

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

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

**PROYECTO TÉCNICO**

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE CONFORT  
DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA AUTONOMÍA”**

**AUTOR:**

**DIEGO RAMIRO GUAZHAMBO ALBARRACÍN**

**TUTOR:**

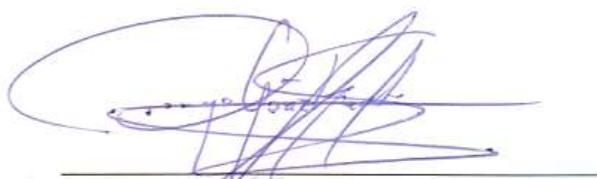
**ING. MILTON OSWALDO GARCÍA TOBAR M.SC**

Cuenca – Ecuador  
2018

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Diego Ramiro Guazhambo Albarracín, con documento de identificación N° 0105549869, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del Trabajo de Titulación: “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE CONFORT DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA AUTONOMÍA”, 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.



Diego Ramiro Guazhambo Albarracín

0105549869

## **CERTIFICACIÓN**

Yo declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación: “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE CONFORT DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA AUTONOMÍA”, realizado por el estudiante: Diego Ramiro Guazhambo Albarracín, obteniendo el Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Mayo del 2018

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'M' followed by a horizontal line and a vertical stroke on the right.

Ing. Milton Oswaldo García Tobar, M. Sc.

0104282181

## **DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Diego Ramiro Guazhambo Albarracín, con documento de identificación N°0105549869, autor del Trabajo de Titulación: “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE CONFORT DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA AUTONOMÍA” certifico que el total contenido del Proyecto Técnico, es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, Mayo del 2018



Diego Ramiro Guazhambo Albarracín

0105549869

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios por la vida, por cada prueba y obstáculo que me ha  
dado para ser una persona de bien.*

*A mis ideales que me han permitido mantenerme aún de pie  
y en lucha por obtener lo mejor, y ser un ejemplo.*

*Al Ing. Milton García, por guiarme y encaminarme en este  
proyecto*

*Al Ing. Adrián Sigüencia por su apoyo, en el desarrollo de  
esta investigación*

*Diego*

## **DEDICATORIA**

*Con todo el amor y afecto esto es para mis padres Ramiro y Nelly, por su sacrificio, apoyo y constante lucha de ser los mejores cada día e inculcarme a ser mejor cada día.*

*A mi hermano Santiago, que sin duda alguna ha estado en todas las batallas que hemos tenido y las seguiremos luchando*

*Para mis otros padres, Julio Cesar, Florinda, Clorinda y Adolfo (+), por guiarme, cuidarme he inculcarme lo mejor en mi vida.*

*A toda mi familia que supo enseñarme y corregirme cuando fue necesario.*

*A Pamela por el apoyo moral y sentimental hacia mí.*

*Este sacrificio, es para todos ustedes.*

*Gracias infinitas.*

*Diego*



## RESUMEN

Al hablar acerca de vehículos eléctricos se relaciona directamente con la duración de las baterías en comparación a los vehículos convencionales. Las mejoras tecnológicas que se van generando en un vehículo eléctrico, crean constantes fuentes de investigación ante los desafíos tecnológicos actuales, por lo que despierta el interés de investigadores. Este documento presenta un estudio experimental del análisis de la influencia de los sistemas de confort de un vehículo eléctrico en la autonomía. Se investigó sobre los avances tecnológicos de las baterías del vehículo, se elaboró un diseño de experimentos DOE mediante superficie de respuesta, teniendo como resultado un orden de corridas experimentales bajo ciertas condiciones de las variables en estudio. La ruta donde las pruebas fueron ejecutadas se caracterizó en base a la altimetría y distancia recorrida, con la finalidad de que estos parámetros no presenten cambios significativos evitando así un mayor consumo del estado de carga. Con el software EMOLab se recopiló información del estado de la batería (%SOC) del vehículo eléctrico (VE). Esta información es procesada a través el software de ingeniería Excel y Minitab, de esta forma se obtiene un análisis de regresión que sirve para validar cada una de las muestras obtenidas para un posterior análisis con las interrelaciones que presentan mayor consumo de autonomía.



## SUMMARY

When talking about electric vehicles is directly related to the duration of the batteries compared to conventional vehicles. The technological improvements that are generated in an electric vehicle, create constant sources of research in the face of current technological challenges, for which it arouses the interest of researchers. This document presents an experimental study of the analysis of the influence of the comfort systems of an electric vehicle on autonomy. The technological advances of the vehicle batteries were investigated, a design of DOE experiments was elaborated by response surface, resulting in an experimental order of runs under certain conditions of the variables under study. The route where the tests were performed was characterized based on the altimetry and distance traveled, in order that these parameters do not show significant changes thus avoiding a greater consumption of the state of charge. The EMOLab software collected information on the battery status (% SOC) of the electric vehicle (VE). This information is processed through the Excel and Minitab engineering software, in this way a regression analysis is obtained that serves to validate each of the samples obtained for a later analysis with the interrelationships that present greater consumption of autonomy.



## ÍNDICE.

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR .....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD .....	III
RESUMEN.....	VI
SUMMARY .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
Capítulo I.....	1
Estado del Arte. ....	1
1.1. ESTADO DEL ARTE. ....	1
1.2. MOVILIDAD SOSTENIBLE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA. ....	3
1.3. EL VEHÍCULO ELÉCTRICO. ....	4
1.3.1. Configuración del Vehículo Eléctrico. ....	5
1.4. PARTES PRINCIPALES. ....	6
1.5. SISTEMAS DE UN EV.....	7
1.5.1. Sistema de almacenamiento de energía. ....	8
1.6. FRENO REGENERATIVO. ....	15
1.7. AUTONOMÍA.....	16
Capítulo II.....	19
Definición de Variables .....	19
2.1. SISTEMAS DE CONFORT. ....	19
2.1.1. Sistema de Calefacción.....	19
2.1.1.1. Control de Temperatura Automático.....	20
2.1.2. Elevalunas Eléctrico. ....	21
2.1.3. Sistema de alumbrado. ....	21
2.2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO.....	24
2.2.1. Terminología. ....	25
2.2.2. Variables.....	25
2.2.3. Factores controlables. ....	26
2.2.4. Factores no Controlables o de Ruido.....	26
2.2.5. Factores de Estudio.....	27
2.2.6. Factor de Respuesta.....	27
2.3. ELABORACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE).....	27



2.4. RESULTADO DEL EXPERIMENTO.....	30
Capítulo III .....	32
Caracterización de la ruta .....	32
3.1. PARÁMETROS A CONSIDERAR EN LA SELECCIÓN DE UNA RUTA. 32	
3.1.1. Modos de Conducción.....	32
3.1.2. Inclinación.....	32
3.1.3. Temperatura.....	33
3.1.4. Tipo de Calzada.....	33
3.1.5. Neumáticos.....	33
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA RUTA DE PRUEBAS.....	33
3.2.1. Caracterización de la 1ra Ruta.....	34
3.2.2. Caracterización de la 2da Ruta.....	36
3.2.3. Caracterización de la 3ra Ruta.....	39
3.3. ALTIMETRÍA DE LAS RUTAS DE PRUEBA.....	41
Capítulo IV .....	43
Adquisición de datos.....	43
4.1. Protocolo de Muestreo.....	43
4.2. Herramientas usadas para la adquisición de datos.....	45
4.2.1. Software EMOLab.....	45
4.2.2. Vehículo Eléctrico.....	48
4.3. ADQUISICION DE DATOS.....	49
Capítulo V .....	52
Análisis de Resultados.....	52
5.1. ANÁLISIS DE LA REGRESIÓN.....	52
5.2. ANÁLISIS DE RESIDUOS.....	53
5.3. ANÁLISIS DE EFECTOS PRINCIPALES.....	55
5.4. ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN DE VARIABLES.....	56
5.4.1. Recorrido VS Eleva Vidrio.....	57
5.4.2. Recorrido VS Sistemas de Alumbrado.....	59
5.4.3. Recorrido VS Sistema de Calefacción.....	60
5.5. ANÁLISIS CON LOS PERIFÉRICOS ACTIVADOS.....	62
Conclusiones y Recomendaciones .....	65
Recomendaciones.....	68
ANEXO A: Análisis de la Regresión .....	69
Bibliografía.....	72



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1 Diferencia entre un vehículo eléctrico y un vehículo de gasolina. ....	4
Figura. 2. Kia Soul EV Review. ....	5
Figura. 3. Diagrama conceptual de un tren de tracción Moderno. ....	5
Figura. 4. Elementos principales del VE. ....	6
Figura. 5. Diagrama de Bloques de un auto eléctrico puro. ....	7
Figura. 6. Batería Plomo Ácido. ....	8
Figura. 7. Componentes de una pila de Níquel – Cadmio. ....	9
Figura. 8. Batería níquel hidruro metálico para la tracción de un vehículo eléctrico grande. ....	10
Figura. 9. Esquema de una Batería de Ion-Litio. ....	11
Figura. 10. Recreación grafica del mecanismo de las baterías metal-aire. ....	12
Figura. 11. Batería sodio beta. ....	13
Figura. 12. Súper Condensador. ....	13
Figura. 13. Flujo de energía en condiciones de aceleración y frenado. ....	15
Figura. 14. Grafica de Ragone de algunos dispositivos electroquímico de almacenamiento de energía utilizada en la aplicación de la propulsión. ....	17
Figura. 15. Consumo de corriente en la batería por el uso del Sistema de Calefacción (Automático). ....	21
Figura. 16. Consumo de Corriente en la Batería por el Uso de las Luces Guía. ....	22
Figura. 17. Consumo de Corriente en la Batería por el Uso de las Luces Medias. ....	23
Figura. 18. Consumo de Corriente en la Batería por el Uso de las Luces Altas. ....	24
Figura. 19. Esquema de un proceso de un DOE. ....	26
Figura. 20. Configuración inicial del DOE de superficie de respuesta. ....	28
Figura. 21. Definición de valor alfa y numero de réplicas. ....	29
Figura. 22. Definición de los factores contenidos y categóricos. ....	29
Figura. 23. Resultado del Diseño Experimental Central Compuesto. ....	30
Figura. 24. Extracto de la orden de muestreo. ....	31
Figura. 25. GPSMAP para obtener valores de altimetría. ....	34
Figura. 26. Recorrido total de la Ruta de Pruebas. ....	34
Figura. 27. Perfil de Elevación de 5km. ....	35
Figura. 28. Perfil de Elevación de 15km. ....	37



Figura. 29. Perfil de Elevación de 25km. ....	39
Figura. 30. Perfil de elevación de las diferentes rutas de prueba. ....	42
Figura. 31. Registro de Conducción y Conductor. ....	43
Figura. 32. Protocolo de Muestreo. ....	44
Figura. 33. Interfaz Principal del Software EMOLab. ....	46
Figura. 34. Vehículo Eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana.....	48
Figura. 35. Extracto de los datos procesados de una muestra. ....	50
Figura. 36. Ajuste de la regresión, ingreso de la variable dependiente y las independientes. ....	52
Figura. 37. Grafica de Residuos para la Autonomía Consumida en km. ....	55
Figura. 38. Grafica de efectos principales. ....	56
Figura. 39. Grafica de interacción de variables. ....	56
Figura. 40. Interrelación del Recorrido VS Eleva Vidrios. ....	57
Figura. 41. Interrelación Recorrido VS Sistema de Alumbrado. ....	59
Figura. 42. Interrelación Recorrido VS Sistema de Calefacción.....	61
Figura. 43. Autonomía con los Periféricos Activados.....	63



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen característico de las especificaciones técnicas de las baterías. ....	14
Tabla 3. Tabla de evaluación de los tipos de baterías. ....	17
Tabla 4. Factores Controlables. ....	26
Tabla 5. Factores No Controlables. ....	27
Tabla 6. Factores de Estudio. ....	27
Tabla 7. Factores continuos y estados. ....	29
Tabla 8. Factores categóricos y estados. ....	30
Tabla 9. Designación de los valores numéricos y de texto de las celdas del orden de muestreo. ....	31
Tabla 10. Caracterización de la Ruta 1. ....	35
Tabla 11. Caracterización de 15km. ....	37
Tabla 12. Caracterización de 25km. ....	40
Tabla 13. Estado de las Variables de Muestreo. ....	44
Tabla 14. Uso de elementos adicionales. ....	45
Tabla 15. Variables para definición de autonomía. ....	46
Tabla 16. Variables del Software EMOLab. ....	47
Tabla 17. Especificaciones Técnicas del VE. ....	48
Tabla 18. Tabla de análisis de varianza. ....	53
Tabla 19. Consumo del SOC en la interrelación del Recorrido vs Eleva Vidrios. ....	58
Tabla 20. Consumo del SOC en la interrelación del Recorrido vs Sistema de Alumbrado. ....	60
Tabla 21. Consumo del SOC en la interrelación del Recorrido vs Sistema de Calefacción. ....	61
Tabla 22. Consumo del SOC por kilómetro, con el uso de los sistemas de confort activados. ....	64



## Capítulo I

---

# Estado del Arte.

---

En el presente capítulo, se realiza una revisión bibliográfica del estado del arte, en relación a la autonomía del vehículo eléctrico (VE); también se definen las partes principales así como los componentes del EV.

### 1.1. ESTADO DEL ARTE.

El vehículo eléctrico no es una novedad dentro de la dilatada vida del automóvil. Hubo un periodo en la historia en el que el motor eléctrico, el motor de combustión y el motor de vapor estaban a un nivel de prestaciones semejantes, compitiendo cada cual por ser el ganador de la carrera para la propulsión.

En Francia en 1881 se ensambló un vehículo eléctrico por Gustave Trouvé, era un triciclo. En 1882 se ensamblaron dos triciclos uno en Inglaterra fabricado por William Edward Ayrton y Jhon Perry, y otro en Estados Unidos, fabricado por Andrew L. Riker. En 1890 se construyó el primer vehículo eléctrico de cuatro ruedas que circulaba por las calles de Chicago en EE.UU.[1] El vehículo no era más que una carroza adaptada con motores eléctricos, con un peso de 1931kg, 3CV, una velocidad aproximada de 22km/h y baterías de plomo, su constructor fue William Morrison, quien fundó la primera empresa que comercializó vehículos eléctricos llamada “Morris & Salomon”. [2]

Los primeros turismos eléctricos triunfaban por su simplicidad, fiabilidad, su autonomía era razonable, eran veloces, no hacían ruido, costos soportables. Hasta mediados de los sesenta los vehículos eléctricos casi desaparecieron aunque algunos sobrevivieron en el sector industrial. En los años sesenta y setenta, más por ecología que por otra cosa, empiezan a aparecer algunos modelos en el sector industrial, el carrito de gol eléctrico y pequeños coches urbanos.



A finales del siglo XIX, los primeros vehículos motorizados usaban motores eléctricos. En 1877, un alemán llamado Nikolaus August Otto invento el motor de combustión de cuatro tiempos mientras que en 1859, Gastón Planté diseñaba las primeras baterías de plomo ácido en Bélgica, pero no fue hasta 1881 cuando el francés Charles Jeantaud construyó el Tílburi, el que probablemente sea el primer vehículo eléctrico alimentado con baterías, que lamentablemente tras recorrer sus primeros cien metros terminó consumido por las llamas.[3]

A inicios del siglo XX los automóviles producidos en EE.UU. empezaron a tener un éxito comercial, pese a su limitada velocidad de 32Km/h, estaban reservados para la sociedad americana de alto estatus económico. En 1930 la industria del automóvil eléctrico desapareció por completo, debido a la introducción del motor de arranque para los vehículos de motor de combustión, debido a que las prestaciones ante un vehículo eléctrico eran mayores, Henry Ford invento la producción en masa mecanizada e implementación en sus vehículos. Adicional al inicio del siglo XX, el petróleo empezó a ser un producto más asequible, por lo que el motor de combustión empezó a tener mayor auge comercial.

Este cambio de planteamientos en los fabricantes no respondía exclusivamente a una decisión de carácter tecnológico, sino también una cuestión de actitud, según cuenta el historiador del mundo del automóvil Mathieu Flonneau:

En 1990, cuando General Motors presenta el “Impact”; este fue el precursor del automóvil eléctrico más famoso de la historia, hasta que en 1996 fabricaron el vehículo eléctrico de altas prestaciones denominado “EV1”, su principal impulsor fue la ley “Zero Emission Vehicle Mandatory” implantada en el estado de California, en la década de los noventa.[4]

Diversos intereses acabaron con el vehículo eléctrico, durante un tiempo. La industria petrolera presiono mucho para crear un clima desfavorable para estos coches, así como los intereses a favor de la pila de combustible, una tecnología en pañales. Hoy en día, la mejora en la tecnología de las baterías está consiguiendo que los vehículos eléctricos sea una alternativa muy potente, la cual está haciendo que el vehículo convencional empiece su decadencia. En el 2006, Tesla Motors dio a conocer el Tesla Roadster. En el 2010 la marca Nissan lanzo al mercado el 100% eléctrico “Nissan LEAF”, que puede circular unos 160Km/h por recarga.



## 1.2. MOVILIDAD SOSTENIBLE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.

Según (C Ipiña, et al 2016) en su trabajo *Eficiencia Energética y Transporte en América Latina* menciona que “En la actualidad la movilidad de personas y bienes representan el 20% del total de la energía primaria consumida a nivel mundial, y es responsable por una cuarta parte de emisiones de CO2 relacionadas con el consumo de energía.”

La eficiencia energética es clave para garantizar un sistema energético seguro, confiable, asequible y sostenible para el futuro. Los avances tecnológicos son fundamentales para mejorar la eficiencia energética de la movilidad, que ha ido ganando espacios cada vez más amplios enfocados en el uso de energías renovables y limpias que generen menor contaminación ambiental siendo esta el único recurso que todos los países poseen en abundancia.

Según La International Energy Agency (AIE) “*lleva a cabo una amplia gama de investigación y análisis del transporte, centrándose en las formas en que los países pueden mejorar la sostenibilidad de sus sistemas de transporte, buscando la eficacia de la implementación de tecnologías avanzadas, la mejora de la eficiencia del combustible y el cambio a combustibles y modos de transporte con menos emisiones de carbono.*”[5]

La electrificación del transporte permitirá disminuir el uso de fuentes de energía no renovables. Esta fuente de energía renovable ayuda a no tener dependencia del petróleo, ya que económicamente el petróleo será una fuente accesible con grandes cantidades de dinero debido a que se agota rápidamente. En la figura 1 se observa las principales diferencias que tienen los vehículos eléctricos y a gasolina.

