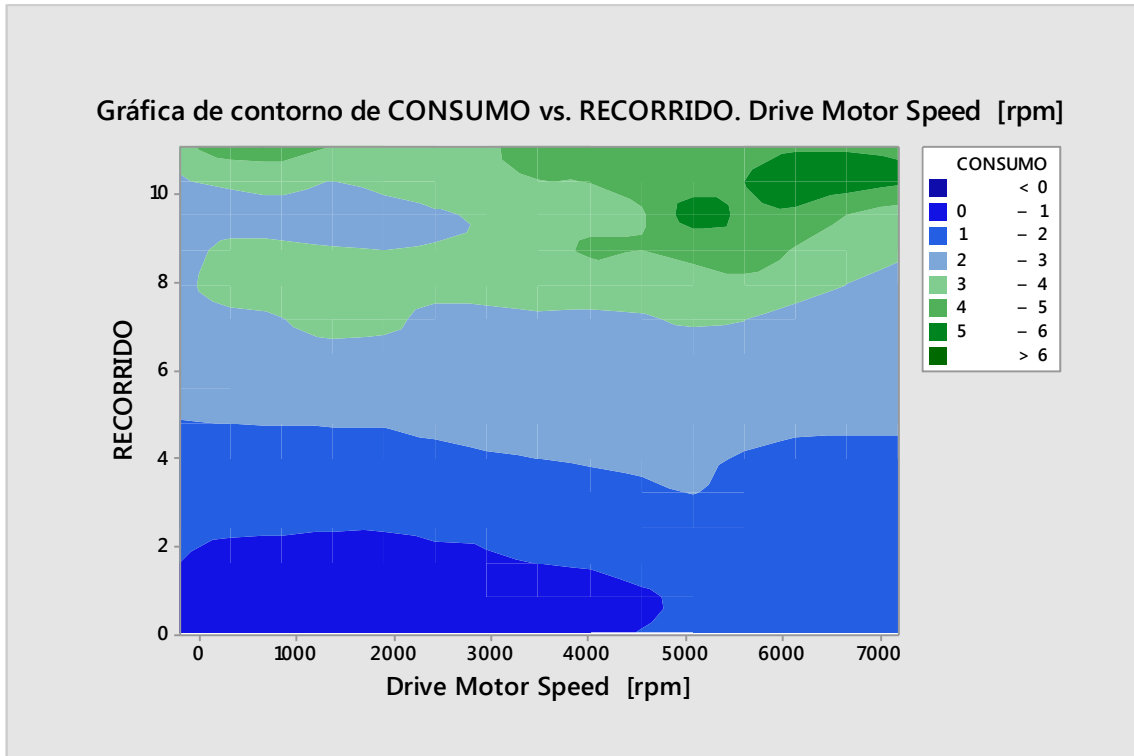


Figura 70: Gráfica de contorno del consumo vs recorrido y velocidad. **Fuente:** Autores.

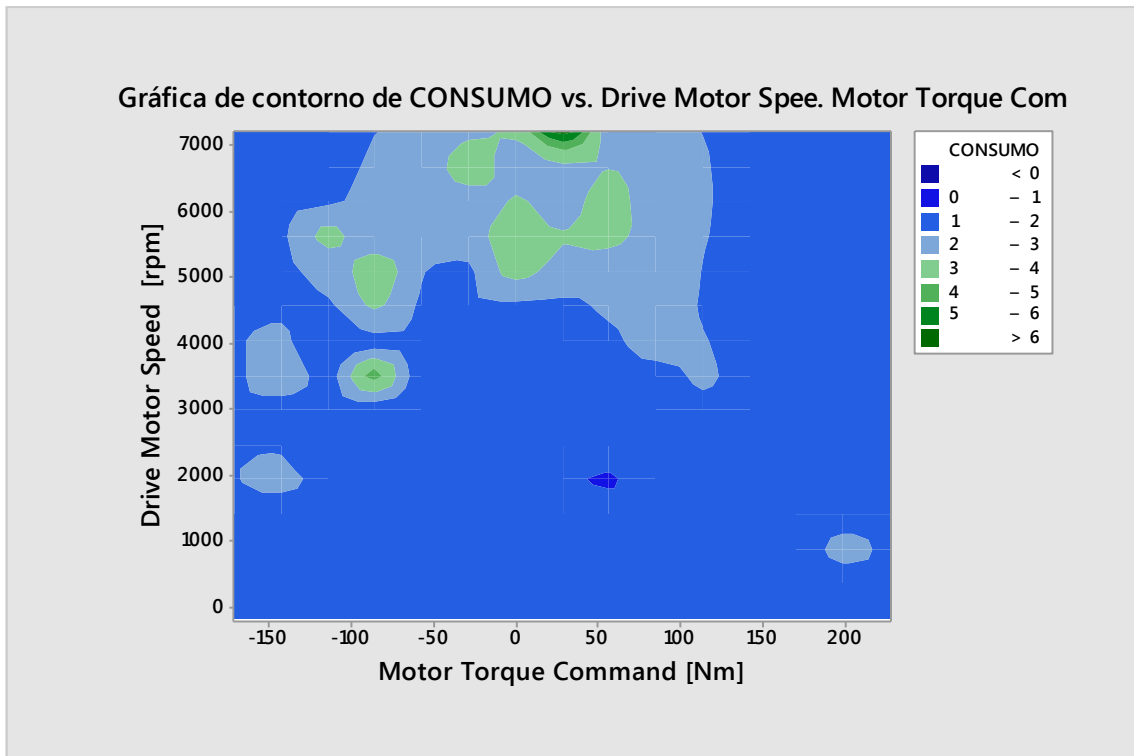


Figura 71: Gráfica de contorno del consumo vs velocidad y torque. **Fuente:** Autores.



CIRCUITO 3. RUTA 4 (MÁS INFLUYENTE)

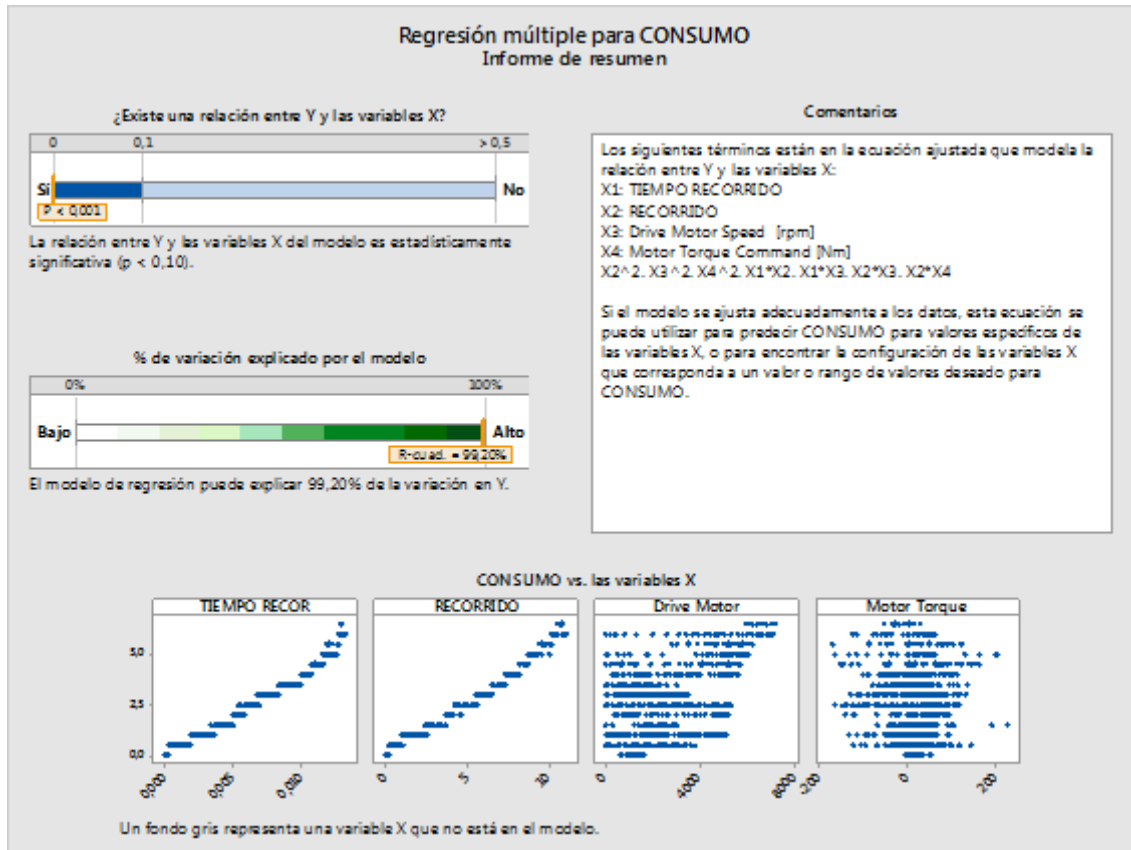


Figura 72: Regresión múltiple para el consumo. Informe de resumen Fuente: Autores.

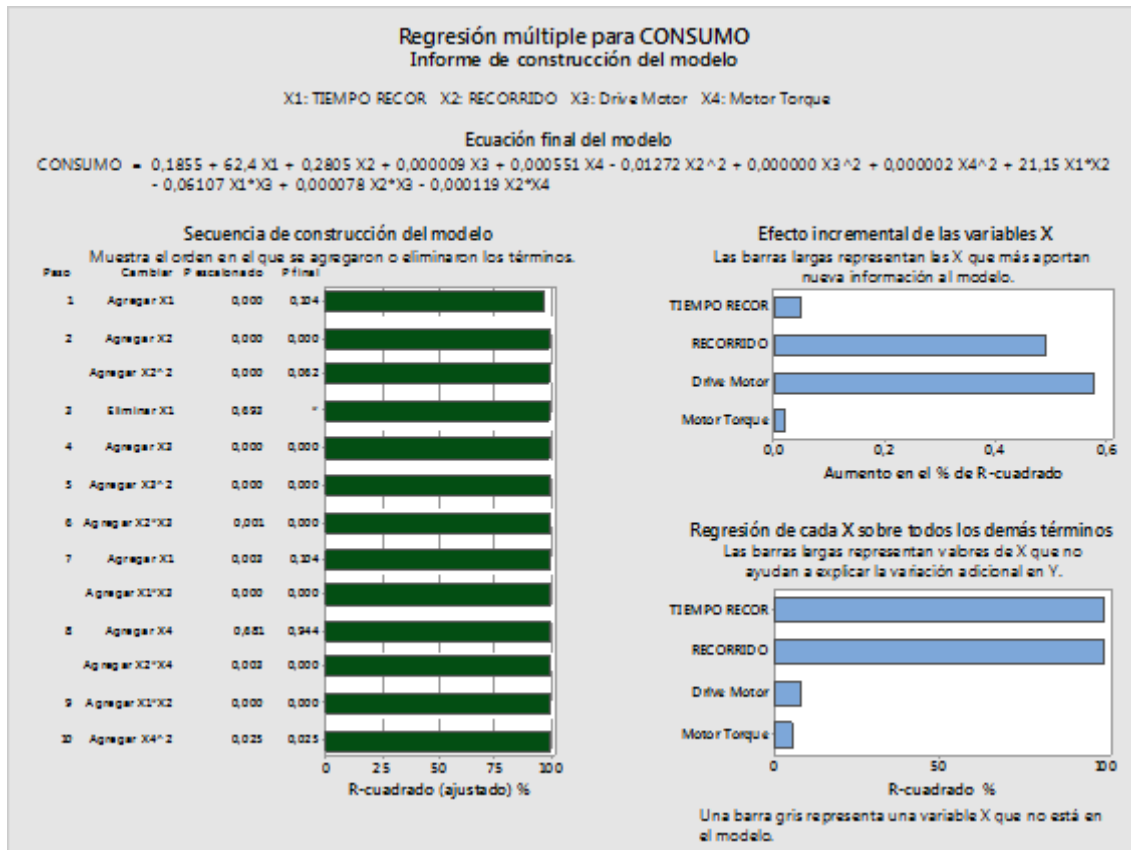


Figura 73: Regresión múltiple para el consumo. Informe de ecuación. Fuente: Autores.

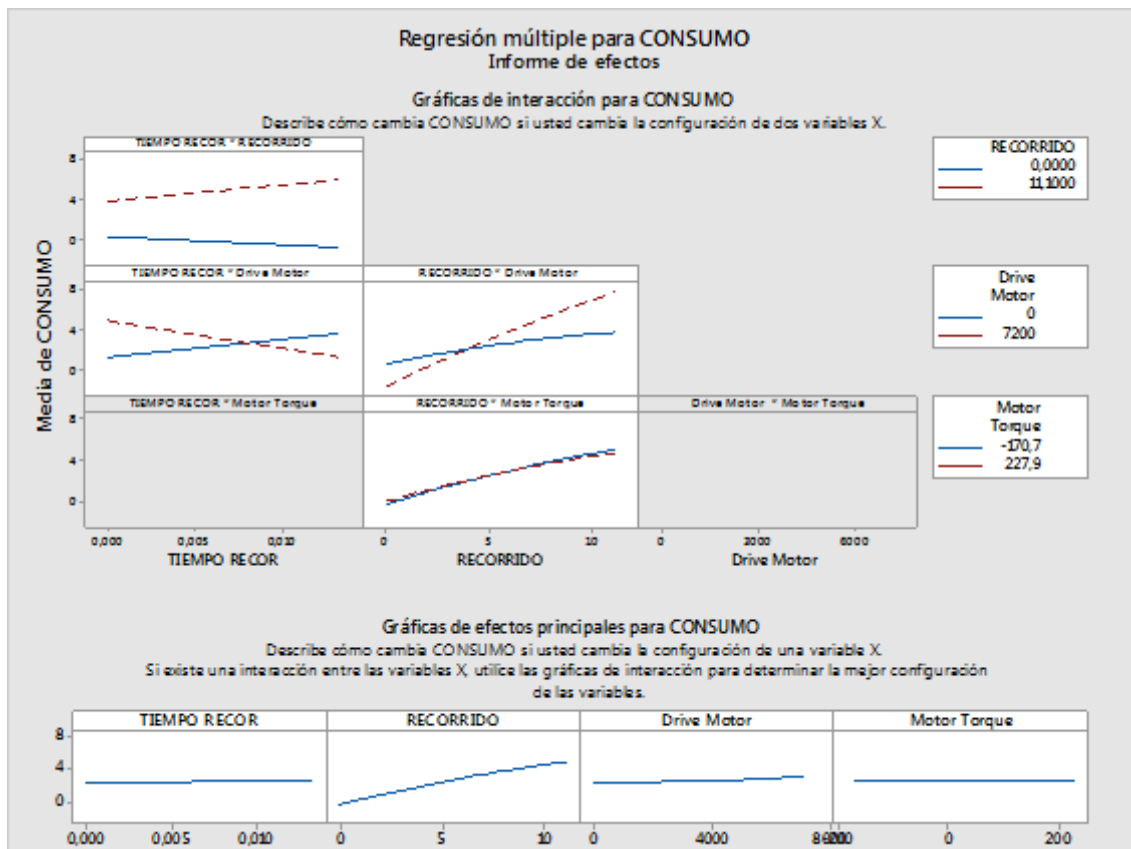


Figura 74: Informe de efectos cruzados y efectos principales. Fuente: Autores.