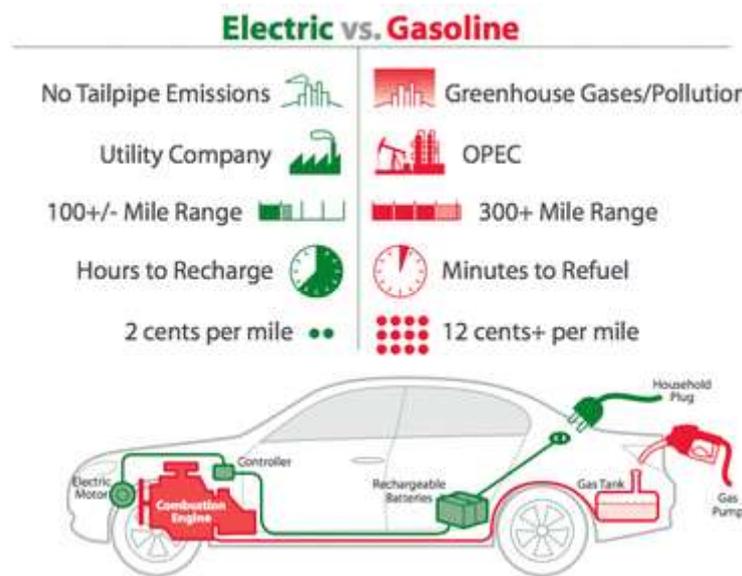


Figura. 1 Diferencia entre un vehículo eléctrico y un vehículo de gasolina.

Fuente: <http://trabajodeautomovil3d.blogspot.com/2018/01/gasolina-vs-electricos.html> [6]

### 1.3. EL VEHÍCULO ELÉCTRICO.

Según la Sociedad de Técnicos de Automoción en su libro *El vehículo eléctrico desafíos tecnológicos, infraestructura y oportunidades de negocio* dice que “Un vehículo eléctrico atendiendo a su definición, es todo aquel capaz de avanzar utilizando únicamente un motor eléctrico.”(Sociedad de Técnicos de Automoción STA. 2011)

Por otra parte, Un vehículo eléctrico es aquel que no utiliza combustibles fósiles sino una batería de ion litio, la cual es la encargada de suministrar voltaje a uno o más motores eléctricos para su impulsión. [1]

Los vehículos que están propulsados por uno o varios motores eléctricos. Una batería de alto voltaje es la encargada de suministrar la corriente necesaria a los motores. Las baterías se cargan mediante la red eléctrica. Los EV también pueden recargarse mediante freno regenerativo. La principal y novedosa característica de estos vehículos es la de una conducción suave, silenciosa, cero emisión de gases de contaminantes; son una alternativa viable para cubrir las necesidades de movilidad de la población.



Figura. 2. Kia Soul EV Review.

Fuente: Wheels.ca: <https://www.wheels.ca/car-reviews/kia-soul-ev-2015-review/>. 2014[7]

### 1.3.1. Configuración del Vehículo Eléctrico.

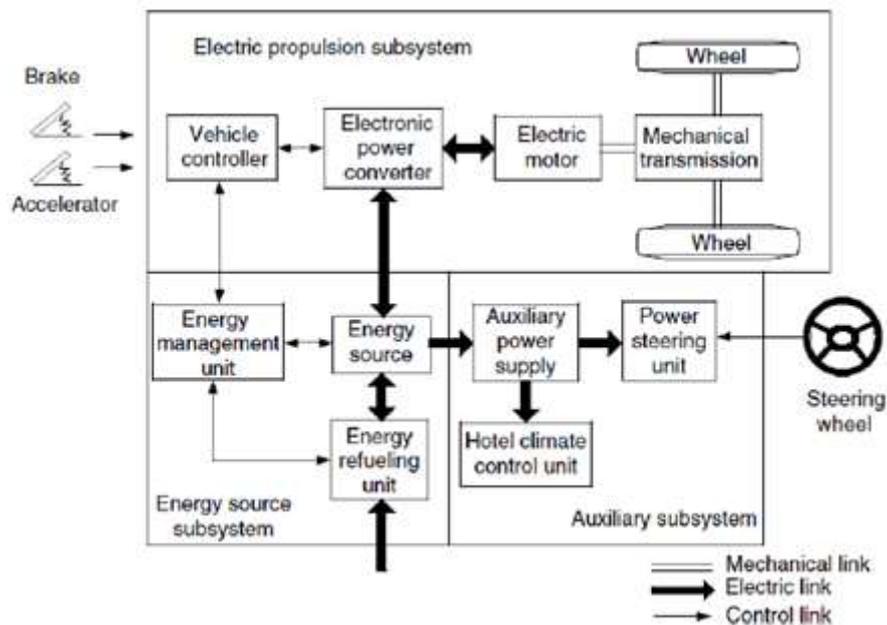


Figura. 3. Diagrama conceptual de un tren de tracción Moderno.

Fuente: *Electric Vehicles change forward*, C. Chang and Y.S. Wong. 2005

En la figura 3 se observar la composición actual que poseen los vehículos eléctricos.

Poseen tres sistemas principales:

- Subsistema de propulsión eléctrica.
  - Controlador del vehículo.
  - Convertidor electrónico de potencia.
  - Motor eléctrico.
  - Transmisión.
- Subsistema de almacenamiento de energía.



- Fuente de energía.
- Unidad de gestión de la energía.
- Unidad de carga.
- Subsistema de auxiliares.
  - Unidad de dirección.
  - Unidad de climatización.
  - Unidad de suministro de auxiliares.

#### 1.4. PARTES PRINCIPALES.

En la figura 4, se muestran las partes principales que posee un vehículo eléctrico, mismas que la diferencian totalmente de los vehículos de combustión y compresión. Cada una de estas partes realiza una función específica, mismas que en conjunto caracterizan al vehículo eléctrico.[8]

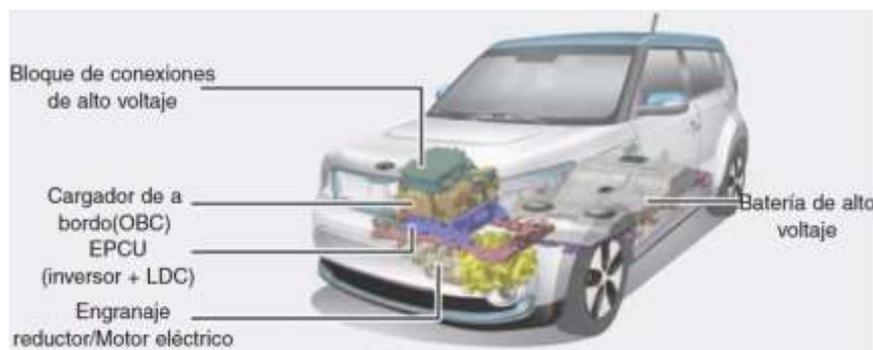


Figura. 4. Elementos principales del VE.

Fuente: Manual Kia Soul EV.[8]

##### ***Bloque de conexiones de alto voltaje.***

Es el que suministra electricidad desde la batería de alto voltaje hacia los siguientes elementos:

- Inversor.
- Convertidor de voltaje.
- Compresor de aire acondicionado.
- Sistema calefactor.

##### ***Cargador de bordo OBC.***

Dispositivo externo de velocidad lenta para cargar la batería de alto voltaje.

##### ***Inversor.***



Convierte la corriente continua en corriente alterna para suministrar electricidad al motor, y convierte la corriente alterna en corriente continua para cargar la batería de alto voltaje.

***LDC.***

Convierte la tensión de la batería de alto voltaje a bajo voltaje para que la batería de 12V pueda suministrar electricidad al vehículo (DC-DC).

***Motor eléctrico.***

Utiliza la energía eléctrica almacenada en el interior de la batería de alto voltaje para accionar el vehículo.

***Engranaje reductor:***

Suministra la fuerza de rotación del motor a las ruedas a la velocidad y el par adecuados. Para esta adaptación hay que tener en consideración la influencia de factores como son la potencia mecánica a transmitir, potencia térmica, rendimientos mecánicos.

***Batería de alto voltaje Polímero de Iones de Litio.***

Almacena la electricidad necesaria para la operación del vehículo eléctrico. Una batería auxiliar de 12V suministra electricidad al equipamiento del vehículo.

## 1.5. SISTEMAS DE UN EV.

En la figura 5, se observa los sistemas que posee un VE, para este estudio se revisará el sistema de almacenamiento de energía (Pack o Banco de Baterías) que con el pasar del tiempo han evolucionado para prometer una mayor autonomía al vehículo.

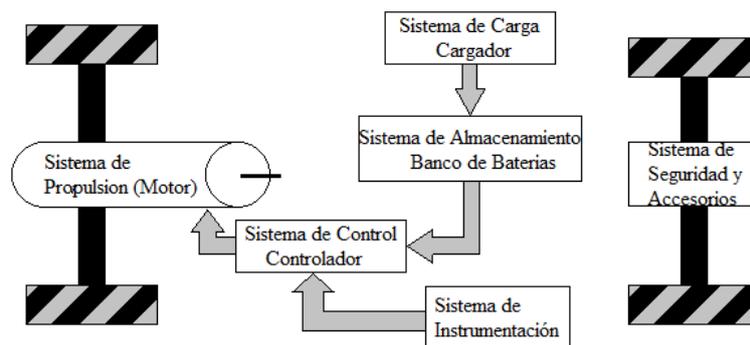


Figura. 5. Diagrama de Bloques de un auto eléctrico puro.

Fuente: Juan Alfonso Martínez, Vehículo Eléctrico. 2013[9]



### 1.5.1. Sistema de almacenamiento de energía.

Por definición este sistema, es el encargado de almacenar la energía a proporcionarse para el sistema de propulsión, una de las formas más utilizadas son las baterías químicas.[9]

Según Andy M (et al 2016) en su trabajo *Diseño del Sistema de Freno Regenerativo de Automóviles Híbridos* dice “Las baterías eléctricas son dispositivos que tienen la capacidad de almacenar electricidad en forma de energía química para posteriormente mediante procesos electroquímicos producir energía eléctrica”[10]

Pues bien, al hablar de baterías o acumuladores de energía son lo que dichos procesos sean reversibles e invirtiendo el flujo de corriente pueden recargarse. Una batería presenta características técnicas de funcionamiento como, velocidad de carga y descarga, número de ciclos de carga, costo, reciclable, energía específica, densidad energética, potencia específica y capacidad de trabajo.

Según Sarlioglu (et al 2015) en su trabajo *Benchmarking of Electric and Hybrid Vehicle Electric Machines, Power Electronics, and Batteries* afirma que “La batería es el componente más caro y pieza fundamental que determina la mayoría de las funciones del vehículo.”[11]

#### **Plomo-Ácido.**

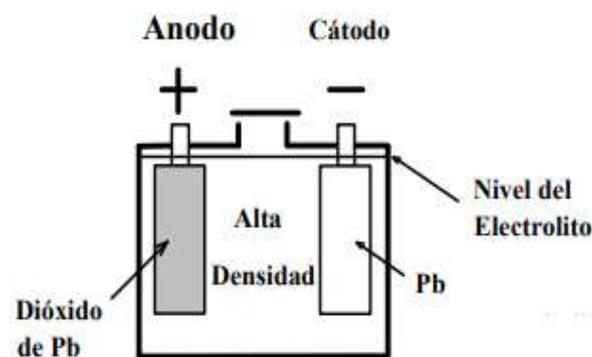


Figura. 6. Batería Plomo Ácido.

Fuente: Olajedatos: [http://www.olajedatos.com/documentos/baterias\\_plomo.pdf](http://www.olajedatos.com/documentos/baterias_plomo.pdf). [12]

- **Características.**

La figura 6 muestra una batería que contiene plomo en el electrodo positivo y óxido de plomo en el electrodo negativo y utilizan ácido sulfúrico como electrolito. Poseen una diferencia de potencial de 2V por celda, conectando celdas en serie se fabrican baterías de 6V y 12 V. Su uso más común es para MCI.[2] [9] [13]



- **Ventajas.**

- ❖ Tecnología totalmente establecida.
- ❖ Alta eficiencia, por encima del 80%
- ❖ Facilidad de reciclado.

- **Desventajas.**

- ❖ Corta vida cíclica (500 o 600 ciclos de carga-descarga).
- ❖ No aceptan carga rápida.
- ❖ Se ven afectadas seriamente por la corrosión de sus electrodos.
- ❖ Necesidad de mantenimiento.

### *Níquel-Cadmio (Ni-Cd).*

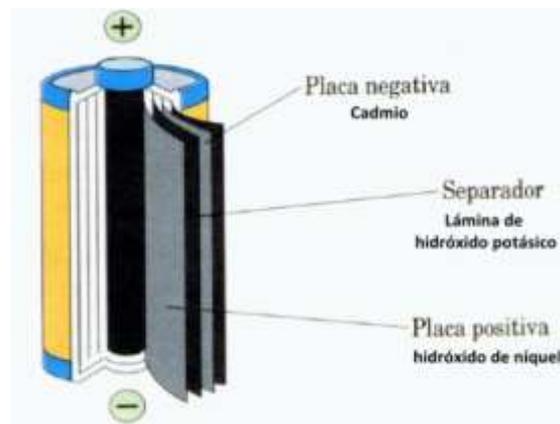


Figura. 7. Componentes de una pila de Níquel – Cadmio.

Fuente: SlideShare: <https://es.slideshare.net/guest7d112b/pilas-ni-cad>. 2009[14]

- **Características.**

La figura 7 es una batería de níquel cadmio que es altamente probada, posee una larga vida, ya que estas baterías pueden completar entre 1.00 y 1.500 ciclos de carga. Comúnmente sus celdas están compuestas por un cátodo de hidróxido de níquel, un ánodo de cadmio y una disolución de hidróxido de potasio como electrolito. [2] [9] [13]

- **Ventajas.**

- ❖ Tecnología muy establecida.
- ❖ Buen comportamiento en un amplio margen de temperaturas (-40 ° C + 60 ° C).
- ❖ Admiten sobrecargas.
- ❖ Gran robustez ante abusos eléctricos y mecánicos.
- ❖ Gran fiabilidad.

- **Desventajas.**

- ❖ Precio elevado, en comparación con las baterías de plomo-acido.



- ❖ Altamente contaminantes, por el uso del cadmio como componente.
- ❖ La tensión nominal es de 1,2 V/celda.
- ❖ Efecto memoria muy alto.
- ❖ Baja densidad energética.

#### ***Níquel-Hidruro Metálico (Ni-HM).***



Figura. 8. Batería níquel hidruro metálico para la tracción de un vehículo eléctrico grande.

Fuente: *Guía del vehículo eléctrico II: Introducción a las baterías recargables para vehículos eléctricos. 2015*[15]

- **Características.**

La figura 8 muestra un pack de baterías níquel hidruro metálico, estas baterías sustituyeron el contaminante de las baterías de cadmio por una aleación metálica capaz de formar hidruros. Sus componentes en las celdas son, habitualmente un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo de hidruro metálico. [2] [9] [13]

- **Ventajas.**

- ❖ Una mayor densidad energética y mayor energía específica.
- ❖ Menos contaminante.
- ❖ Pueden ser cargadas con un cargador convencional.
- ❖ Seguras.
- ❖ Su peso razonable en el pack de baterías.

- **Desventajas.**

- ❖ Menor fiabilidad que las baterías Ni-Cd,
- ❖ No soportan fuertes descargas.
- ❖ Voltaje bajo de 1,2V por celda.
- ❖ Vida media de aproximadamente 300-500 ciclos de carga.
- ❖ Tiempos de carga superiores al Ni-Cd.

#### ***Ión-Litio (Li-Ion).***

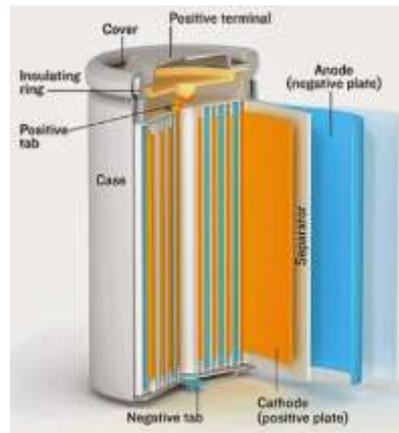


Figura. 9. Esquema de una Batería de Ion-Litio.

Fuente. Fuente: Guía del vehículo eléctrico II: Introducción a las baterías recargables para vehículos eléctricos. 2015[15]

- **Características.**

La figura 9 indica un esquema de una batería de Ion-Litio, actualmente la tecnología más usada en la electrónica portátil, existen diferentes arquitecturas de las celdas, siendo las más comunes las cilíndricas u laminares, su ánodo acostumbra ser de grafito y el cátodo de óxido de cobalto, el electrolito es una mezcla de disolventes orgánicos en los que se encuentra disuelta una sal de litio. [2] [9] [13]

- **Ventajas.**

- ❖ Poseen un gestor de carga electrónico.
- ❖ Batería con la mayor densidad energética y energía específica del mercado.
- ❖ Alta tensión por celda 3.6-3.7v
- ❖ No posee efecto memoria.
- ❖ No está fabricada con productos tóxicos.

- **Desventajas.**

- ❖ Sensibilidad a temperaturas extremas.
- ❖ Tecnología no controlada, poseen un riesgo de explosión.
- ❖ Capacidad mínima de descarga.



### ***Metal-Aire.***

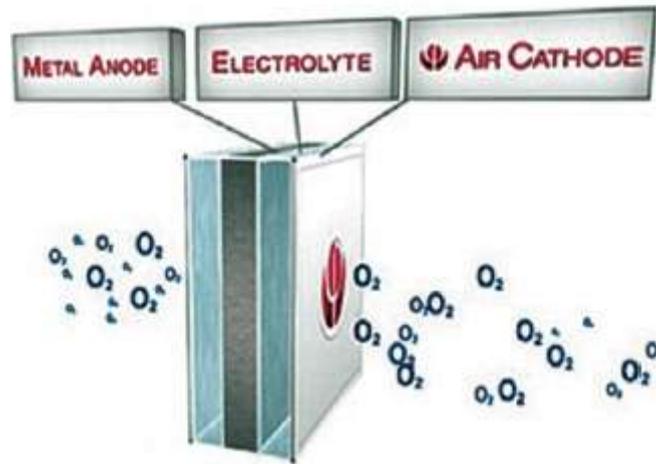


Figura. 10. Recreación gráfica del mecanismo de las baterías metal-aire.

Fuente: Guía del vehículo eléctrico II: Introducción a las baterías recargables para vehículos eléctricos. 2015[15]

- **Características.**

La figura 10 es una interpretación gráfica de la recreación del mecanismo de las baterías metal-aire, siendo esta una de las tecnologías sobre las que se está investigando de forma intensa son las baterías de la familia Metal-aire. Básicamente el par electroquímico que forma un ánodo metálico altamente reactivo y un cátodo de aire, además del electrolito. [2] [9] [13]

- **Ventajas.**

- ❖ Alta energía específica.
- ❖ Gran densidad energética.
- ❖ Poseen un sistema abierto, contacto directo con el aire.

- **Desventajas.**

- ❖ Elevado tiempo de recarga eléctrica.
- ❖ Hasta el momento poseen una sola carga.

***Zebra (Zeolite Battery Research Africa Project).***



Figura. 11. Batería sodio beta.