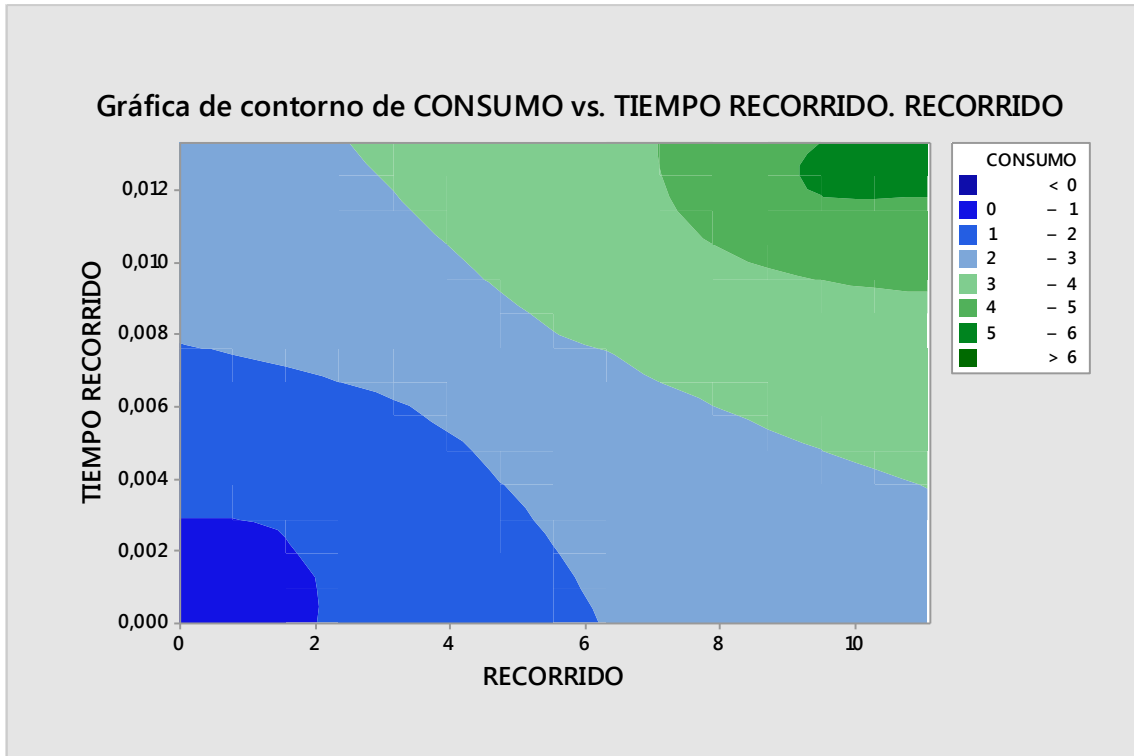


Figura 75: Gráfica de contorno del consumo vs tiempo recorrido y recorrido. **Fuente:** Autores.

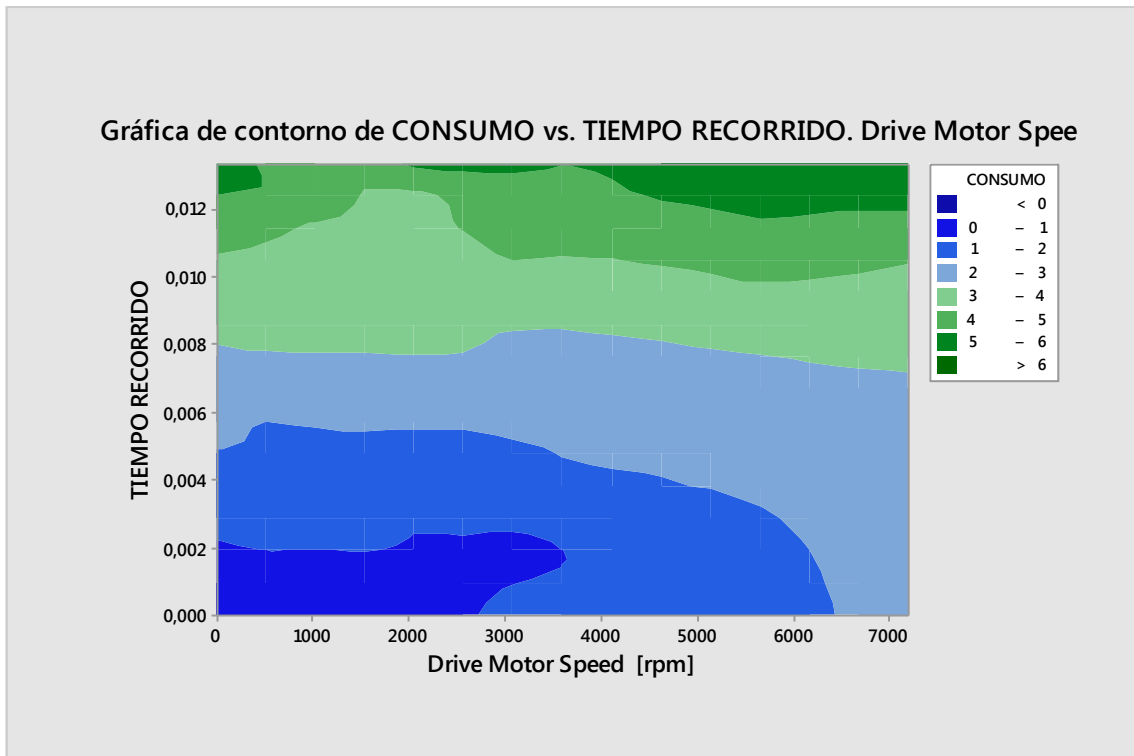


Figura 76: Gráfica de contorno del consumo vs tiempo recorrido y velocidad. **Fuente:** Autores.

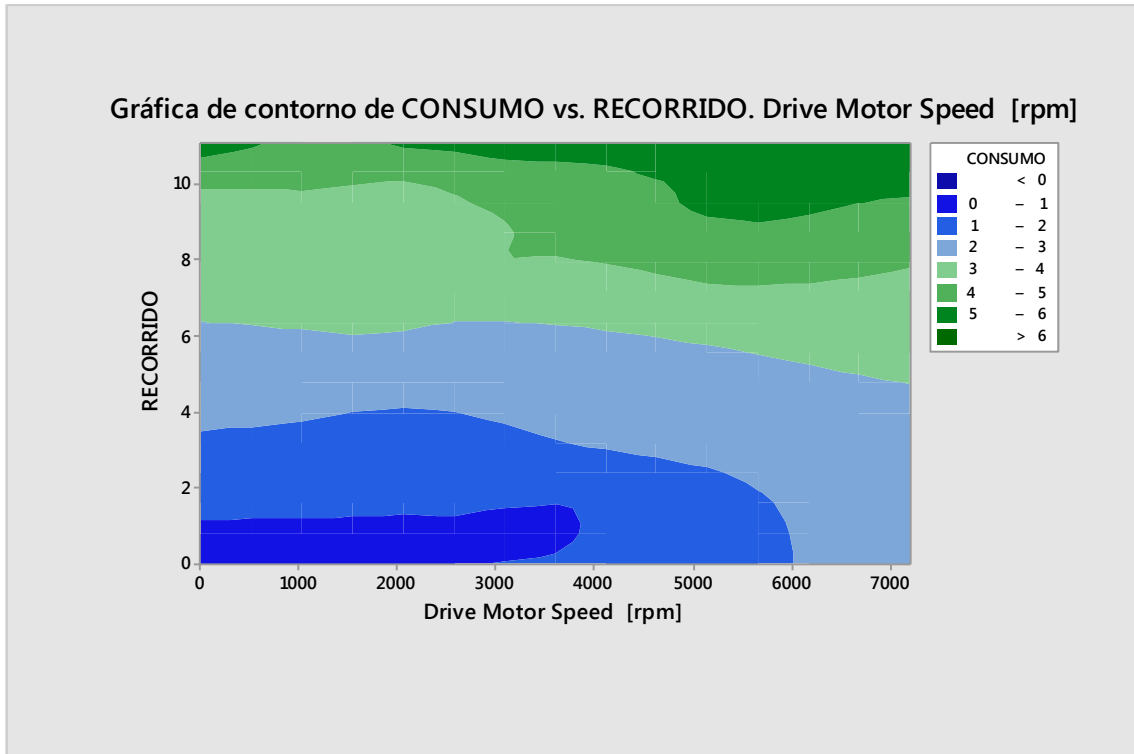


Figura 77: Gráfica de contorno del consumo vs recorrido y velocidad. **Fuente:** Autores.

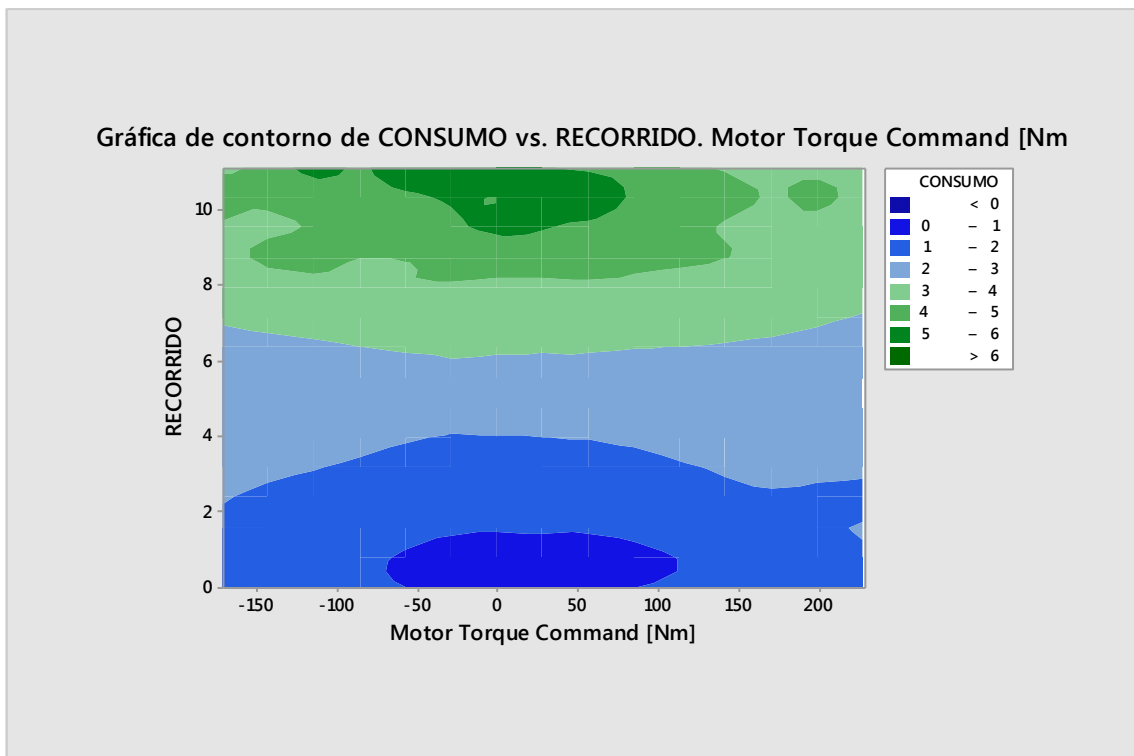


Figura 78: Gráfica de contorno del consumo vs recorrido y torque. **Fuente:** Autores.



RUTAS MACHALA. CUARTA PRUEBA

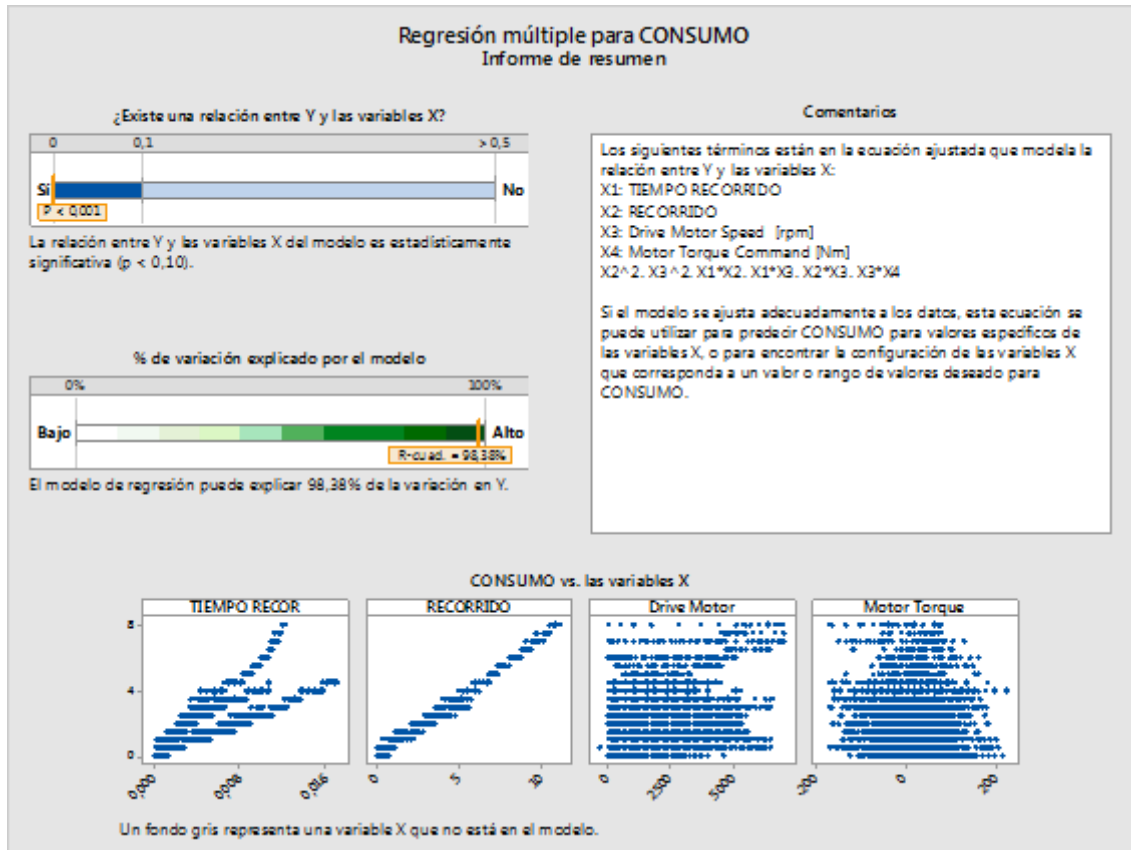


Figura 79: Regresión múltiple para el consumo. Informe de resumen Fuente: Autores.