Fuente: Guía del vehículo eléctrico II: Introducción a las baterías recargables para vehículos eléctricos. 2015[15]

- **Características.**

La figura 11 es una batería Sodio-Beta, estas baterías contienen sodio metálico en el electrodo negativo y cloruro de níquel en el positivo y utilizan cloroaluminato de sodio fundido y una membrana de beta-alúmina cerámica como electrolito. [2] [9] [13]

- **Ventajas.**

- ❖ Alta fiabilidad.
- ❖ Son factibles en el uso de vehículos eléctricos.
- ❖ Altamente seguras.
- ❖ 100% reciclables.

- **Desventajas.**

- ❖ Perdidas térmicas por no usarlas.
- ❖ Requieren asilamiento.
- ❖ Funcionamiento en rangos de temperaturas muy elevadas (270°C a 350°C).

***Súper Condensadores.***



Figura. 12. Súper Condensador.

Fuente: Lifasa: <http://www.lifasa.es/>. 2018[16]

- **Características.**



La figura 12 muestra un grupo de súper condensadores que son una nueva generación de almacenadores eléctricos que están extensamente utilizados en el uso de dispositivos que utilizan baterías recargables. Estos tipos de dispositivos se están investigando para el uso conjunto en las baterías para los vehículos eléctricos. Los súper condensadores podrán lograr sistemas flexibles y robustos, además de prolongar el período de vida de las baterías al estabilizar los bruscos cambios de requerimientos energéticos pedidos por el sistema motriz. [2] [9] [13]

- **Ventajas.**

- ❖ Larga vida útil.
- ❖ Mayor número de ciclo de carga.
- ❖ Carga y Descarga con la misma potencia.
- ❖ Alta potencia.
- ❖ 100% reciclables.
- ❖ Sin riesgo de sobre carga.
- ❖ Sin mantenimiento.

- **Desventajas.**

- ❖ Baja capacidad.

En la Tabla 1 se resumen las características técnicas de las baterías estudiadas en donde se puede apreciar los valores de energía específica, potencia específica, números de ciclos de las baterías y eficiencia energética, mismas que están expresadas en sus respectivas unidades de medición. Adicionalmente se podrá observar en la tabla 1 la autonomía que presentan las diferentes baterías ante el vehículo eléctrico.

Tabla 1. Resumen característico de las especificaciones técnicas de las baterías.

Fuente: Autor

Tipo de Batería	Energía Específica [Wh/Kg]	Potencia Especifica [Wh/Kg]	Numero de Ciclos	Eficiencia Energética [%]
Plomo-Ácido	40	180	500-800	82.5
Níquel-Cadmio	40-60	150	2000	72.5
Níquel-Hidruro Metálico	70	250-1000	500-2000	70
Iones-Litio	60-120	250-1000	500-2000	90



<b>Metal-Aire</b>	470	100	1000	90
<b>Zebra</b>	125	500	1000	92.5

### 1.6. FRENO REGENERATIVO.

Según, Lebel (et al 2017) en su artículo Benefits of Regenerative Braking for an Electric Superbike using Energetic Macroscopic Representation dice “El frenado regenerativo aumenta el alcance al recuperarse energía cinética a la batería”. [17]

Durante el frenado regenerativo, el motor ya sea de corriente continua o corriente alterna deja de consumir energía y empieza a generarla, este proceso puede ser bidireccional debido a que se puede invertir el flujo de potencia y cargar las baterías con la potencia mecánica disponible en el eje del motor para mejorar los rendimientos. [18]

En un freno regenerativo se emplea un generador eléctrico, es decir un motor eléctrico funcionando a la inversa, absorbiendo la energía cinética del vehículo y transformándola en eléctrica. Esta energía se usa para recargar las baterías. En la figura 13 se observa el flujo de energía en condiciones de aceleración y frenado esquemático de un motor eléctrico. [10]

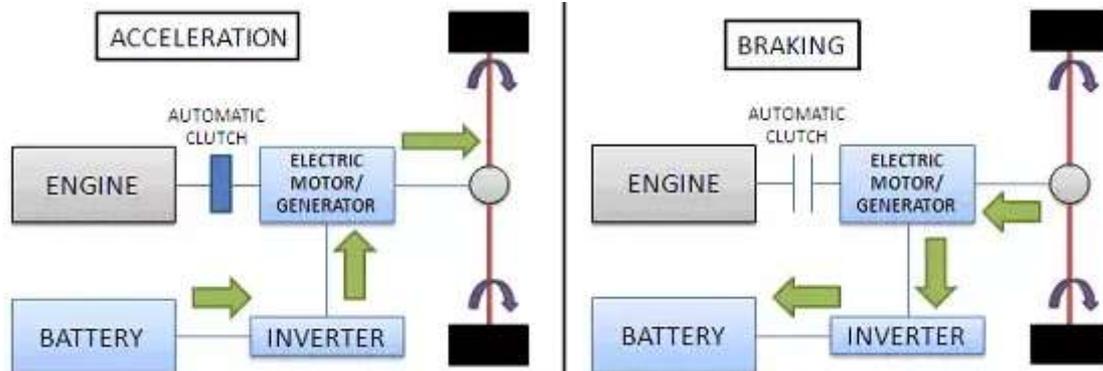


Figura. 13. Flujo de energía en condiciones de aceleración y frenado.

Fuente: Quaro: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-conventional-braking-and-regenerative-braking-in-automobiles>. 2016 [19]



## 1.7. AUTONOMÍA.

Por autonomía se entiende a la distancia que puede recorrer un vehículo sin necesidad de recargar sus baterías hasta cumplir un recorrido específico. La autonomía depende directamente de la capacidad de las baterías que han estado en constante evolución buscando la mejor manera de optimizar la energía que suministra el pack de baterías.

Martínez Cerros Juan Martin, en su trabajo *Control de un sistema de tracción de un vehículo Eléctrico* menciona que “El vehículo eléctrico depende de la capacidad de las baterías” (Martínez Juan, 2014)

La figura 14 muestra la gráfica utilizada por Ragone que se utiliza para comparar la capacidad de diferentes medios de almacenamiento de energía (energía específica vs potencia específica) en donde se muestra de forma resumida el estado actual y las perspectivas futuras de las baterías en la aplicación de propulsión.[20]

Se puede observar que existe una ventaja amplia de la energía específica de una batería Li-Ion con respecto a las baterías de NiMH y plomo-ácido en donde ambas energías específicas y la potencia son notables, por otra parte la potencia de los súper condensadores es muy alta con una energía específica deficiente. Un esfuerzo de desarrollo será combinar la energía específica superior que ofrece la batería con la potencia específica superior ofrecido por el súper condensador. El súper condensador ofrece una energía excelente para un rápido actuación si la batería sufre una fluctuación muy rápida.[20]

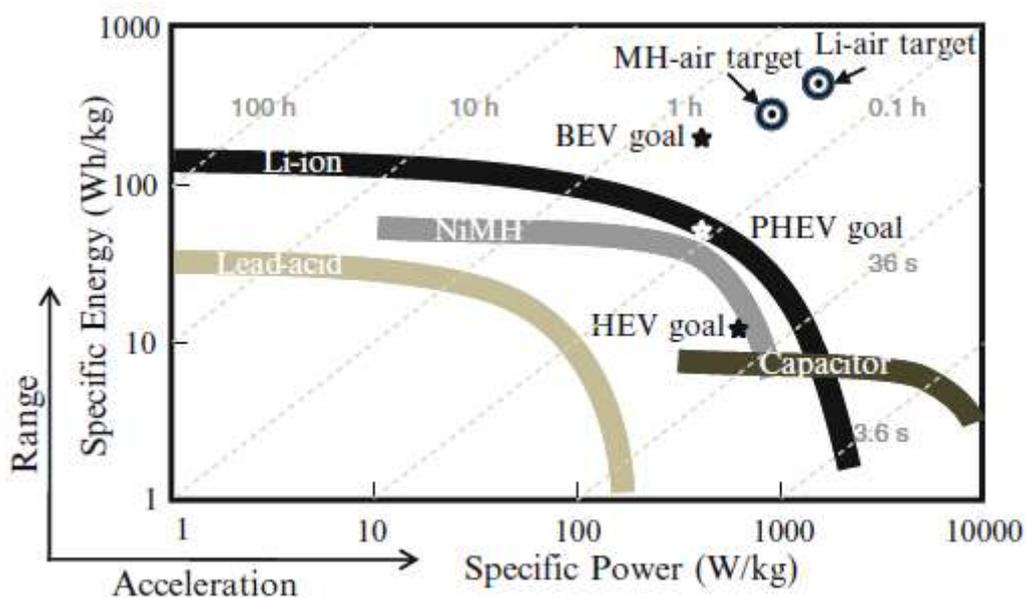




Figura. 14. Grafica de Ragone de algunos dispositivos electroquímico de almacenamiento de energía utilizada en la aplicación de la propulsión.

Fuente: *Electric Vehicle Battery Technologies. 2013*[20]

En la actualidad los vehículos eléctricos están jugando un papel muy importante en la industria automotriz debido a que su autonomía depende de una batería que cumpla los requerimientos más significativos para el vehículo.

Según (C Iclodean, et al 2017) en su trabajo *Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles* realizaron la evaluación de la autonomía del vehiculo eléctrico y cuatro tipos de baterías (Ion Litio, Sal Fundida, Hidruro Metálico de Niquel y Sulfuro de Litio), mediante un ciclo de conducción, en tiempo real, digitalizado por simulación por computadora. En la Tabla 2 se observa los resultados del estudio mencionando anteriormente, en donde se tiene el consumo eléctrico a partir del dato del fabricante, una test real de conducción y la simulación de conducción, de igual forma para la autonomía del vehículo eléctrico. Se aprecia que la batería que mayor consumo eléctrico presenta es la de Sulfuro de Litio con 17.2 kWh/100km con una autonomía de 140km, la batería de Níquel Hidruro Metálico tiene un consumo de 15.8 kWh/100km pero con la una autonomía de 153km, la batería de Ion Litio posee un consumo de 14.7 kWh/100km y con una autonomía de 165km, las batería de Sal Fluida es la que presenta datos de un consumo menor de 12.6 kWh/100km y con una autonomía muy alta de 192km.[21]

Tabla 2. Tabla de evaluación de los tipos de baterías.

Fuente: (C Iclodean et al 2017) *Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles. 2017*[21]

Nombre	Evaluación de los Tipos de Baterías				Unidad
	Li-Ion	Na-NiCl <sub>2</sub>	Ni-HM	Li-S	
Consumo Eléctrico (dato fabricante)	12.7	-	-	-	kWh/100Km
Consumo Eléctrico (test de conducción)	18.2	-	-	-	kWh/100Km
Consumo Eléctrico (simulación)	14.7	12.6	15.8	17.2	kWh/100Km
Autonomía del VE (dato fabricante)	190	-	-	-	Km
Autonomía del VE (test de conducción)	130-190	-	-	-	Km
Autonomía del VE (simulación)	165	192	153	140	Km
Total Energía de Salida	6826	5927	7006	7979	kJ



---

Total Energía de Entrada	184	222	184	159	kj
--------------------------	-----	-----	-----	-----	----

---

---

Con el avance tecnológico que se genera actualmente se han creado muchos tipos de batería, las que se usan en VE con la finalidad de optimizar el costo total y aumentar potencialmente su rango de autonomía. Los principales baterías que han sido implementadas en vehículos eléctricos he híbridos, son las de Níquel-Hidruro Metálico (NiMH) o Ion de Litio (Li-Ion).[11]

Con la finalidad de seguir experimentando y mejorar de manera considerable una alternativa para aumentar la autonomía del vehículo eléctrico, (A.G. Sarigiannidis, et al 2014) en su trabajo *Solar energy exploitation enhancing driving autonomy of electric vehicles* propone “Un sistema completo para controlar eficientemente un sistema fotovoltaico incorporado en un sistema eléctrico techo del vehículo”.



## Capítulo II

---

# Definición de Variables

---

En el presente capítulo se define de forma cualitativa y cuantitativa las variables que mayor influencia tienen sobre la autonomía del VE respecto a los sistemas de confort, de iluminación y de calefacción. La metodología se centra en un diseño de experimentos el cual determina el número de muestras, así como el orden de ejecución de las mismas durante las pruebas dinámicas.

### 2.1. SISTEMAS DE CONFORT.

Se puede definir que el confort en un vehículo son las sensaciones que recibe el usuario, es decir que existe una interrelación entre los dos. Pues bien los fabricantes buscan minimizar en lo posible las diferencias de los sistemas de confort entre un motor de combustión interna y un motor eléctrico. Un excesivo confort aísla demasiado al conductor de su entorno, lo que puede provocar una falta de recepción de informaciones importantes, lo que provoca una relajación y falta de atención del conductor.

En un estudio realizado por (Younes , et al 2013) relata en su artículo *Analysis of the main factors influencing the energy consumption of electric vehicles* que “Cuando se usan accesorios del vehículo como el acondicionador de aire o el sistema de descongelación, una cantidad de energía que no contribuye a la propulsión del vehículo se consumirá permanentemente”[22]

A continuación se detallan los principales sistemas que brindan comodidad al usuario y que posee el vehículo eléctrico utilizado en el estudio.

#### 2.1.1. Sistema de Calefacción.

Según (Desreveaux et al 2017) en su trabajo *Comparison of different models for Electric Vehicle with Heating System* considera “El estudio el impacto del sistema de



calefacción de la cabina en el campo de conducción de un EV. Mediante un modelo multidominio es desarrollado y validado por resultados experimentales en el vehículo”

Los automóviles deben asegurar y cubrir las condiciones dentro del habitáculo, por lo que los fabricantes han ideado sistemas de calefacción, en donde se aprovecha las elevadas temperaturas del circuito de la culata y el bloque para su refrigeración en el radiador, y como elemento de transporte de esta energía calorífica utiliza el mismo aire del exterior tomado durante la marcha del vehículo.

#### 2.1.1.1. Control de Temperatura Automático.

Controla la temperatura del habitáculo en base a diferentes sensores que emiten información, en donde la temperatura para el habitáculo varía si lo hace la temperatura y/o la humedad exterior. La información que recibe viene de:

- Temperatura seleccionada en el panel de mandos.
- Sensor de temperatura del aire exterior en la entrada del habitáculo.
- Sensor de temperatura interior del habitáculo.
- Detección de incidencia de los rayos del sol.
- Sensor de humedad.

En la figura 15 se observa el consumo que se genera en el Sistema de Calefacción (Control Automático) con el vehículo eléctrico estacionado, prendido y activado el controlador autónomo de temperatura, indica que a los 251 segundos se ha consumido un 0.5% del Estado de Carga (SOC) debido a que la batería a consumido corriente en forma oscilatoria desde 1.9 Amperios hasta 2.3 Amperios, desde los 252 segundos hasta los 383 segundos la variación del consumo de corriente sigue siendo de 1.9 Amperios hasta 2.3 Amperios manteniéndose constante, el %SOC, pero a los 385 segundos el consumo de corriente en la batería se incrementa notablemente con unos picos que consumen desde 2.1 Amperios hasta los 3.1 Amperios en este intervalo se da un mayor consumo de corriente por lo que se detecta una variación en la temperatura del habitáculo y se generara un mayor consumo en la batería.

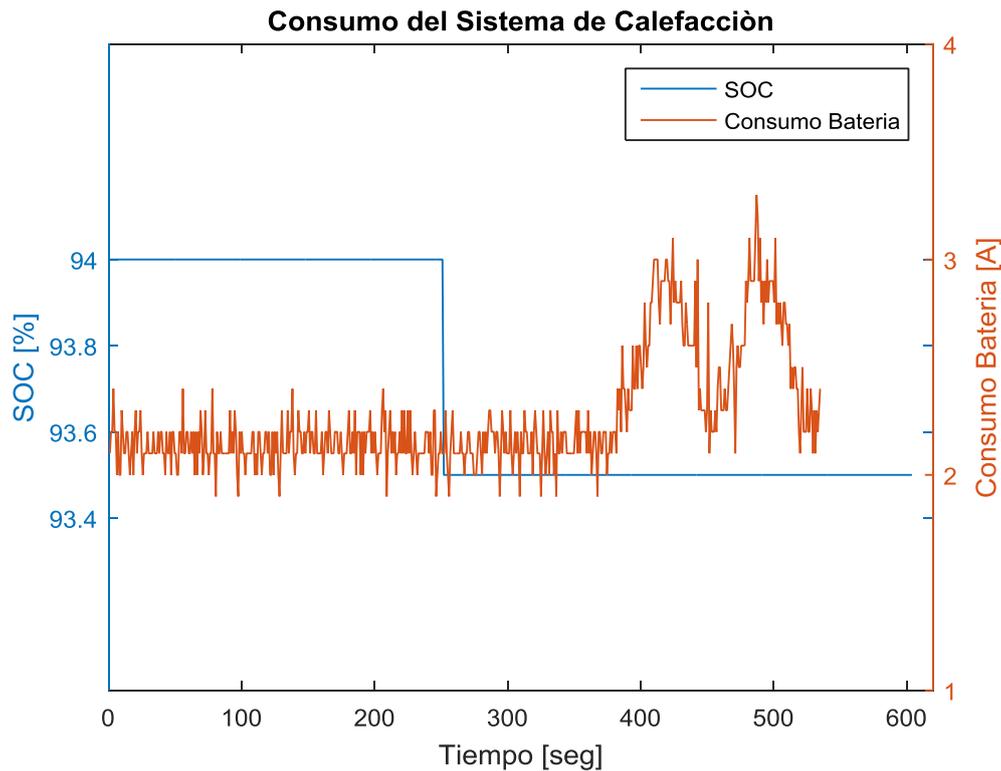


Figura. 15. Consumo de corriente en la batería por el uso del Sistema de Calefacción (Automático).

Fuente: Autor.

### 2.1.2. Elevalunas Eléctrico.

Este sistema de accionamiento eléctrico involucra el uso de un pulsante que permita subir y bajar las lunas del vehículo de forma simple hasta donde se desee, con la finalidad de aumentar la comodidad en la conducción y evitar distracciones del conductor.[23]

- Vidrios cerrados.
- Vidrios media altura.
- Vidrios abiertos.

### 2.1.3. Sistema de alumbrado.

Hay que entender la absoluta necesidad de luz en el vehículo, debido a las condiciones a las que se enfrenta, sido estas las que hacen posible que un desplazamiento seguro para los transeúntes y ocupantes del vehículo. Las luces que conforman parte en el automóvil se pueden clasificar según la situación y misión concreta que cumplen:

- Luces de Alumbrado.
- Luces de Maniobra.



- Luces Especiales.
- Luces Interior.

### **Consumo de las Luces Guías**

En la figura 16 se muestra el consumo que se genera con el Sistema de Alumbrado con el vehículo eléctrico estacionado, prendido y las luces guías prendidas, obteniéndose un consumo de corriente que oscila en entre 1.9 Amperios y 2.5 Amperios en un tiempo de 600seg y en donde se ha consumido un 0.5% de autonomía.