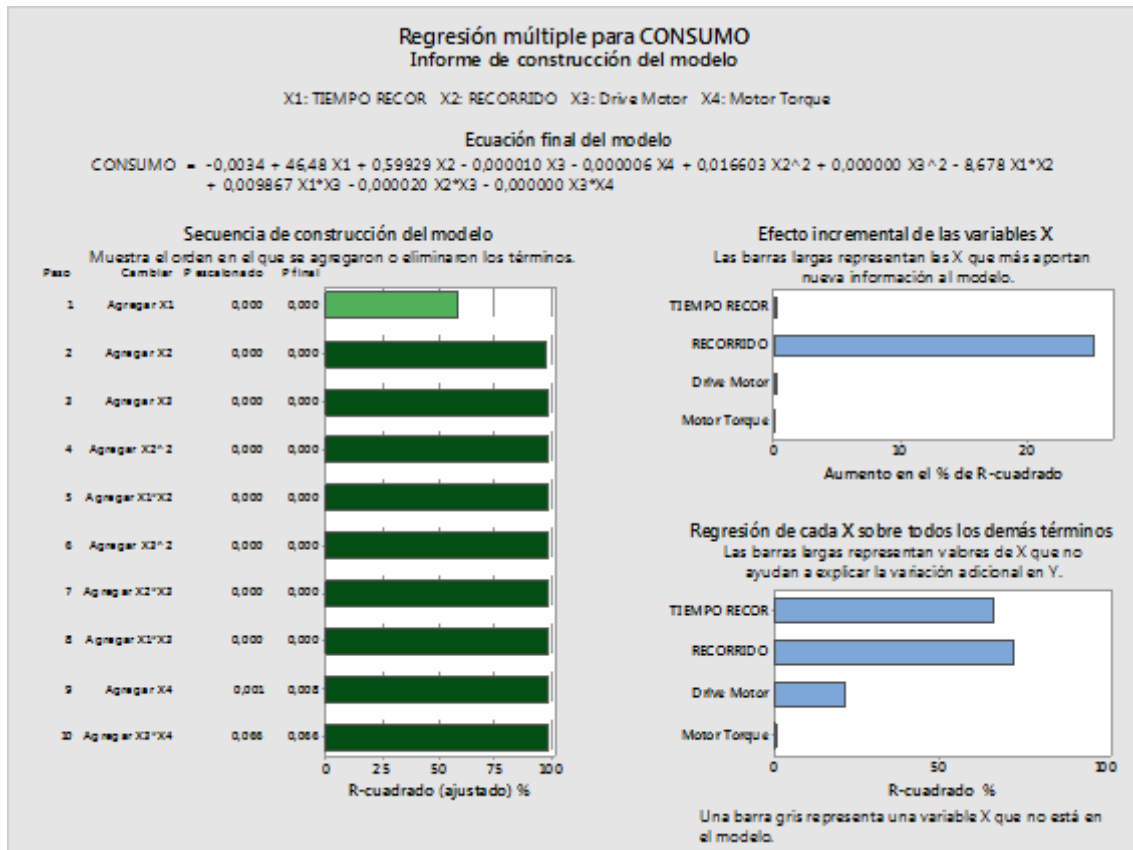


Figura 80: Regresión múltiple para el consumo. Informe de ecuación. Fuente: Autores.

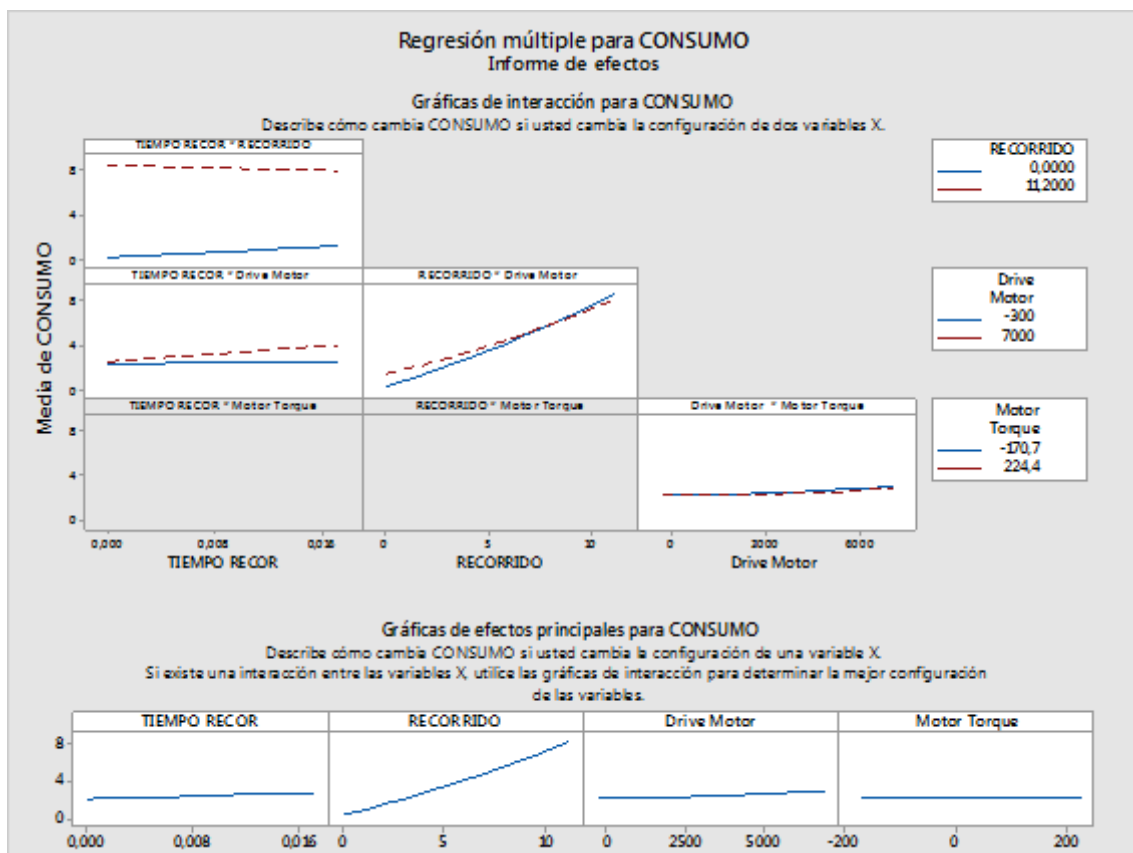


Figura 81: Informe de efectos cruzados y efectos principales. Fuente: Autores.

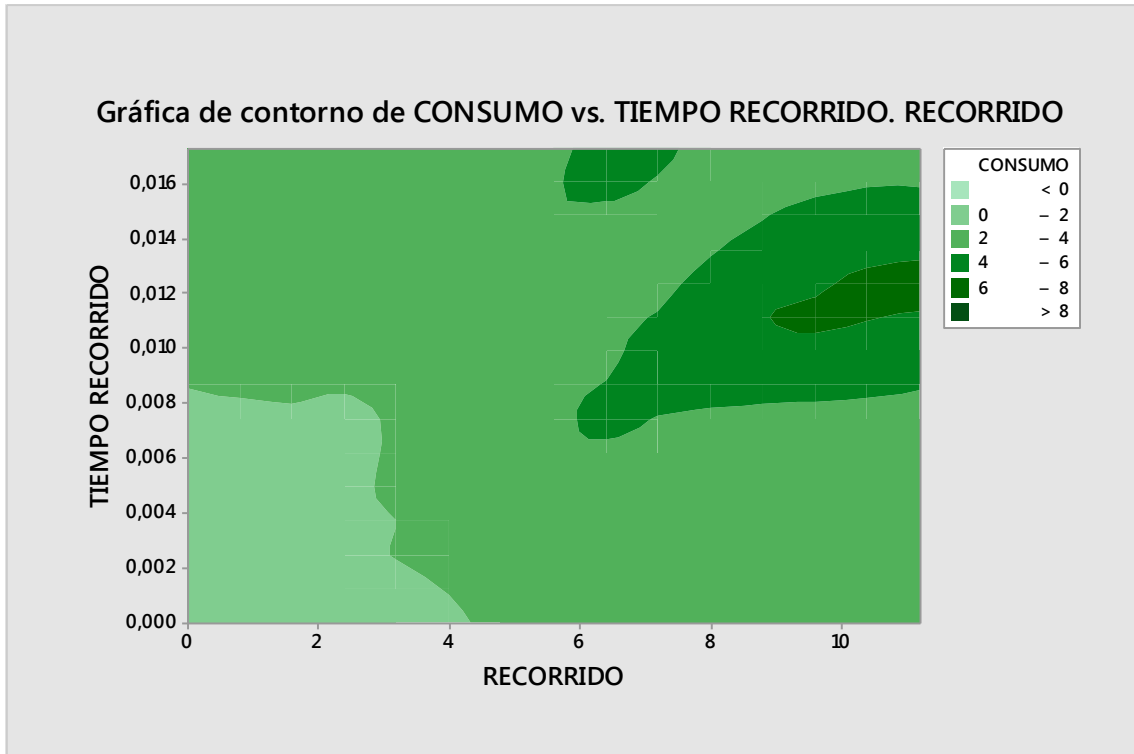


Figura 82: Gráfica de contorno del consumo vs tiempo recorrido y recorrido. **Fuente:** Autores.