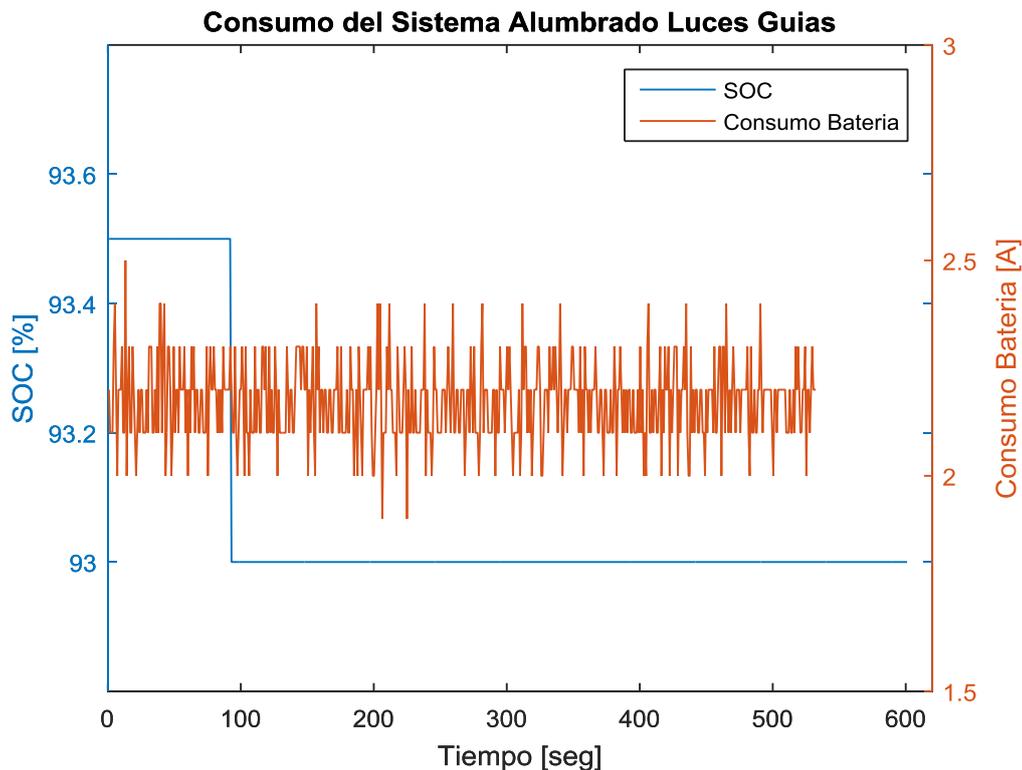


Figura. 16. Consumo de Corriente en la Batería por el Uso de las Luces Guía.

Fuente: Autor.

### **Luces Medias**

El consumo que genera el sistema de luces medias se observa en la figura 17, con el vehículo eléctrico estacionado, prendido y activado las luces medias el consumo de corriente oscila en entre 2.1 Amperios y 2.8 Amperios en un tiempo de 600segundos y en donde se ha consumido un 0.5% de autonomía. Debido a que la intensidad de las luces tiene aumentar para garantizar una visibilidad adecuada al conductor se va a generar un mayor consumo de corriente en la batería.

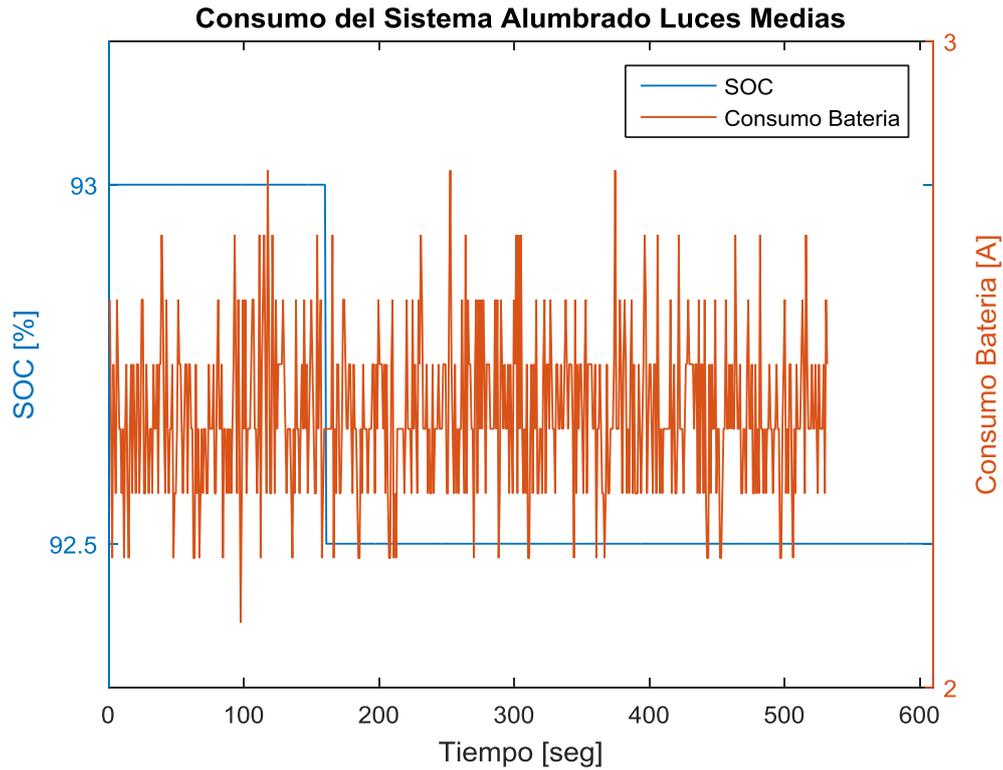


Figura. 17. Consumo de Corriente en la Batería por el Uso de las Luces Medias.

Fuente: Autor.

### **Luces Altas**

El consumo que genera el sistema de Luces Altas se observa en la figura 18, con el vehículo eléctrico estacionado, prendido y activado este periférico el consumo de corriente oscila en entre 2.4 Amperios y 3.2 Amperios en un tiempo de 600 segundos y en donde se ha consumido un 0.5% de autonomía. Estas luces se utilizan en donde exista falta de iluminación y se requiera obtener mayor visibilidad para satisfacer las necesidades del conductor, la intensidad de las luces será mayor a las luces guías y medias por lo que se va a generar un mayor consumo de corriente en la batería.

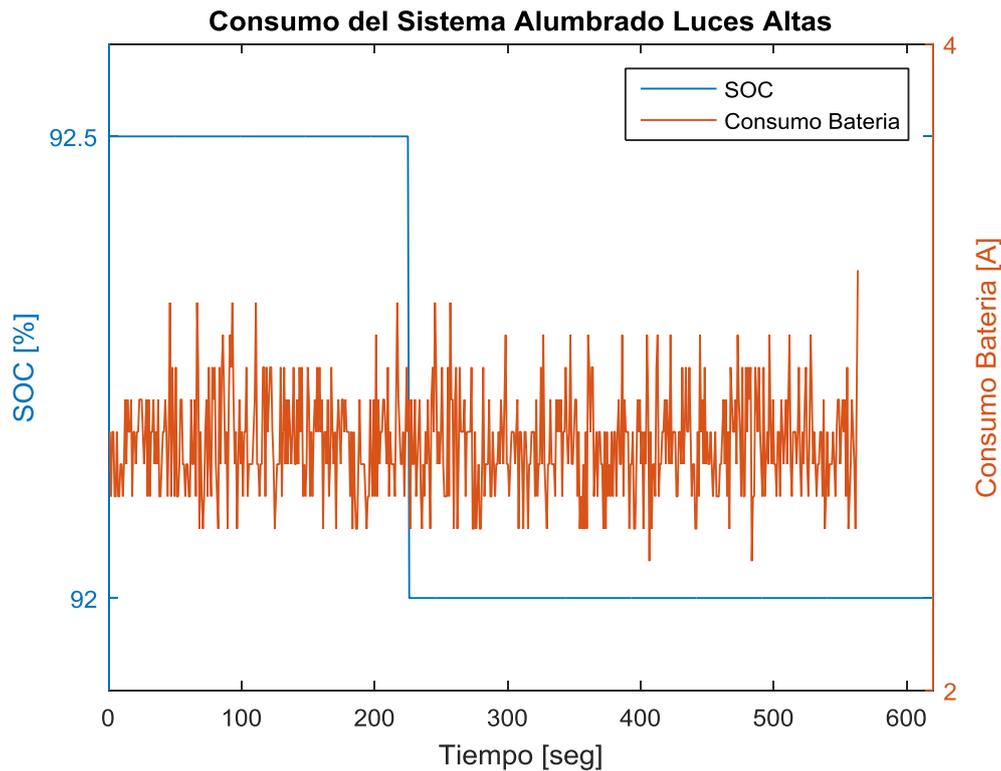


Figura. 18. Consumo de Corriente en la Bateria por el Uso de las Luces Altas.

Fuente: Autor.

## 2.2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO.

Se define como una prueba o serie de pruebas en donde se implantan cambios deliberados en las variables de entrada, estas variables son las que forman el proceso, de aquí se podrá observar e identificar cuáles serán las causas de los cambios en nuestra variable de salida.[24]

Un diseño de experimentos es un método de análisis estadístico, en donde se ejecutan un conjunto de pruebas, que se utilizan para generar datos que permitan responder las interrogantes planteadas, con la finalidad de obtener una mejor orientación de un proceso logrando así determinar un problema u obtener mejoras.

Según (M.H Baddi, et al 2007) en su trabajo “*Experimental designs and scientific research*”, dice “*El objetivo fundamental de los diseños experimentales radica en el determinar si existe una diferencia significativa entre los diferentes tratamiento del experimento y en caso que la respuesta es afirmativa, cuál sería la magnitud de esta diferencia*”[25]



### 2.2.1. Terminología.

El diseño de experimentos ha sido creado por matemáticos y estadísticos, por lo que es necesario conocer sus términos para una mejor comprensión.

- **Factor.** Variables dependientes, que son estudiadas en el experimento.
  - Cualitativa.
  - Cuantitativa.
- **Interacción.** Cuando uno o más factores trabajan juntos para producir un efecto diferente a los efectos producidos por aquellos factores de manera individual.
- **Corrida Experimental.** Implementación de cada una de las combinaciones.
- **Bloque.** Agrupación planeada de factores o combinaciones.
- **Aleatorización.** Consiste en hacer corridas experimentales al azar, con este principio se aumenta la posibilidad de que el supuesto de incidencia de error se cumpla.[26]
- **Repetición.** Realizar más de una vez un tratamiento o combinación de factores.
- **Bloqueo.** Es nulificar o tomar en cuenta en forma adecuada todos los factores que pueden afectar la respuesta observada.[26]

### 2.2.2. Variables.

Se pueden clasificar en dos tipos de variables:

#### **Variable Cualitativa.**

Este tipo de variables se las conoce también como variable categórica, en donde mide una cualidad o característica en cada unidad experimental.

#### **Variable Cuantitativa.**

Miden una cantidad numérica en cada unidad experimental, dentro de esta variable tenemos:

- **Variable Discreta.**

Toma solo un número finito o contable de valores.

- **Variable Continua.**

Puede tomar infinitamente muchos valores correspondientes a un punto en un intervalo de recta.

#### **Variable de respuesta.**

Por medio de esta(s) variable(s) se puede obtener resultados de los efectos que producen en cada corrida experimental las variables de entrada.

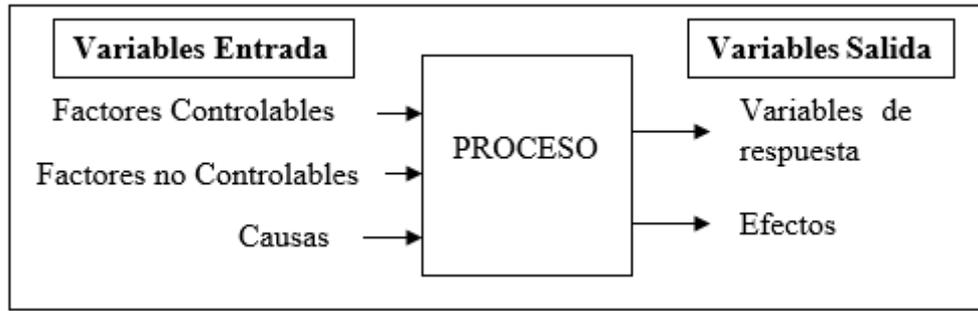


Figura. 19. Esquema de un proceso de un DOE.

Fuente: Autor.

En la figura 19 se observa una representación esquemática de un proceso de Diseño de Experimentos (DOE), en donde intervienen las causas, factores de controlables y no controlables que intervienen en el proceso a realizar, viendo así los efectos que producen en la variable de respuesta.

### 2.2.3. Factores controlables.

Se caracteriza por ser variables de proceso o características de los materiales y métodos experimentales que se pueden fijar a un nivel dado y se distinguen porque pueden ser controladas y fijadas en un punto. Para nuestro caso, los factores controlables se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Factores Controlables.

Fuente: Autor.

<b>Factor</b>	<b>Unidad</b>
Pedal de aceleración	%
Rpm	Rpm
Velocidad del vehículo.	Km/h
Tiempo de recorrido	S

### 2.2.4. Factores no Controlables o de Ruido

Estos se caracterizan por que no se las puede controlar durante el proceso experimental y afectan a las variables de respuesta, mediante un protocolo de medición correcto se trata de reducir su influencia al máximo, en la tabla 4 se detallan los factores no controlables a considerar.



Tabla 4. Factores No Controlables.

Fuente: Autor.

<b>Factor</b>	<b>Unidad</b>
Pendientes max y min	%
Temperatura ambiente	T°
Modos de conducción	-
Humedad relativa	%

### 2.2.5. Factores de Estudio

Son las variables que se investiga en el experimento para observar cómo afectan o influyen, en la tabla 5 se muestra la variable de estudio es la autonomía del vehículo eléctrico.

Tabla 5. Factores de Estudio.

Fuente: Autor.

<b>Factor</b>	<b>Unidad</b>
Tiempo	s
Recorrido	%
Estado de Carga	%

### 2.2.6. Factor de Respuesta.

Es el parámetro de respuesta ante la interrelación de las variables, la variable de estudio será la Autonomía del vehículo eléctrico.

## 2.3. ELABORACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE).

El software estadístico que permitirá restringir el diseño experimental para la determinación de la autonomía del vehículo eléctrico es “Minitab 17”. Por lo tanto, se plantea un DOE (desing of experiment) mediante superficie de respuesta, usando un elemento específico del sistema de confort, sistema de calefacción y un sistema de alumbrado.



Para realizar el diseño de experimentos se necesita como mínimo dos factores continuos mientras que los demás factores pueden ser categóricos con un máximo de 10; por lo que para este caso se va a generar un diseño central compuesto, es decir que los valores van a ser intermedios. Una vez definidos los puntos extremos de los factores continuos, utilizando dos factores continuos y dos factores categóricos, que más adelante se irán definiendo. En la figura 20 se observa la interfaz de creación del diseño, con las características que se requieren y que se mencionaron al inicio de este párrafo.

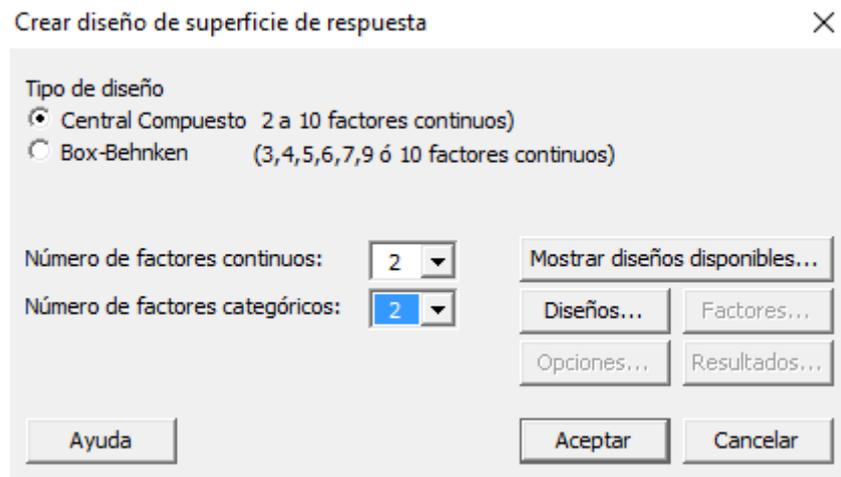


Figura. 20. Configuración inicial del DOE de superficie de respuesta.

Fuente: Autor.

La figura 21 muestra que en el diseño de experimentos se usará un análisis  $3^K$  o tres valores, debido a que hay una similitud con movimientos o aproximaciones parabólicas en donde se obtendrán valores más conservadores. De igual manera se utilizara 3 réplicas del experimento con la finalidad de disminuir el margen de error entre las muestras.



Diseños	Corridas	Bloques	Puntos centrales			Predeterminado Alfa
			Total	Cubo	Axial	
Completo	13	1	5	0	0	1,414
Completo	14	2	6	3	3	1,414

Número de puntos centrales  
 Predeterminado  
 Personalizado  
Bloque de cubo:  Bloque axial:

Valor de Alfa  
 Predeterminado  
 Diseño 3<sup>k</sup>  
 Personalizado:

Número de réplicas:   
 Bloque en réplicas

Ayuda      Aceptar      Cancelar

Figura. 21. Definición de valor alfa y numero de réplicas.

Fuente: Autor.

Una vez definido el valor de alfa y el número de réplicas se deberá configurar los factores, en donde se especifican los nombres de los factores continuos y categóricos. De igual forma sus estados de trabajo en el diseño, como se muestra en la figura 22.

Factores continuos  
Definición de niveles  
 Puntos de cubo  
 Punto axiales

Factor	Nombre	Bajo	Alto
A	A	-1	1
B	B	-1	1

Factores categóricos

Factor	Nombre	Niveles	Valores de nivel		
C	C	2	1	2	
D	D	2	1	2	

Ayuda      Aceptar      Cancelar

Figura. 22. Definición de los factores contenidos y categóricos.

Fuente: Autor.

- Numero de factores continuos.

En la tabla 6 se describen los factores continuos a utilizar y las condiciones de estado.

Tabla 6. Factores continuos y estados.

Fuente: Autor.



Nombre Factor	Estado Mínimo	Estado Máximo
Recorrido	5 Km	25 Km
Eleva Vidrios	0%	100%

- Numero de factores categóricos.

La tabla 7 muestra los factores categóricos y sus respectivos estados.

Tabla 7. Factores categóricos y estados.

Fuente: Autor.

Nombre Factor	Estado	Estado	Estado	Estado
Sistema Calefacción	On	Off	-	-
Sistema Alumbrado	Guías	Bajas	Altas	Off

## 2.4. RESULTADO DEL EXPERIMENTO.

El diseño experimental mediante superficie de respuesta central compuesto, con cuatro variables (2 continuas y 2 categóricas) y con tres réplicas; da como resultado un total de treientos doce corridas (104 corridas base) como se indica en la figura 23, es decir que se requieren ese número de muestras para dar validez al diseño, bajo ciertos parámetros.