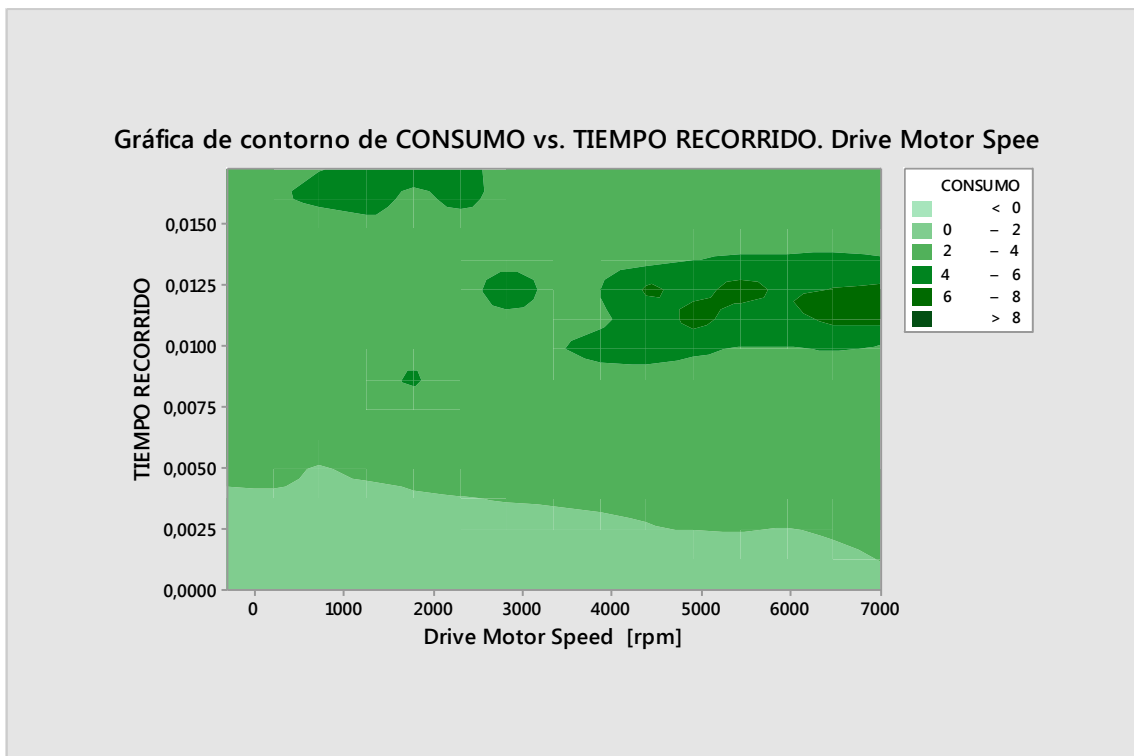


Figura 83: Gráfica de contorno del consumo vs tiempo recorrido y velocidad. **Fuente:** Autores.

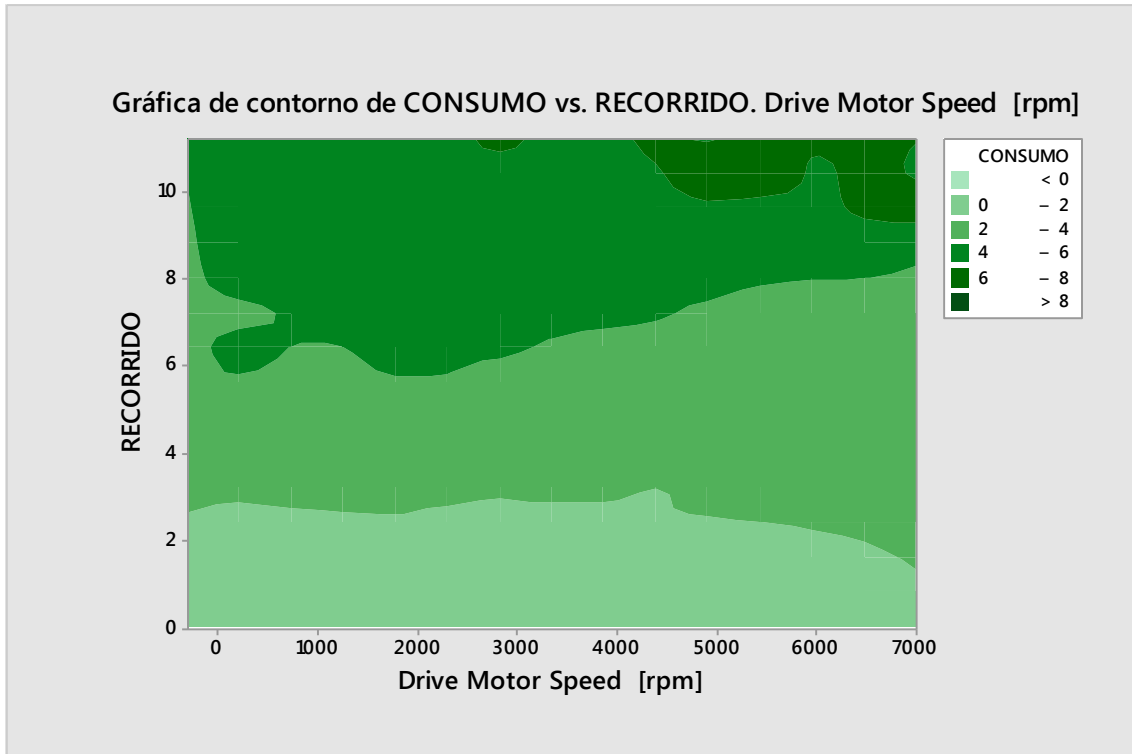


Figura 84: Gráfica de contorno del consumo vs recorrido y velocidad. **Fuente:** Autores.

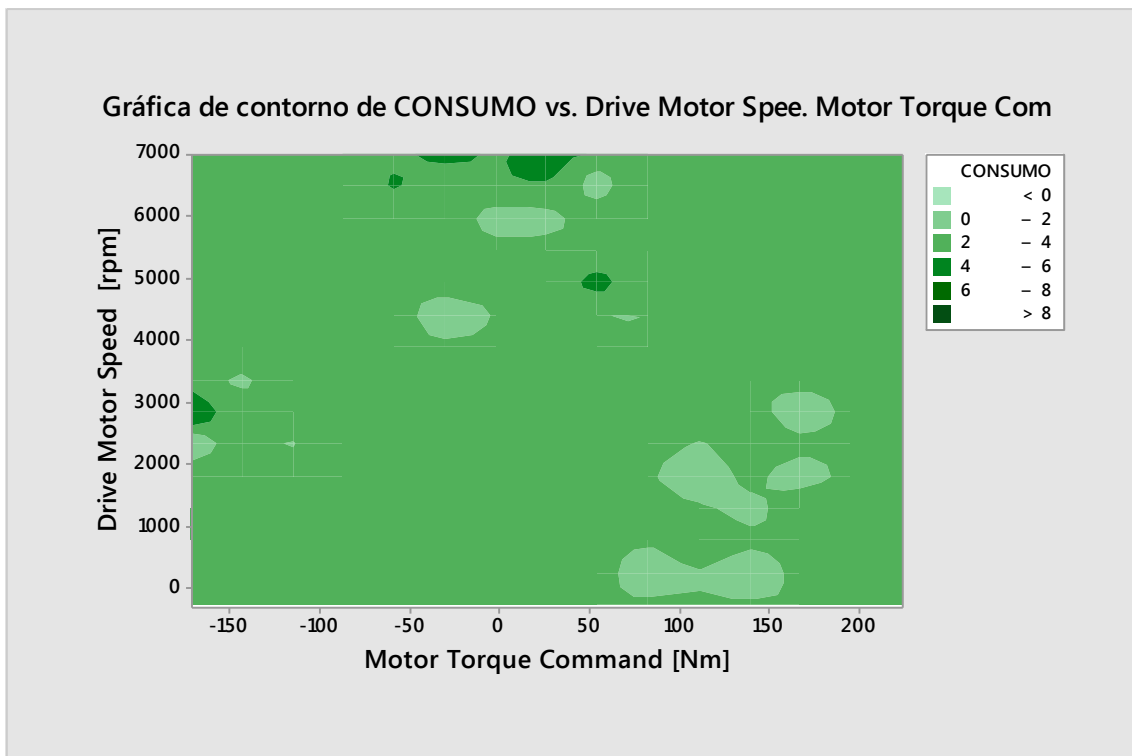


Figura 85: Gráfica de contorno del consumo vs velocidad y torque. **Fuente:** Autores.