### Diseño central compuesto

```
Factores:          4      Réplicas:          3
Corridas base:   104     Total de corridas: 312
Bloques base:    1       Total de bloques:  1
```

Factorial de dos niveles: Factorial completo

```
Puntos del cubo:          96
Puntos centrales en el cubo: 120
Puntos axiales:          96
Puntos centrales en axial:  0
```

$\alpha$ : 1

Figura. 23. Resultado del Diseño Experimental Central Compuesto.

Fuente: Autor.

La figura 24 muestra un extracto del orden de muestreo que indica cómo se va a obtener los resultados muestras, con los estados respectivos en los factores continuos o categóricos.



↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7-T	C8-T
	OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	Recorrido	Eleva Vidrios	Sistema Alumbrado	Sistema Calefaccion
1	148	1	-1	1	5	50	Altas	on
2	66	2	1	1	5	0	Guías	off
3	199	3	1	1	25	100	Altas	off
4	205	4	0	1	15	50	Altas	off
5	220	5	0	1	15	50	off	on
6	307	6	-1	1	15	100	Altas	off
7	13	7	0	1	15	50	off	on
8	121	8	1	1	25	100	Guías	on
9	55	9	1	1	5	100	off	off
10	176	10	-1	1	15	0	Guías	off
11	40	11	1	1	5	0	Altas	on
12	96	12	-1	1	5	50	Altas	off
13	274	13	1	1	5	0	Guías	off
14	196	14	1	1	5	0	Altas	off
15	191	15	0	1	15	50	Medias	off
16	84	16	-1	1	25	50	Medias	off
17	293	17	-1	1	15	0	Medias	off
18	223	18	1	1	25	0	Guías	on

Figura. 24. Extracto de la orden de muestreo.

Fuente: Autor.

La tabla 8 indica y define los valores numéricos y de texto que se encuentran en las celdas del orden de muestreo que tiene la figura 24.

Tabla 8. Designación de los valores numéricos y de texto de las celdas del orden de muestreo.

Fuente: Autores.

Celda	Nombre	Definición
C1	Orden Estadístico	Indica cómo se van generando las permutaciones
C2	Orden Corrida	Aleatorización de los datos, para la validación del experimento
C3	TipoPt o Puntos Centrales	Son los puntos que se asignan en las variables continuas, que están en función de la designación dada
C4	Bloques	Indica los ensayos en los bloques que se han asignado
C5-C6	Factores Continuos	Recorrido - Eleva Vidrios
C7T-C8T	Factores Categóricos	Sistema de Calefacción Sistema de Alumbrado



## Capítulo III

---

# Caracterización de la ruta

---

En el presente capítulo se analizan las variables que afectaran la autonomía con respecto al comportamiento del vehículo. Posteriormente se caracteriza la ruta de conducción, en donde se realizarán las pruebas experimentales para la obtención de resultados con respecto al consumo de energía que el vehículo va a generar en base a las condiciones de muestreo.

### 3.1. PARÁMETROS A CONSIDERAR EN LA SELECCIÓN DE UNA RUTA.

Para este estudio se ha tomado en consideración parámetros que afecten en el consumo de la autonomía del vehículo eléctrico.

#### 3.1.1. Modos de Conducción.

Hacen referencia al comportamiento del conductor frente a un volante debido a que si se tiene una conducción eficiente, previsor y calmada será con la finalidad de reducir el consumo de corriente y regenerar de mejor forma la batería del vehículo. A continuación se observa los tipos de conducción.[22]

- Conducción Pasiva.
- Conducción Moderada.
- Conducción Agresiva.

#### 3.1.2. Inclinación.

El porcentaje de inclinación que tenga una carretera influye en la autonomía de un VE, debido a requerirá mayor eficiencia del motor para culminar la inclinación. Una parte de la eficiencia consumida por el motor eléctrico se puede recuperar debido al frenado regenerativo.[27]



### 3.1.3. Temperatura.

La temperatura es importante para el adecuado funcionamiento del vehículo eléctrico, según “J. Restrepo, J. Rosero, S. Tellez en su trabajo *Performance Testing of Electric Vehicles on operating conditions in Bogotá DC, Colombia*, menciona que la temperatura funcionamiento optima varia de 15°C a 25°C (J. Restrepo 2014)”.

### 3.1.4. Tipo de Calzada.

El tipo de calzada dependerá mucho de la carretera por donde se transite, debido a que el constante uso del freno puede alterar las muestras, una mala calzada puede degradar la vida útil de los elementos mecánicos del vehículo. Hay que considerar que debido al tipo de calzada se determina la velocidad a la que se puede viajar.[22] Por lo tanto puede haber:

- Calzada de Pavimento.
- Calzada de Asfalto.
- Calzada de Tierra.

### 3.1.5. Neumáticos.

El buen estado de los neumáticos ayuda a mantener un óptimo desarrollo del desplazamiento del vehículo, en un motor de combustión interna el mal estado o falta de presión en los neumáticos deriva en mayor consumo de combustible, por lo tanto en un vehículo eléctrico se afectará al consumo energético de la batería es decir menor autonomía.

## 3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA RUTA DE PRUEBAS.

Para la selección de una ruta adecuada se debe considerar que la variación de altura no debe ser significativa debido a que el análisis de autonomía para este estudio no involucra un porcentaje de inclinación que afecte este parámetro.

Para poder caracterizar la altimetría de la ruta se utilizara un equipo GPS (Sistema de Posicionamiento Global) que es un sistema de navegación basado en satélites compuesto al menos de 24 satélites[28], para que los datos sean más conservadores. En la figura 25 se muestra el dispositivo GPS que posee la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, servirá para explorar el relieve del terreno en donde se realizaran las pruebas.



Figura. 25. GPSMAP para obtener valores de altimetría.

Fuente: GARMIN: <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/140020>. 2018. [29]

Tomando en consideración la altimetría de la área a realizar las pruebas, se caracteriza la ruta para la adquisición de datos la autopista Cuenca – Azogues una distancia de 25km que está definido desde la altura del hospital del rio hasta el final de la autopista en la ciudad de Azogues. La figura 26 indica la ruta total que se analizara y caracterizara para la adquisición de datos de autonomía.

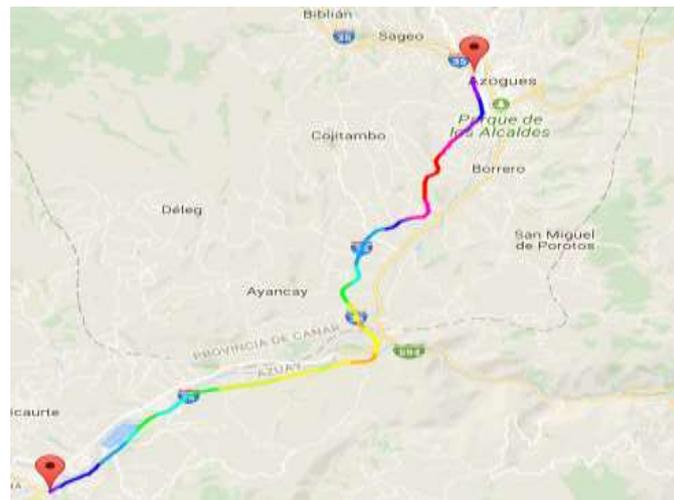


Figura. 26. Recorrido total de la Ruta de Pruebas.

Fuente: Maplorer GPX. [http://maplorer.com/gpx-view/gpx\\_view.php](http://maplorer.com/gpx-view/gpx_view.php). 2018

### 3.2.1. Caracterización de la 1ra Ruta.

El primer tramo para la adquisición de datos está definido por una distancia de 5km, esta distancia tiene una variación de altura de 51.1m. En la figura 27 se puede observar



el perfil de elevación con un punto máximo de 2487msnm y con un punto mínimo de 2407msnm. En el km 1.89 a 2481msnm la ruta presenta un descenso que serviría para recuperar energía mediante la frenada regenerativa, debido a que dicha recuperación de energía puede alterar las muestras se tendría que evitar en lo mínimo su uso.

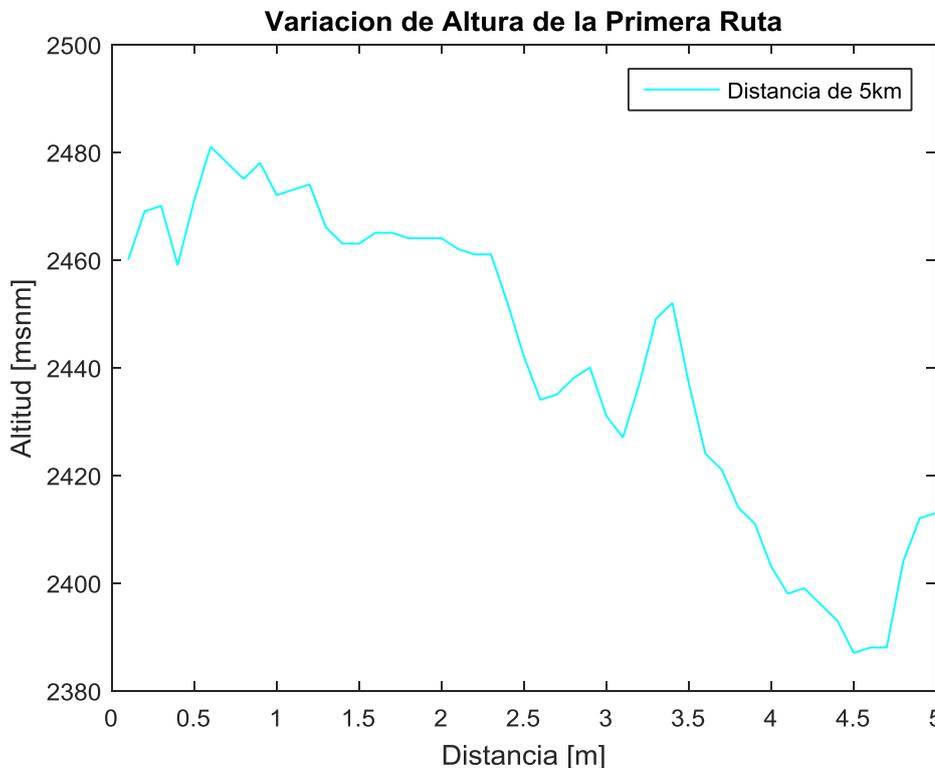


Figura. 27. Perfil de Elevación de 5km.

Fuente: Autor.

### Caracterización 5km

Para el estudio se inicia el recorrido en la autopista Cuenca-Azogúe en donde se tomara como el punto inicial del recorrido es decir el km cero (altura del Hospital del río) y finaliza el recorrido a la altura del Cuartel Dávalos (puente peatonal) km 5. Se considera una vía de acceso rápida debido a que tiene 3 carriles por sentido con sus respectivas aceras en el recorrido a cumplir. Los rangos de velocidad a los que se debe circular no deben sobrepasar los 90km/h en el trayecto mencionado. Por esta vía circulan ciclistas, atletas, motorizados, transporte público, maquinaria pesada, particulares. En la tabla 9 se tiene las especificaciones técnicas de la caracterización de la primera ruta.

Tabla 9. Caracterización de la Ruta 1.

Fuente: Autor.

Nombre de la Ruta	Inicio de la Ruta	Fin de la Ruta	Longitud Total
-------------------	-------------------	----------------	----------------



Autopista Cuenca-Azogues	Autopista Cuenca- Azogues Altura Hospital del Rio	Autopista Cuenca- Azogues Puente peatonal Cuartel Dávalos	5km
<b>Variación de altura</b>		<b>Velocidad Permitida</b>	
51.1 m		90km	
<b>Aspectos Generales</b>			
<b>Número de Carriles</b>	<b>Ancho de Carriles</b>	<b>Direccionalidad</b>	<b>Ubicación</b>
3 por sentido	3m	Doble vía	Sur-Norte
<b>Longitud Total</b>	<b>Capacidad Vehicular</b>	<b>Circulación de Transito</b>	<b>Señalización</b>
5km	1600 V/h	Rápido	Básica
<b>Tipo de Intersecciones</b>			
<b>Semaforización</b>	<b>Intersección Y</b>	<b>Intersección T</b>	<b>Redondel</b>
No	3	3	0
<b>Puentes</b>	<b>Puente Peatonal</b>	<b>Volumen Peatonal</b>	<b>Gasolineras</b>
0	1	Bajo	0
<b>Modalidad Soportada</b>			
Peatonal, Ciclistas, Motorizados, Buses de Transporte Publico, Vehículos de Transporte Público y Privado			
<b>Especificaciones Técnicas de la Vía</b>			
<b>Velocidad Máx. Permitida</b>	<b>Entre las kilómetros</b>		<b>Longitud de Muestra</b>
90km	Altura del Hospital del Rio	Puente Peatonal Cuartel Dávalos	5km
<b>Características Requeridas para el Estudio</b>			
<b>Fluidez de Transito</b>	<b>Estado de la Vía</b>	<b>Distancia Optima</b>	<b>Elevación Optima</b>
Vía de acceso rápido	Asfalto, en buen estado	Fácil obtención de datos	No influyente

### 3.2.2. Caracterización de la 2da Ruta.

El segundo trayecto esta comprendió por una distancia de 15km, esta distancia tiene una variación de altura de 51.1m. En la figura 28 se puede observar el perfil de elevación con un punto máximo de 2487msnm y con un punto mínimo de 2317msnm. Desde el



km 5.6 se tiene una pendiente negativa hasta el km 9 con una variación de altura de 71 msnm, la ruta presenta ascenso significativo desde el km 11.4 hasta el km 15 con una variación de altura de 97msnm.

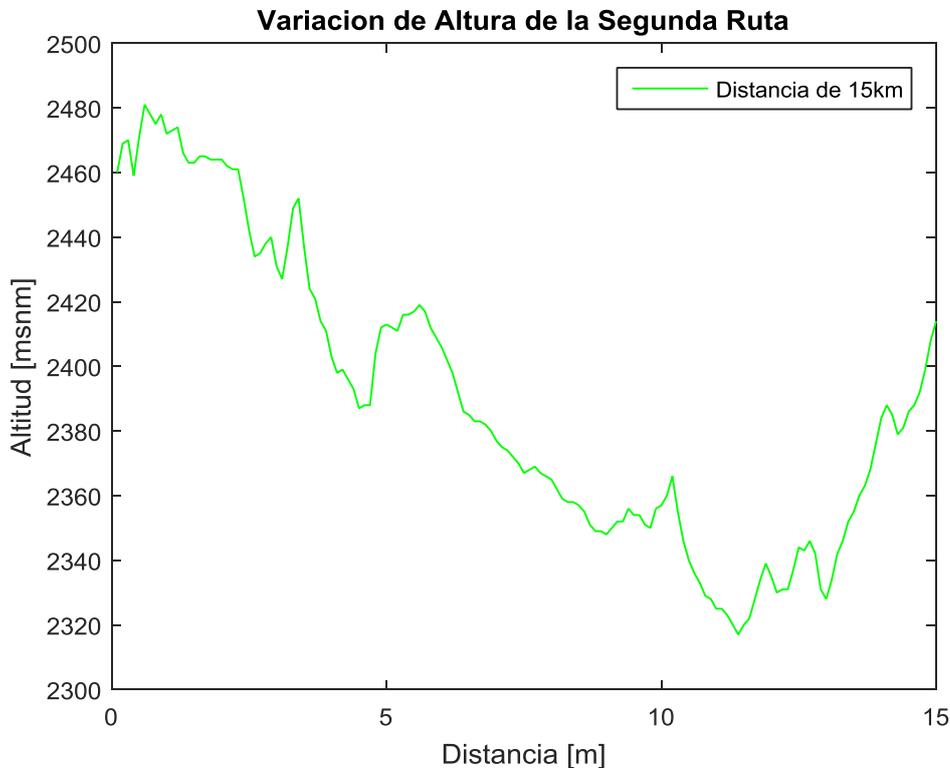


Figura. 28. Perfil de Elevación de 15km.

Fuente: Autor.

### Caracterización 15km

Para el estudio se inicia el recorrido en la autopista Cuenca-Azogues, teniendo como punto inicial del recorrido el km cero en el km 0 (altura del Hospital del rio) y finaliza el recorrido en el km 15 (500 metros después del primer redondel en la autopista). Se considera una vía de acceso rápida debido a que tiene 3 carriles por sentido con sus respectivas aceras en el recorrido a cumplir. Los rangos de velocidad a los que se debe circular no deben sobrepasar los 90km/h hasta el puente Europa, después la velocidad máxima a circular será de 100km/h en el trayecto mencionado. Por esta vía circulan ciclistas, atletas, motorizados, transporte público, maquinaria pesada, particulares. En la tabla 10 se tiene las especificaciones técnicas de la caracterización de la primera ruta.

Tabla 10. Caracterización de 15km.

Fuente: Autor.

Nombre de la Ruta	Inicio de la Ruta	Fin de la Ruta	Longitud Total
-------------------	-------------------	----------------	----------------



Autopista Cuenca-Azogues	Autopista Cuenca- Azogues Altura Hospital del Rio	Autopista Cuenca- Azogues 500 metros después del segundo redondel Autopista Cuenca Azogues	15km
<b>Variación de altura</b>		<b>Velocidad Permitida</b>	
42.4 m		90km a 100km	
<b>Aspectos Generales</b>			
<b>Número de Carriles</b>	<b>Ancho de Carriles</b>	<b>Direccionalidad</b>	<b>Ubicación</b>
3 por sentido	3m	Doble vía	Sur-Este
<b>Longitud Total</b>	<b>Capacidad Vehicular</b>	<b>Circulación de Transito</b>	<b>Señalización</b>
15km	1600 V/h	Rápido	Básica
<b>Tipo de Intersecciones</b>			
<b>Semaforización</b>	<b>Intersección Y</b>	<b>Intersección T</b>	<b>Redondel</b>
No	7	16	1
<b>Puentes</b>	<b>Puente Peatonal</b>	<b>Volumen Peatonal</b>	<b>Gasolineras</b>
1	3	Bajo	2
<b>Modalidad Soportada</b>			
Peatonal, Ciclistas, Motorizados, Buses de Transporte Publico, Vehículos de Transporte Público y Privado			
<b>Especificaciones Técnicas de la Vía</b>			
<b>Velocidad Máx. Permitida</b>	<b>Entre las kilómetros</b>		<b>Longitud de Muestra</b>
90km	Altura del Hospital del Rio	Altura del puente Europa	15km
100km	Altura del puente Europa	Ingreso a la ciudad de Azogues	
<b>Características Requeridas para el Estudio</b>			
<b>Fluidez de Transito</b>	<b>Estado de la Vía</b>	<b>Distancia Optima</b>	<b>Elevación Optima</b>
Vía de acceso rápido	Asfalto, en buen estado	Fácil obtención de datos	No influyente



### 3.2.3. Caracterización de la 3ra Ruta.

El tercer tramo para la adquisición de datos está definido por una distancia de 25km, esta distancia tiene una variación de altura de 36.2m. En la figura 29 se puede observar el perfil de elevación. Con un punto máximo de elevación de 2567 en el km 20.6 y un punto mínimo de elevación de 2317 en el km 11.4, este tramo ascendente es el más crítico en todo el trayecto debido a que existe una variación de altura de 250msnm.