CIRCUITO 4. RUTA 4 (MÁS INFLUYENTE)

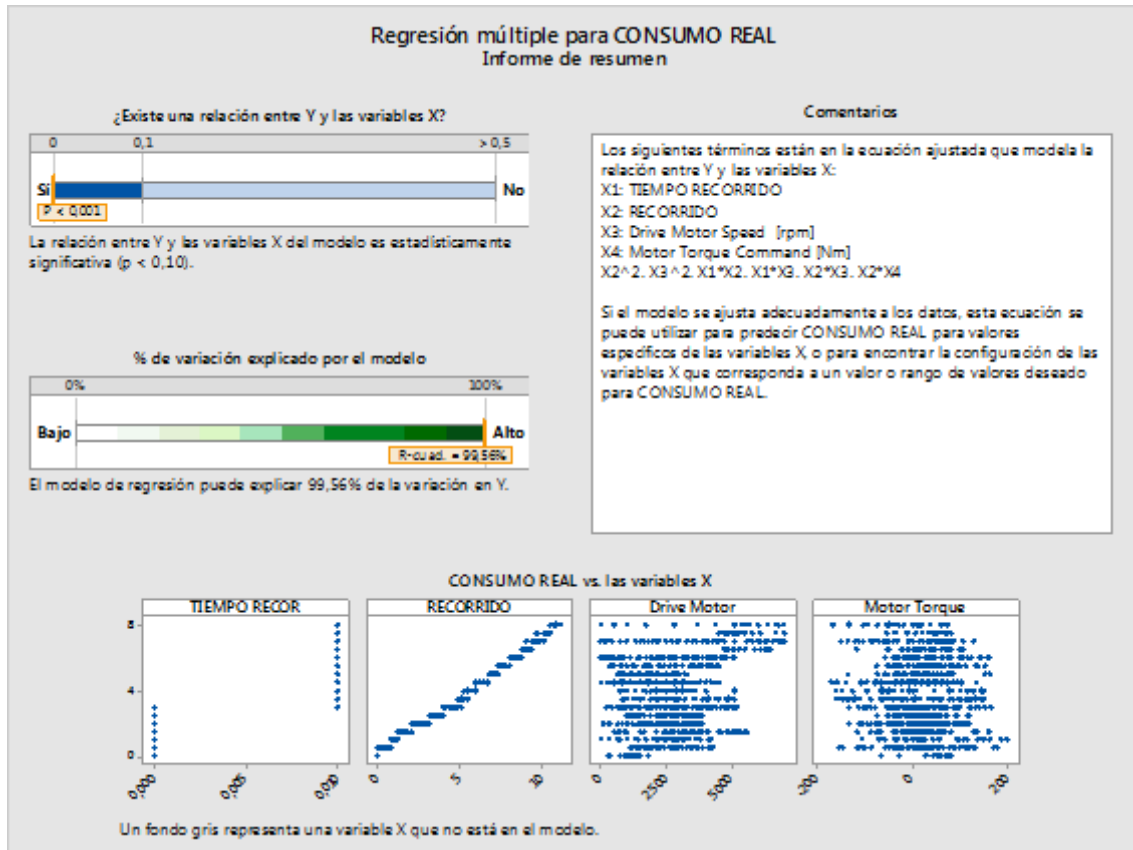


Figura 86: Regresión múltiple para el consumo. Informe de resumen. Fuente: Autores.

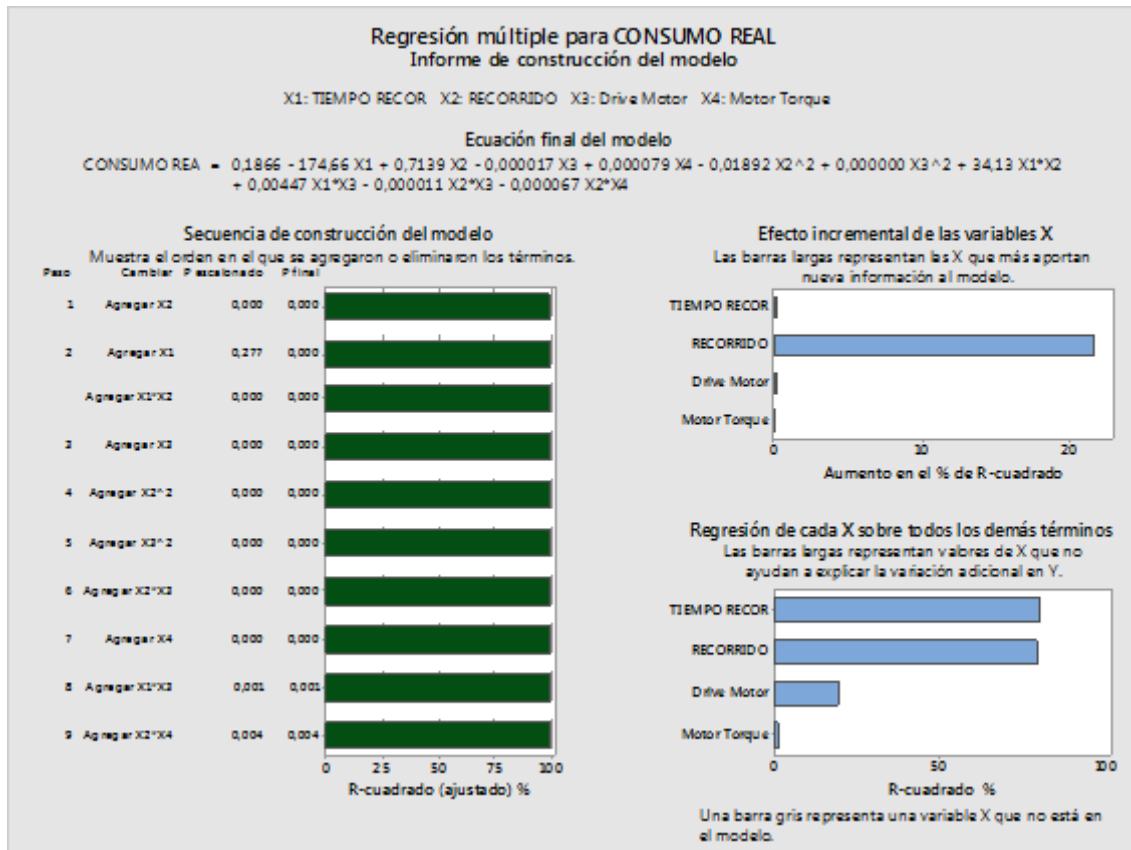


Figura 87: Regresión múltiple para el consumo. Informe de ecuación. Fuente: Autores.