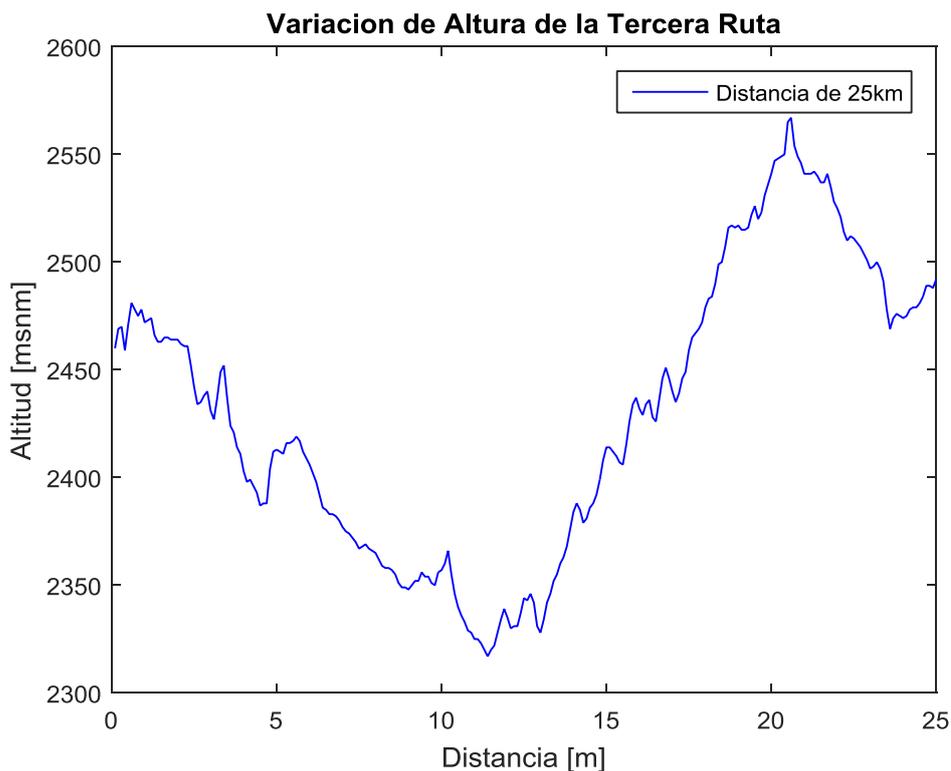


Figura. 29. Perfil de Elevación de 25km.

Fuente: Autor.

#### **Caracterización 25km**

Para el estudio se inicia el recorrido en la autopista Cuenca-Azogues en el que se toma como punto inicial del recorrido el km 0 (altura del Hospital del rio) y finaliza el recorrido en el km 25 (final de la autopista Cuenca-Azogues). Se considera una vía de acceso rápida debido a que tiene 3 carriles por sentido con sus respectivas aceras en el recorrido a cumplir. Los rangos de velocidad a los que se debe circular no deben sobrepasar los 90km/h hasta el puente Europa, después la velocidad máxima a circular será de 100km/h desde el puente Europa hasta el desvío en “Y” para ingresar a la ciudad de Azogues, y la velocidad máxima al pasar la entrada a azogues será de 50km en una



vía de 2 carriles por sentido hasta el final de la Autopista. Por esta vía circulan ciclistas, atletas, motorizados, transporte público, maquinaria pesada, particulares. En la tabla 11 se tiene las especificaciones técnicas de la caracterización de la primera ruta.

Tabla 11. Caracterización de 25km.

Fuente: Autor

<b>Nombre de la Ruta</b>	<b>Inicio de la Ruta</b>	<b>Fin de la Ruta</b>	<b>Longitud Total</b>
Autopista Cuenca-Azogues	0km Autopista Cuenca- Azogues	25km Autopista Cuenca- Azogues	25km
<b>Variación de altura</b>		<b>Velocidad Permitida</b>	
36.2 m		90km	
<b>Aspectos Generales</b>			
<b>Número de Carriles</b>	<b>Ancho de Carriles</b>	<b>Direccionalidad</b>	<b>Ubicación</b>
3 por sentido	3m	Doble vía	Sur-Este
<b>Longitud Total</b>	<b>Capacidad Vehicular</b>	<b>Circulación de Transito</b>	<b>Señalización</b>
25km	1600 V/h	Rápido	Básica
<b>Tipo de Intersecciones</b>			
<b>Semaforización</b>	<b>Intersección Y</b>	<b>Intersección T</b>	<b>Redondel</b>
No	11	25	3
<b>Puentes</b>	<b>Puente Peatonal</b>	<b>Volumen Peatonal</b>	<b>Gasolineras</b>
1	5	Bajo	3
<b>Modalidad Soportada</b>			
Peatonal, Ciclistas, Motorizados, Buses de Transporte Publico, Vehículos de Transporte Público y Privado			
<b>Especificaciones Técnicas de la Vía</b>			
<b>Velocidad Máx. Permitida</b>	<b>Entre las kilómetros</b>		<b>Longitud de Muestra</b>
90km	Altura del Hospital del Rio	Altura del puente Europa	25km
100km	Altura del puente Europa	Ingreso a la ciudad de Azogues	
50km	Ingreso a la ciudad de	Final de la Autopista	



## Azogues

<b>Características Requeridas para el Estudio</b>			
<b>Fluidez de Transito</b>	<b>Estado de la Vía</b>	<b>Distancia Optima</b>	<b>Elevación Optima</b>
Vía de acceso rápido	Asfalto, en buen estado	Fácil obtención de datos	No influyente

### 3.3. ALTIMETRÍA DE LAS RUTAS DE PRUEBA.

En la figura 30 se muestra los perfiles de elevaciones de las rutas de prueba, en donde se observaran los puntos más críticos a en cada ruta. Hay que tener en consideración que en las variaciones de altura con pendientes negativas el vehículo eléctrico puede recargar sus baterías mediante freno regenerativo o conducción en MODO ECO pero esto podría alterar las muestras.

#### ***Primera Ruta.***

La primera ruta tiene una distancia de 5km (color magenta), el punto más crítico inicia a los 400m (2.459msnm) y finaliza a los 600m (2.481msnm) con una variación de altura de 22 msnm, desde los 600m se tiene un descenso de aproximadamente 2.000m (2.434) con una diferencia de 47msnm de pendiente negativa. Aproximadamente a 3.100m (2427) se tiene un ascenso de 300m y se alcanza un punto máximo de 2452msnm, desde este punto se tiene un trayecto en descenso que no será aprovechado para recargar las baterías del vehículo.

#### ***Segunda Ruta.***

La segundo ruta tiene una distancia de 15km (color verde), desde los 5.000m (2413msnm) hasta los 5.600m (2419) se tiene una variación de altura de 6msnm que no es muy considerable, desde los 5.600 se inicia un descenso de 3.300m (2349msnm) con una variación de 70 msnm, un punto crítico a describir es desde los 13.000m (2328msnm) inicia un ascenso de 2.000m (2414) con una variación de altura de 86msnm que no presenta una variación de altura significativa significativo.

#### ***Tercera Ruta.***

La tercera ruta tiene una distancia de 25km (color azul), desde los 15.500m (2406msnm) hasta los 20.600m (2567msnm) se tiene una variación de altura de 161msnm, después de este punto se inicia un descenso de 3100m (2474) con una



variación de altura de 93msnm, al finalizar la trayectoria de la ruta desde los 23.700m hasta los 25.000 se tendrá una pendiente de ascenso con una variación de 18msnm.

Como se puede observar en la figura 30, el tramo donde presenta mayor variación de altura está comprendido entre el km 11.4 hasta el km 20.6, en este tramo ascendente la variación total es de 250msnm.

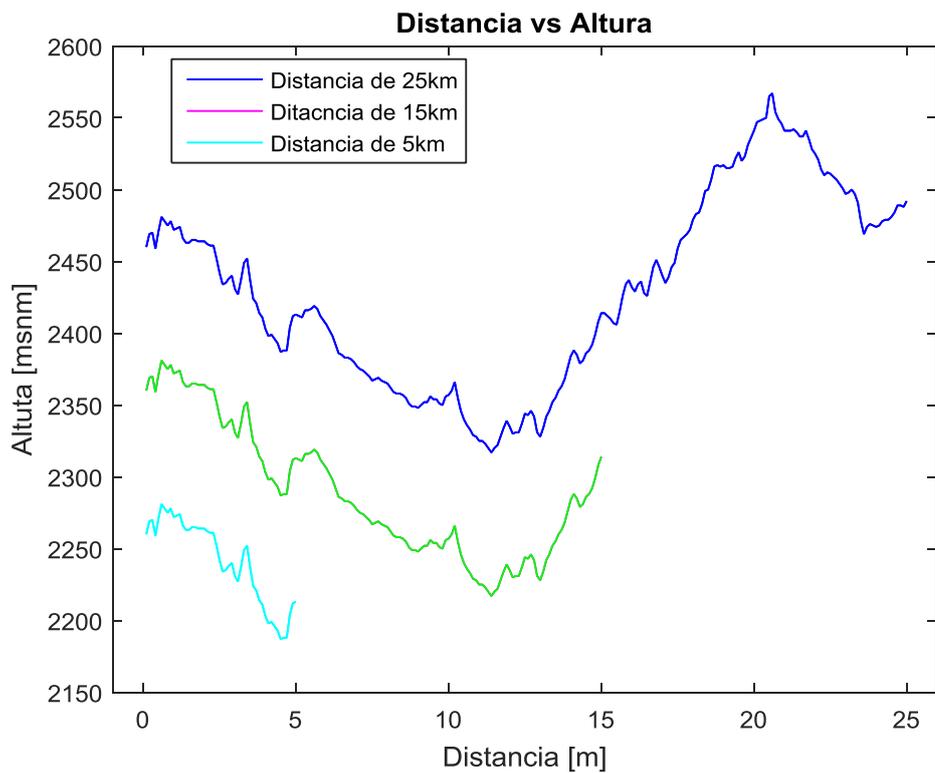


Figura. 30. Perfil de elevación de las diferentes rutas de prueba.

Fuente: Autor.



## Capítulo IV

### Adquisición de datos.

En el presente capítulo se describe el protocolo de muestreo y los estados de las variables a ser analizadas. Así como las distancias de los recorridos, también se indicarán los materiales necesarios para la adquisición y procesamiento de datos de autonomía.

#### 4.1. Protocolo de Muestreo.

Para la adquisición de datos se llenara una ficha en la que se definirá el orden de muestreo y las características que se deben cumplir para registrar los valores de autonomía que se van a generar en las pruebas. En la figura 31 se indica el registro de conducción, información del conductor y copiloto y condiciones iniciales del vehículo.

REGISTRO DE CONDUCCIÓN							
Fecha de solicitud	DD-MM-AA		Hora de Salida		hh:mm:ss		
Solicitante	Diego Guazhambo		Hora de Llegada		hh:mm:ss		
Autorizado por	Ing. Adrian Ziguencia		Ruta de Circulación		Cuenca - Azogues		
INFORMACIÓN DEL CONDUCTOR Y COPILOTO							
Nombre Conductor	Diego Guazhambo		Nombre Copiloto		-		
Tipo de licencia	B		Tipo de licencia		-		
Restricción a lentes	No		Restricción a lentes		-		
Dirección	Av.Ordoñez Lasso		Dirección		-		
Edad	25 años		Edad		-		
Teléfono	-		Teléfono		-		
Peso	73 kg		Peso		-		
CONDICIONES INICIALES DEL VEHICULO							
Modo de Manejo	Drive	Drive-Eco	Brake	Brake-Eco	Modo Eco	On	Off
	X						
Peso Vehículo	1490 kg	Peso Total	1563 kg	Autonomía			
Peso Pasajeros	73 kg			Kilometraje actual			
Observaciones							

Figura. 31. Registro de Conducción y Conductor.

Fuente: Autor.



En la figura 32 se puede observar la ficha de muestreo en donde tendremos que llenar los valores del registro de conducción que será la autonomía inicial al momento en que el vehículo sale del lugar de estacionamiento, la autonomía final se registrara cuando se haya finalizado las pruebas y el vehículo se instale para su cargar, también se definirá la ruta de circulación seguido de la distancia de recorrido que para este estudio seria Cuenca-Azogues 5km o 15km o 25km teniendo la siguiente nomenclatura (C-A5km).

REGISTRO DE CONDUCCIÓN		
Fecha de solicitud	DD-MM-AA	
Solicitante	Diego Guazhambo	
Conductor	Diego Guazhambo	
Autonomía Inicial	-	
Autonomia Final	-	
Ruta de Circulación	-	
PROTOCOLO DE MUESTREO		
N° de Prueba	-	
Variables	Estado	
Recorrido	-	
Eleva Lunas	-	
Sistema de Calefacción	-	
Luces de Carretera	-	
USO ADICIONAL		
Elementos	Uso	N° de veces
Freno		
Direccionales		
Luces Estacionamiento		
Radio		

Figura. 32. Protocolo de Muestreo.

Fuente: Autor.

En la tabla 12 se indica el protocolo de muestreo, es decir aquí se registrarán todas las condiciones de las variables según el orden de muestreo bajo los parámetros específicos.

Tabla 12. Estado de las Variables de Muestreo.

Fuente: Autor

Variable	Estado	Estado	Estado	Estado
Recorrido	5 Km	25 Km		
Eleva Vidrios	0%	100%		
Sistema de Calefacción	On	Off		
Sistema de Alumbrado	On	Guías	Medias	Altas



En la tabla 13 se muestra un indicador para registrar el uso de elementos adicionales que puedan influenciar en la toma de muestras, mediante un consumo de energía o por regeneración de energía mediante el uso del freno.

Tabla 13. Uso de elementos adicionales.

Fuente: Autor.

Elementos	Uso	Número de Veces
Freno	-	-
Direccionales	-	-
Luces Direccionales	-	-
Radio	-	-

## 4.2. Herramientas usadas para la adquisición de datos.

A continuación se describen las herramientas usadas para la adquisición de datos en este estudio. Todas las herramientas usadas son de propiedad única de la Universidad Politécnica Salina sede Cuenca y de su laboratorio EMOLab perteneciente a la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz.

### 4.2.1. Software EMOLab.

El software EMOLab 2.0.1 creado mediante una interfaz en el software LabVIEW es un software de ingeniería que sirve para recopilar información que emite un vehículo eléctrico mediante una conexión por bluetooth de un OBD II. En la figura 33 se muestra la interfaz gráfica principal del software EMOLab en donde se puede apreciar el voltaje de la batería principal y la corriente de fase del motor, así como manómetros en donde se indica los kilómetros por hora en que se está, las rpm actuales, temperaturas del motor, etc.



Figura. 33. Interfaz Principal del Software EMOLab.

Fuente: Ing. Paul Ortiz Msc.

Este software recopila información de 50 variables que se toman del vehículo eléctrico, además la interfaz gráfica que presenta es de fácil de comprender. Los factores a registrar se adquieren en una frecuencia de 1Hz, posteriormente se define las variables que ayudaran a discernir de mejor manera su procesamiento y poder determinar la dependencia que tienen en función de la autonomía. En la tabla 14 se enlistan los datos que generaran las variables para este estudio.

Tabla 14. Variables para definición de autonomía.

Fuente: Autor.

Variable	Unidad
Acelerador	%
Speed	km/h
SOC	%
Drive Motor Speed	rpm
Motor Temperature	°C
SOC Display	%
Odometer	km
Time PC	HH:MM:SS



En la tabla 15 se muestran todas las variables que el software contiene para la obtención de datos.

Tabla 15. Variables del Software EMOLab.

Fuente: Bueno C, Quizhpe J. DETERMINACIÓN DE LA AUTONOMÍA REAL DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA CIUDAD DE CUENCA MEDIANTE ANÁLISIS EXPERIMENTAL

Pedal Acelerador [%]	Battery Current [A]	Battery Module 1 Temperature [°C]	Battery Inlet Temperature [°C]	Cumulative Charge Current [Ah]	Inverter Capacitor Voltage [V]	Motor Actually Speed [rpm]	MCU Temperature [°C]	SOC Display [%]	Gear State B
Speed [km]	Battery DC Voltage [V]	Battery Module 2 Temperature [°C]	Max Cell Voltage [V]	Cumulative Discharge Current [Ah]	Drive Motor Speed [rpm]	Motor Phase Current [A]	Head Skin Temperature [°C]	Gear State P	ECO OFF Switch
SOC [%]	Battery Aux Voltage [°C]	Battery Module Temperature [°C]	Max Cell Voltage [N°]	Cumulative Charge Energy [kWH]	Motor Actually Speed [rpm]	Motor Torque Command [Nm]	Battery Module 6 Temperature [°C]	Gear State R	Charge Cancel Switch
Available Charge Power [kW]	Battery Min Temperature [°C]	Battery Module 4 Temperature [°C]	Min Cell Voltage [V]	Cumulative Discharge Energy [kWH]	Insolation Resistance [Kohms]	Estimate Motor Torque [Nm]	Battery Module 7 Temperature [°C]	Gear State N	Odometer [km]
Available Discharge Power [kW]	Battery Min Temperature [°C]	Battery Module 5 Temperature [°C]	Min Cell Voltage [N°]	Cumulative Operring Time [Sec]	Battery Aux Voltage [V]	Motor Temperature [°C]	Battery Module 8 Temperature [°C]	Gear State D	Time Pc HH:MM:S S]



#### 4.2.2. Vehículo Eléctrico.

La figura 34 muestra la unidad sobre la cual se va a desarrollar las investigaciones para este estudio, es un vehículo eléctrico comercial el que mediante una conexión por bluetooth entre el OBD II y el software EMOLab va a registrar y guardar datos sobre el comportamiento que se va generando en el vehículo conforme se lo utilice. La Universidad Politécnica Salesiana en la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz dispone de un vehículo eléctrico el cual está dentro del grupo de investigación EMOLab.



Figura. 34. Vehículo Eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana.

Fuente: EMOLab

#### ***Especificaciones Técnicas del Vehículo Eléctrico.***

En la tabla 16 se muestra las especificaciones técnicas del vehículo eléctrico que será estudiado.

Tabla 16. Especificaciones Técnicas del VE.

Fuente. (Kia Motors, 2015)

Características del VE		Unidad
Funcionamiento	100% Eléctrico	%
Tracción	Delantera Automática	-
Potencia	81.4 110	kW CV
Par Motor	285	Nm
Aceleración	100km en 11s	-
Velocidad Máxima	145	km



<b>Dimensiones</b>		<b>Unidad</b>
Largo	4.14	m
Ancho	1.18	m
Altura	2.57	m
Peso	1490	kg
<b>Suspensión</b>		<b>Unidad</b>
Delantera	Mac Pherson	-
Posterior	Barra de Torsión	-
<b>Batería</b>		<b>Unidad</b>
Autonomía con el 100% según fabricante	165	km
Densidad Eléctrica	200	Wh/kg
Material	Polímero de Litio	-
Peso	275	kg
Tiempo de Carga	6	horas

### 4.3. ADQUISICION DE DATOS.

Para la adquisiicion de datos, se trabajo sobre ocho parametros especificos del software emolab que son:

- Porcentaje de aceleracion.
- Velocidad.
- Estado de carga.
- Temperatura del motor.
- Revoluciones por minuto.
- Display del estado de carga.
- Odometro.
- Tiempo PC.