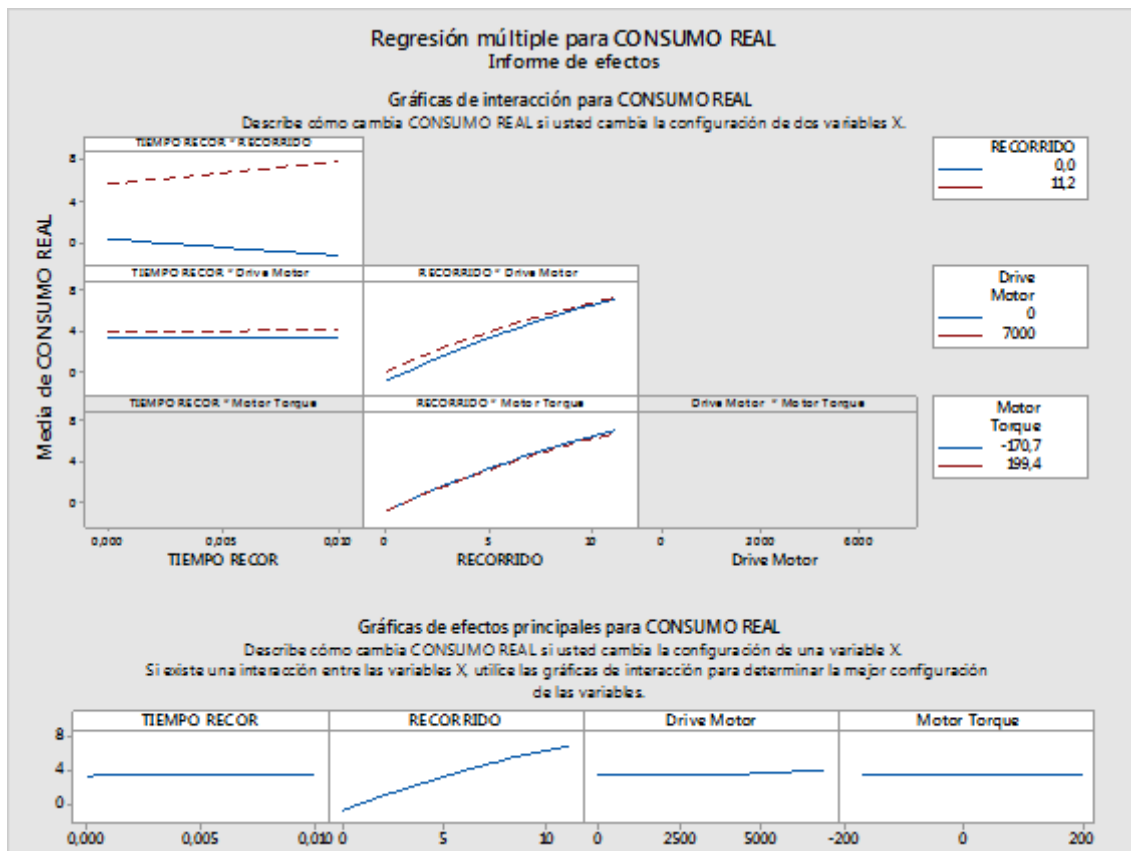


Figura 88: Informe de efectos cruzados y efectos principales. Fuente: Autores.

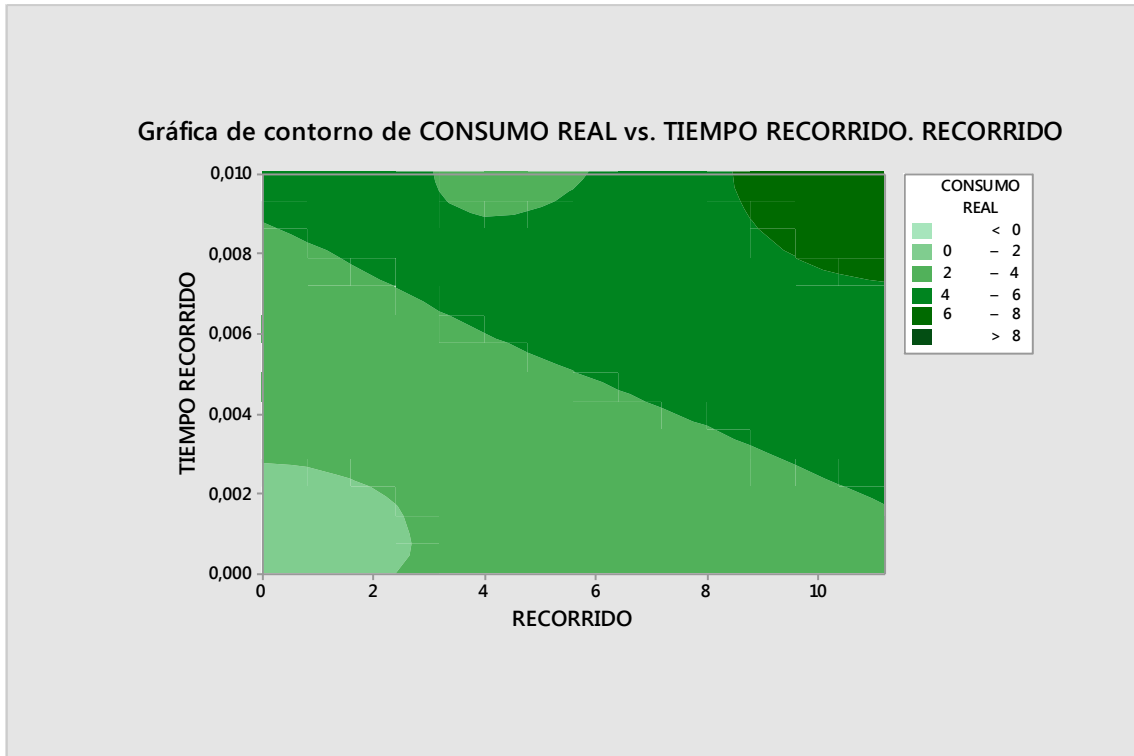


Figura 89: Gráfica de contorno del consumo vs tiempo recorrido y recorrido. **Fuente:** Autores.

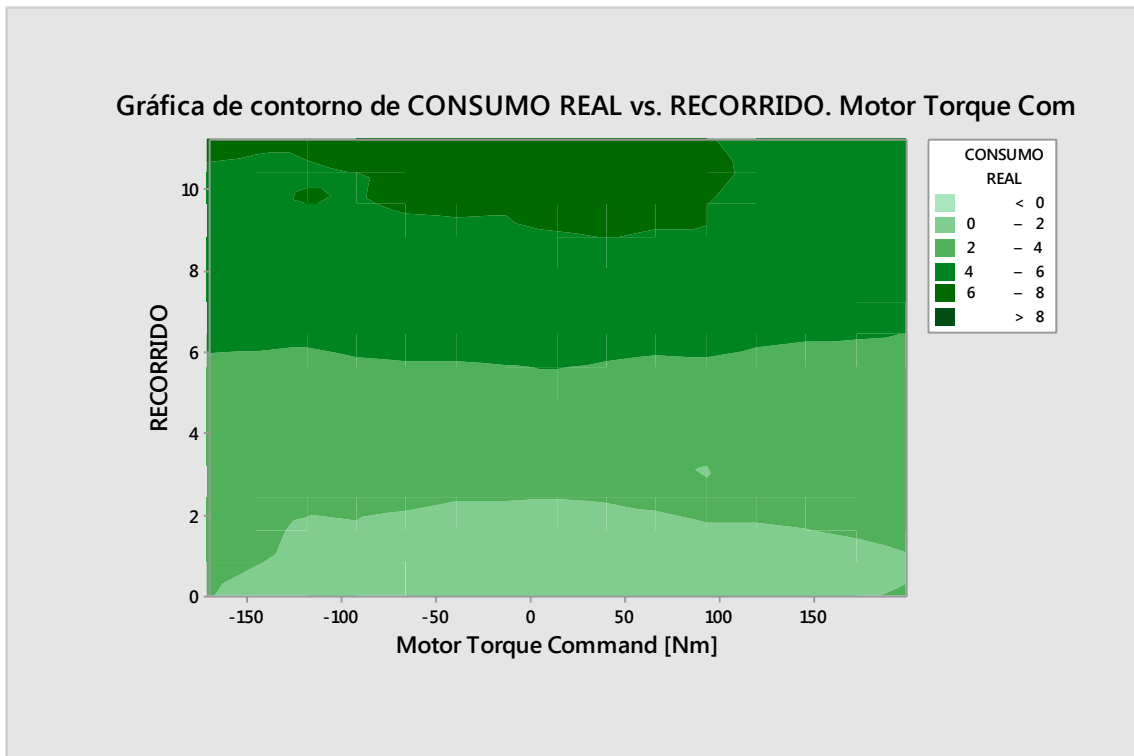


Figura 90: Gráfica de contorno del consumo vs recorrido y torque. **Fuente:** Autores.