Los datos que se generaron fueron se guardaron en un formato de texto debido ala configuracion del programa, los mismo que tuvieron que ser exportados a EXCEL para



poder ser trabajados de manera mas clara y precisa. En la figura 35 se observa un extracto de los datos adquiridos de las varibales del software EMOLab.

Time [HH:MM:SS]	Accel Pedal [%]	Speed [Kmh]	SOC [%]	Consumo en Km	Drive Motor Speed [rpm]	Motor Temperature [°C]	SOC Display [%]	Odometer [Km]
11:40:28	31	60	89	6,6	4100	49	93	14942,9
11:40:29	32,5	60	89	6,6	4100	49	93	14942,9
11:40:30	33	61	88,5	7,425	4200	49	93	14942,9
11:40:31	33	62	88,5	7,425	4200	49	93	14942,9
11:40:32	33	62	88,5	7,425	4300	49	93	14943
11:40:33	33	63	88,5	7,425	4300	49	93	14943
11:40:34	32,5	63	88,5	7,425	4300	49	93	14943
11:40:35	26	63	88,5	7,425	4300	49	93	14943
11:40:36	29	63	88,5	7,425	4300	49	93	14943
11:40:37	22	62	88,5	7,425	4300	49	93	14943,1
11:40:38	25	62	88,5	7,425	4200	49	93	14943,1
11:40:39	27	61	88,5	7,425	4200	49	93	14943,1
11:40:40	26,5	61	88,5	7,425	4200	49	93	14943,1
11:40:41	25	61	88,5	7,425	4200	49	93	14943,1
11:40:42	25	61	88,5	7,425	4200	49	93	14943,1
11:40:43	23,5	62	88,5	7,425	4200	49	93	14943,2
11:40:44	21,5	61	88,5	7,425	4200	49	93	14943,2
11:40:45	19	62	88,5	7,425	4200	49	93	14943,2
11:40:46	0	60	88,5	7,425	4100	49	93	14943,2
11:40:47	0	57	88,5	7,425	3900	49	93	14943,2
11:40:48	0	52	88,5	7,425	3600	49	93	14943,2
	16,35	74,092	4,5	5,425	5071,625	41,847	5	15

Figura. 35. Extracto de los datos procesados de una muestra.

Fuente: Autor.

Las variables se procesaron de la siguiente forma:

- Para el porcentaje de aceleracion, velocidad, y rpm se obtuvo un promedio para cada factor, cada prueba realizada tenia que estar bajo los mismos parametros de estas variables por lo que se obtuvo un promedio de todas las muestras teniendo como resultado que el porcentaje de aceleracion de 16.35% con un velocidad de 74.09% y 5071.62 rpm.
- Las variables de consumo del estado de carga %SOC y %SOC display dependen de la ruta recorrida y las condiciones de las varibales. Con estos valores se obtuvo la diferencia al iniciar y finalizar la prueba evaluada en recorrido.
- La variable odometro especifica la distancia que se recorrio, con la diferencia de la distancia inicial y la distancia final se obtuvo la distancia necesaria para poder evaluar los parametros anteriores.
- Adicionalmente obtuvo el consumo por kilometro recorrido, esta variable depende del parametro %SOC y de la autonomía VACIO es decir la carga maxima del paquete de las baterias que ssegún, Bueno C y Quishpe A (2017) afirman: “la autonomía del vehículo Kia Soul EV es de 165km (carga máxima del paquete de las baterías)”. p (64). Con la ecuación 1 se determinó la autonomía por kilómetro recorrido en cada prueba realizada para así obtener la diferencia y poder utilizar este parámetro para el análisis de la regresión



estadística con la finalidad de obtener el comportamiento de los sistemas de confort en el consumo del estado de carga del vehículo eléctrico.

$$\%SOC \text{ en km} = \frac{(\%SOC_i - \%SOC_{i+1}) * \text{Autonomia VACIO}}{100} \quad [1]$$



## Capítulo V

### Análisis de Resultados.

En el presente capítulo se analizará la autonomía consumida en kilómetros en base a los proyectores continuos y categóricos que se especificaron en capítulos anteriores para el desarrollo de este diseño experimental. Se indicarán los resultados de la incidencia que tienen los periféricos ante el consumo de autonomía.

#### 5.1. ANÁLISIS DE LA REGRESIÓN.

La recopilación de datos se analiza en el software Minitab 17, en donde se modela la relación que tienen los predictores continuos o categóricos y una respuesta que, para este estudio, es la autonomía. En la figura 36 se observa las variables de respuesta (Autonomía [km]), las continuas (Elevadas [%], Distancia [km]) y las categóricas (Sistema Calefacción, Sistema de Alumbrado) que se deberán ingresar para el posterior ajuste de la regresión.

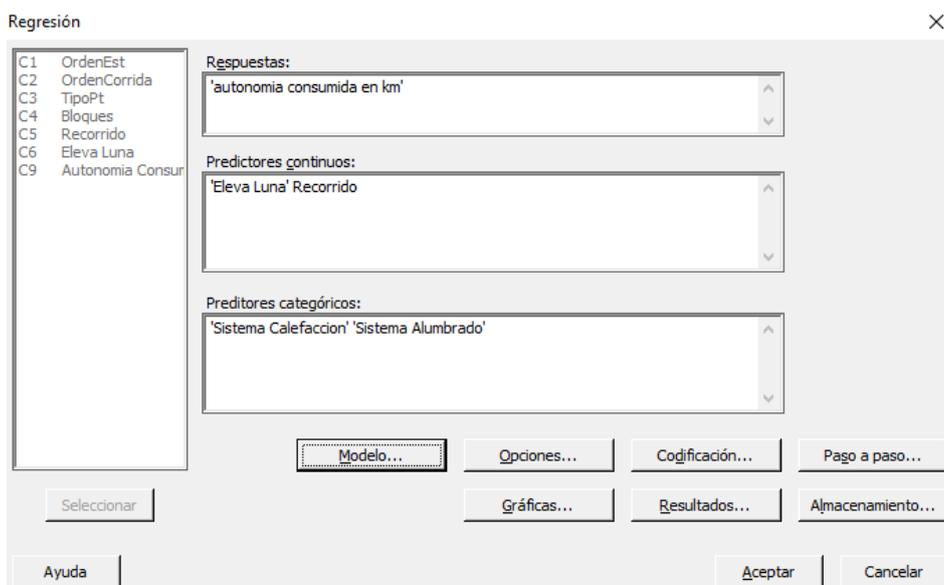


Figura. 36. Ajuste de la regresión, ingreso de la variable dependiente y las independientes.

Fuente; Autor.



Del ajuste de la regresión se obtiene como resultado, un análisis de la varianza (tabla 17) que contiene los orígenes de variación (fuente), sus grados de libertad (GL), la suma total de los cuadrados (SC) y la media de cuadrados (MC), las estadísticas F (indica si un factor es significativo) y los valores P (Se compara con patrón de 0.05 si el factor es significativo).

La suma total de cuadrados y la media de cuadrados que se observa en La tabla 17 permitirán comparar estas relaciones y determinar una diferencia significativa que existe con respecto a la autonomía. Mientras mayor sea esta relación, más afectarán los tratamientos el resultado.

Tabla 17. Tabla de análisis de varianza.

Fuente: Autor

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust</b>	<b>MC Ajust</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Regresión</b>	6	8736,12	1456,02	624,15	0,000
Eleva Lunas	1	0,23	0,23	0,10	0,755
Recorrido	1	8729,40	8729,40	3742,03	0,000
Sistema Calefacción	1	3,16	3,16	1,35	0,245
Sistema Alumbrado	3	3,33	1,11	0,43	0,699
<b>Error</b>	305	711,50	2,33		
Falta de ajuste	65	494,79	7,61	8,43	0,000
Error puro	240	216,71	0,90		
<b>Total</b>	311	9447,62			

## 5.2. ANÁLISIS DE RESIDUOS.

Las muestras fueran tomadas de forma aleatoria según DOE que se realizó para este estudio, por lo tanto ante las muestras adquiridas se dará validez al experimento, mediante el análisis de residuos. La figura 37 muestra una gráfica de residuos que tiene por finalidad examinar el ajuste del modelo en la regresión. Se debe examinar si no existen variaciones atípicas y valores con residuos grandes.

A continuación se analizará las cuatro graficas de residuos que se generan en Minitab 17.



### ***Grafica de probabilidad normal de residuo.***

Los puntos de tendencia en esta grafica están normalmente distribuidos sobre una línea recta, por lo que indica que los valores adquiridos tienen validez debido a que no se genera ninguna dispersión significativa en los puntos y además se respetó el protocolo de muestreo.[30]

### ***Residuo versus valor ajustado.***

La gráfica muestra un patrón aleatorio de residuos que se encuentra por encima y por debajo de la línea de referencia [30]. Para los recorridos de 5km, 15km y 25km respectivamente se puede observar que no hay punto(s) alejado(s) de la mayoría de los mismos, lo que garantiza la inexistencia de valores atípicos.

### ***Histograma de residuos.***

Es una herramienta que explora las características generales de los residuos y muestra una representación gráfica de una distribución normal de un grupo de datos incluyendo valores típicos, dispersión y forma [30]. Para este caso la repartición indica una distribución simétrica de los datos. Los parámetros tienen la forma y están por debajo de la campana Gaussiana, lo que indica que no existen valores atípicos en las muestras adquiridas

### ***Residuos versus orden de datos.***

Esta es una gráfica que muestra todos los residuos en el orden en el que se recolectaron los datos y puede utilizarse para hallar errores no aleatorios, especialmente de efectos relacionados con el tiempo [30]. Para este estudio se puede observar que las muestras son totalmente aleatorias debido a que no hay patrones que definan el comportamiento.

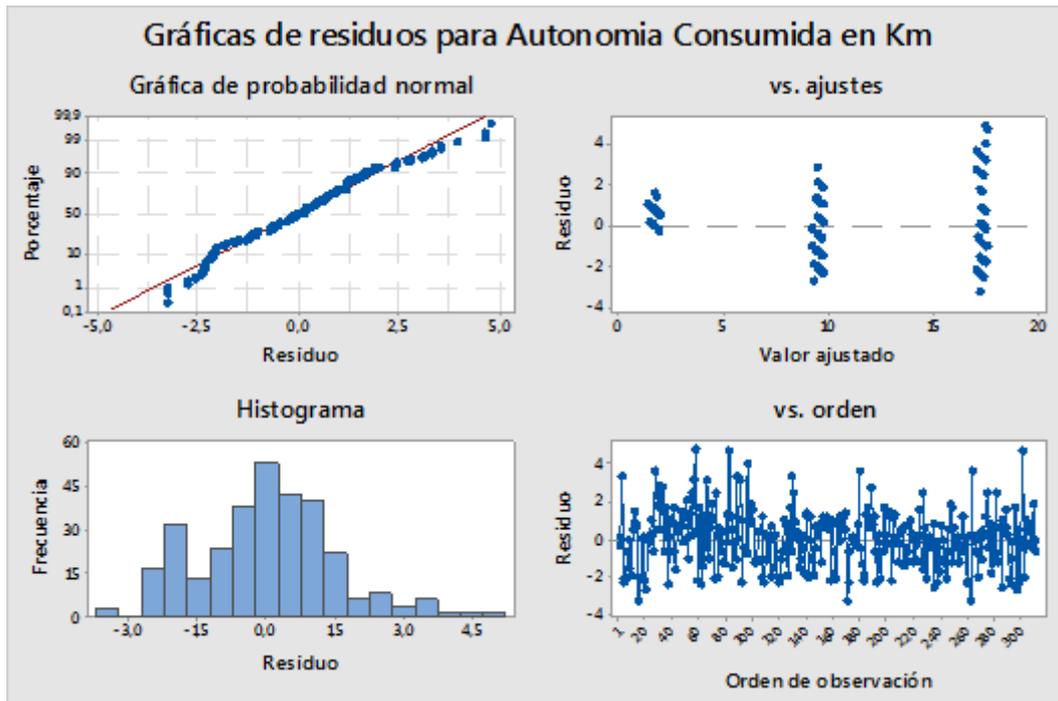


Figura. 37. Gráfica de Residuos para la Autonomía Consumida en km.

Fuente: Autor.

### 5.3. ANÁLISIS DE EFECTOS PRINCIPALES.

En la figura 38 se muestra la gráfica de efectos principales del experimento que indica la medida de respuesta de cada nivel de factores, los efectos principales se analizan por separado, cada variable categórica y continua con respecto a la variable de respuesta que para este estudio es la Autonomía. [30]

La grafica de recorrido tiene una pendiente considerable lo que indica que el recorrido tiene mayor magnitud de influencia en la autonomía, debido a que los niveles de esta variable son de tendencia exponencial. La grafica correspondiente a los eleva vidrios, sistema de alumbrado y sistema de calefacción no presenta niveles en los factores correspondientes que puedan afectar a la autonomía debido a que se observa una tendencia casi horizontal.

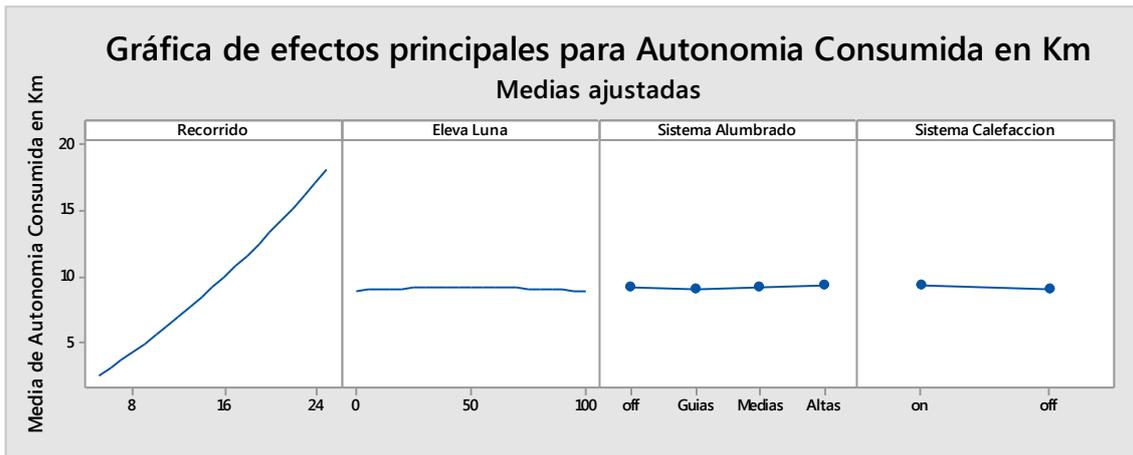


Figura. 38. Gráfica de efectos principales.

Fuente: Autor.

#### 5.4. ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN DE VARIABLES.

La gráfica de interacción de variables se muestra en la figura 39, la cual indica cuando el efecto de un factor depende del nivel del otro factor. Es decir mientras más ajustadas se encuentren las líneas de tendencia, representan una mayor relación de dichas variable. [23]

Para este estudio la interrelación más fuerte tiene una variable en común que es el Recorrido, mismo que combinado con el eleva lunas, sistema de alumbrado y sistema de calefacción representan un mayor consumo en la autonomía respectivamente.

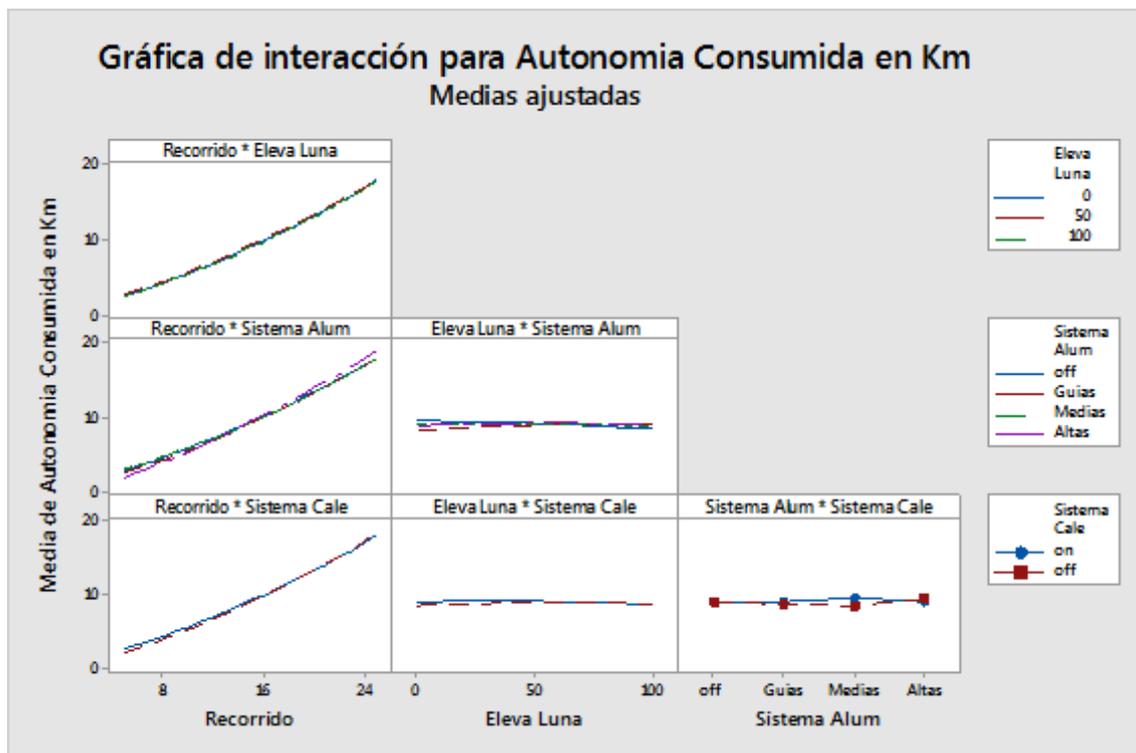


Figura. 39. Gráfica de interacción de variables.



Fuente: Autor.

#### 5.4.1. Recorrido VS Eleva Vidrio.

En la figura 40 se aprecia el consumo de SOC (State of Charge) del vehículo eléctrico con respecto a la interrelación de las variables de Recorrido vs Eleva Vidrios, en donde se analiza el consumo que tienen estas variables en diferentes distancias y con condiciones iniciales similares.

##### **Condiciones iniciales.**

Distancia: 5km - 15km - 25km

Eleva Vidrios: Abiertos, Cerrados, Media Altura

Sistema Calefacción: Off

Sistema Alumbrado: Off

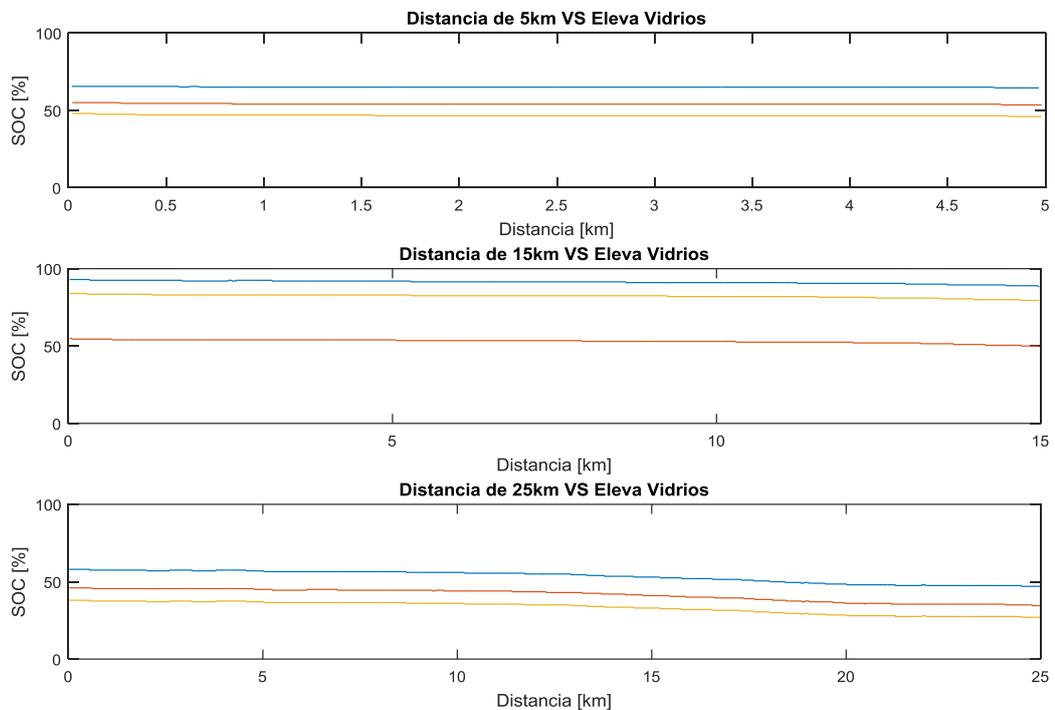


Figura. 40. Interrelación del Recorrido VS Eleva Vidrios.

Fuente: Autor.

En la tabla 18 se muestra el SOC al iniciar y finalizar la prueba para cada recorrido. En un recorrido de 5km se generó un consumo del 1.5% SOC cuando los vidrios están completamente abiertos, cerrados y a media altura. En el recorrido de 15km se tiene un consumo de 4.5% SOC con los vidrios abiertos y cerrados, pero a media altura existe un consumo de 5% SOC teniendo los vidrios a media altura. En el recorrido de 25km se muestra que existe un consumo considerable del 11% SOC con los vidrios abiertos y



cerrados ya que los vidrios a media altura da un consumo de 11.5% SOC, la variación que existe en este recorrido es del 0.5%.

Se considera, por obvias razones, que a mayor distancia de recorrido se tendrá mayor consumo de autonomía, independientemente del estado de los periféricos. Tal es el caso que: según la posición de los vidrios del vehículo, existe una variación del 0.13 %SOC/km entre tener los vidrios cerrados, a media altura y totalmente abiertos.

Tabla 18. Consumo del SOC en la interrelación del Recorrido vs Eleva Vidrios.

Fuente: Autor

<b>Distancia</b>	<b>5 [Km]</b>	<b>15 [Km]</b>	<b>25 [Km]</b>	
<b>Eleva Vidrios</b>	<b>SOC [%]</b>	<b>SOC [%]</b>	<b>SOC [%]</b>	<b>Color</b>
Abiertos [100%]	1.5	4.5	11	-----
Cerrados [0%]	1.5	4.5	11.5	-----
Media Altura [50%]	1.5	5	11	-----

En la tabla 19 se observa el consumo por kilómetros que presenta cada uno de los estados de los vidrios. En los 5 km hay un consumo de 0.3 SOC/km, para los 15 km se consume 0.31 SOC/km recorrido y finalmente en los 25km se consume un 0.45 SOC/km recorrido. Por lo tanto la variación de consumo del SOC es de 0.146% en esta interrelación.

<b>Distancia</b>	<b>SOC</b>
<b>[km]</b>	<b>[%]</b>
5	1,5
1	0,30
15	4,6
1	0,31
25	11,16
1	0,45



#### 5.4.2. Recorrido VS Sistemas de Alumbrado.

En la figura 41 se aprecia el consumo de SOC del vehículo eléctrico con respecto a la interrelación de las variables de Recorrido vs Sistema de Alumbrado, en donde se analiza el consumo que tienen estas variables en diferentes distancias y con condiciones iniciales similares.

##### **Condiciones iniciales.**

Distancia: 5km - 15km - 25km

Eleva Vidrios: Cerrado

Sistema Calefacción: Off

Sistema Alumbrado: Altas - Medias - Guías - Off

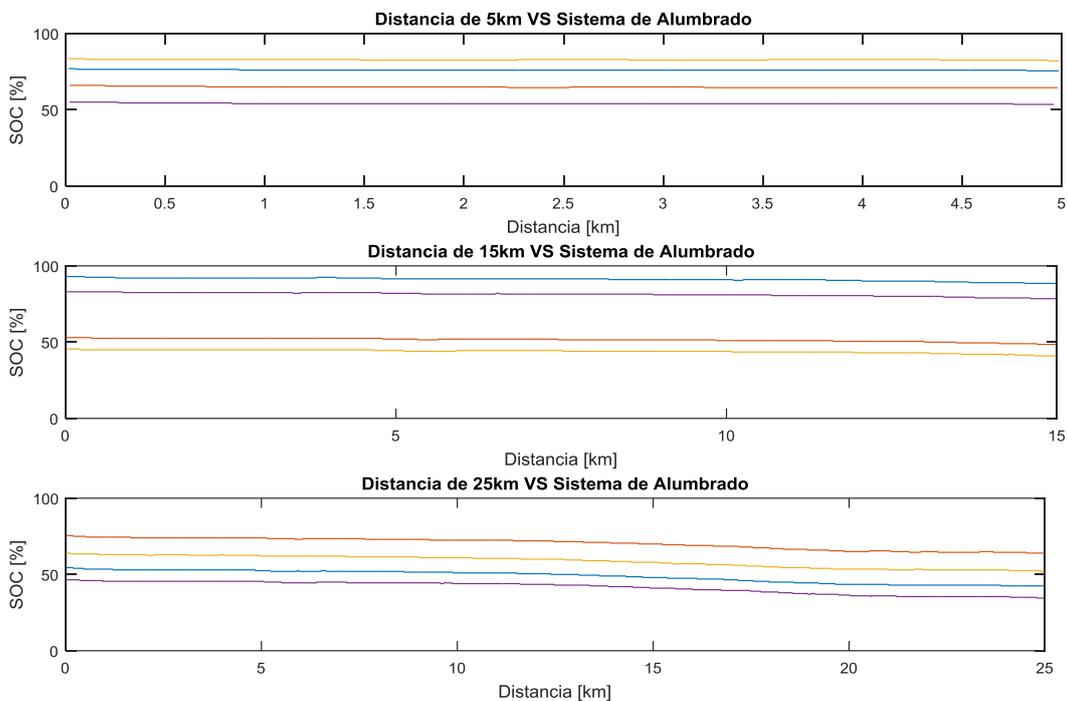


Figura. 41. Interrelación Recorrido VS Sistema de Alumbrado.

Fuente: Autor

En la tabla 20 se muestra el SOC al iniciar y finalizar la prueba para cada recorrido, cada grafica de la figura 42 contiene el consumo individual de cada uno de los estados del sistema de alumbrado (Altas, Medias, Guías, Off) con las distancias respectivas. En el primer recorrido de 5km se generó un consumo del 1.5% del SOC, para el recorrido de 15km se obtuvo un consumo de 4.5% y finalmente en el recorrido de 25km se muestra que existió un consumo considerable del 12% SOC con luces Altas, luces



Medias y luces Guías y un 11.5% SOC con luces Off, es decir que a mayor distancia y mayor uso del sistema de alumbrado se consume mayor autonomía de acuerdo al estado del Sistema de Alumbrado.

Tabla 19. Consumo del SOC en la interrelación del Recorrido vs Sistema de Alumbrado.

Fuente: Autor.

<b>Distancia</b>	<b>5 [Km]</b>	<b>15 [Km]</b>	<b>25 [Km]</b>	
<b>Sistema de Alumbrado</b>	<b>SOC [%]</b>	<b>SOC [%]</b>	<b>SOC [%]</b>	<b>Color</b>
Luces Altas	1.5	4.5	12	-----
Luces Medias	1.5	4.5	11.5	-----
Luces Guías	1.5	4.5	12	-----
Luces Off	1.5	4.5	12	-----

En la tabla 21 se observa el consumo por kilómetros que presenta cada uno de los estados del sistema de alumbrado. En los 5 km hay un consumo de 0.3 SOC/km, al igual que para los 15 km; y para los 25km se consume un 0.47 SOC/km recorrido. Por lo tanto la variación de consumo del SOC para esta interrelación es de 0.17%.

Distancia [km]	SOC [%]
5	1,5
1	0,30
15	4,6
1	0,31
25	11,16
1	0,45

#### 5.4.3. Recorrido VS Sistema de Calefacción.

En la figura 42 se aprecia el consumo de SOC del vehículo eléctrico con respecto a la interrelación de las variables de Recorrido vs Sistema de Calefacción, en donde se analiza el consumo que tienen estas variables en diferentes distancias y con condiciones iniciales similares.



**Condiciones iniciales.**

Distancia: 5km - 15km - 25km

Eleva Vidrios: Cerrado

Sistema Calefacción: Off - On

Sistema Alumbrado: Off

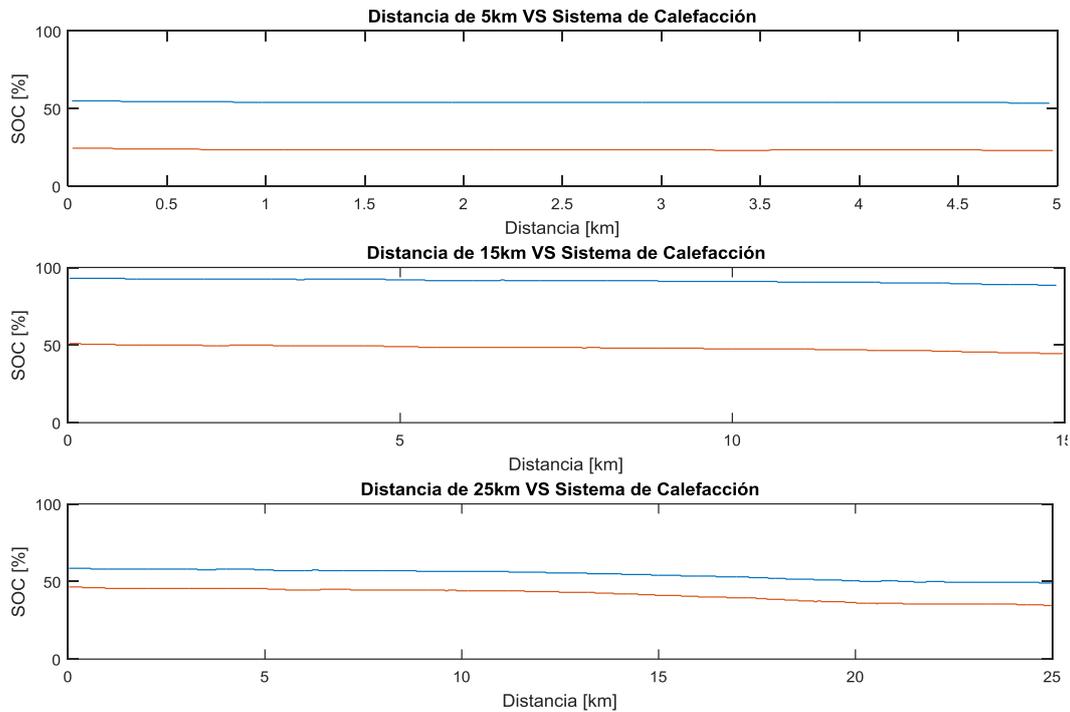


Figura. 42. Interrelación Recorrido VS Sistema de Calefacción.

Fuente: Autor

En la tabla 22 se muestra el SOC al iniciar y finalizar la prueba para cada recorrido. En el primer recorrido de 5km se generó un consumo del 1.5% del SOC en los dos estados del sistema de calefacción On/Off. En el recorrido de 15km con el sistema de calefacción encendido se tiene un consumo de 6.5% SOC mientras que apagado consume un 6% SOC. En el recorrido de 25km se muestra que existe un consumo considerable de 9.5% SOC con el sistema de calefacción apagado, mientras que si está encendido se consume un 12% SOC.

Tabla 20. Consumo del SOC en la interrelación del Recorrido vs Sistema de Calefacción.

Fuente: Autor

Distancia	5 [Km]	15 [Km]	25 [Km]	Color
Sistema de Calefacción	SOC [%]	SOC [%]	SOC [%]	
On	1.5	6.5	10	-----



Off                      1.5                      6                      9.5                      -----

---

En la tabla 23 se observa el consumo por kilómetros que presenta cada uno de los estados del sistema de calefacción. En los 5 km hay un consumo de 0.3 SOC/km, al igual que para los 15 km el consumo es de 0.41 SOC/km mientras que en los 25 km se consume un 0.39 SOC/km recorrido. Por lo tanto la variación de consumo del SOC para esta interrelación de variables es de 0.14%.

Distancia [km]	SOC [%]
5	1,5
1	0,30
15	4,6
1	0,31
25	11,16
1	0,45

### 5.5. ANÁLISIS CON LOS PERIFÉRICOS ACTIVADOS.

Para analizar la influencia de los periféricos en la autonomía en condiciones de activación, se seleccionaron muestras al azar que cumplan con las siguientes condiciones:

***Condiciones iniciales.***

Distancia: 5km - 15km - 25km

Eleva Vidrios: Cerrado

Sistema Calefacción: On

Sistema Alumbrado: Altas – Medias – Guías – Off

La figura 43 contiene 4 graficas en las que se muestra el consumo del estado de carga SOC con respecto a la distancia recorrida con el uso de los periféricos como son el Sistemas de Alumbrado (Altas, Medias, Guías, Off), combinadas respectivamente con el Sistema de Calefacción (On) y los Eleva Vidrios (Cerrados).

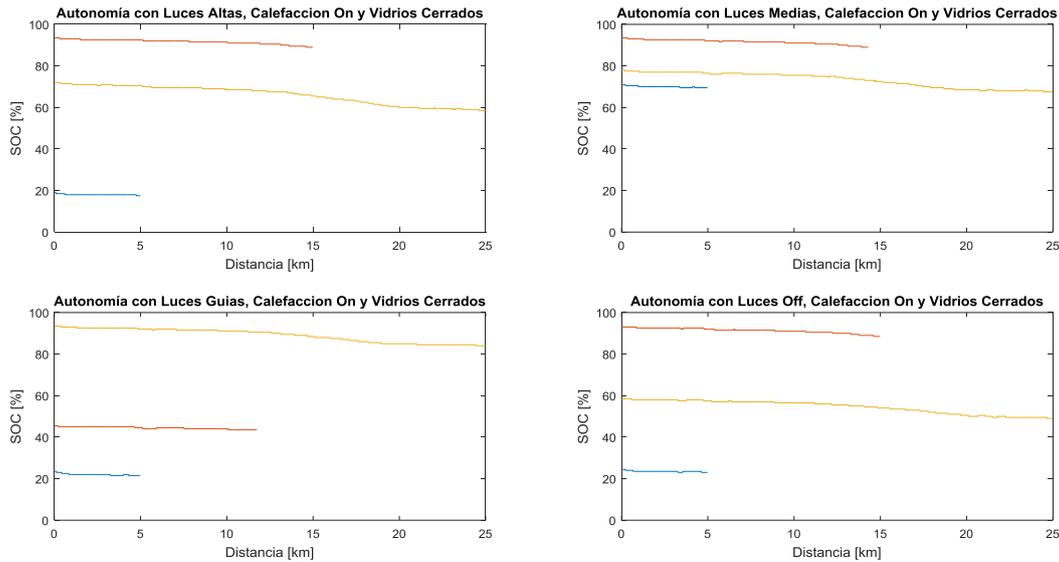


Figura. 43. Autonomía con los Periféricos Activados.

Fuente: Autor.

Con las luces altas, vidrios cerrados y calefacción encendida se tiene un consumo de 1.5% con 5km, 4.5% con 15km y 13.5% con 25km de recorrido respectivamente. Con las luces medias, vidrios cerrados y calefacción encendida se tiene un consumo de 1.5% con 5km, 4.5% con 15km y 10.5% con 25km de recorrido respectivamente. Con las luces guías, vidrios cerrados y calefacción encendida se tiene un consumo de 2% con 5km, 4.5% con 15km y 9.5% con 25km de recorrido respectivamente. Con las luces off, vidrios cerrados y calefacción encendida se tiene un consumo de 1.5% con 5km, 4.5% con 15km y 9.5% con 25km de recorrido respectivamente.

Por lo tanto la autonomía en un vehículo eléctrico con los periféricos activados tiene un consumo significativo cuando están activados los sistemas de calefacción, luces altas, vidrios cerrados y en una distancia de 25km, es decir a mayor distancia y uso de los sistemas existe un consumo notable del estado de carga de la batería.

En la tabla 21 se observa el consumo por kilómetros que presenta cada uno de los estados del sistema de alumbrado. Con las luces altas, medias, guías y bajas se da una variación de consumo de 0.30 SOC/km en una distancia de 5km y 15km. Con luces altas se da un consumo de 0.54 %SOC/km, con luces medias 0.42 %SOC/km y con las luces guías y apagadas se da un consumo de 0.38 %SOC/km. Por lo tanto se puede observar que existe una variación de 0.24% del estado de carga por kilómetro recorrido con las luces altas, con las luces medias 0.12% de variación y con las luces guías y apagadas hay una variación de consumo del 0.08%.



Tabla 21. Consumo del SOC por kilómetro, con el uso de los sistemas de confort activados.

Fuente: Autor.

<b>Luces Altas</b>		<b>Luces Medias</b>		<b>Luces Guías</b>		<b>Luces Off</b>	
Distancia [km]	SOC [%]	Distancia [km]	SOC [%]	Distancia [km]	SOC [%]	Distancia [km]	SOC [%]
5	1,5	5	1,5	5	1,5	5	1,5
1	0,30	1	0,30	1	0,30	1	0,30
15	4,5	15	4,5	15	4,5	15	4,5
1	0,30	1	0,30	1	0,30	1	0,30
25	13,5	25	10,5	25	9,5	25	9,5
1	0,54	1	0,42	1	0,38	1	0,38



## Conclusiones y Recomendaciones

Mediante el desarrollo e investigación del estado del arte se estudió la evolución que tuvo el vehículo eléctrico a lo largo de los años, como también la configuración y partes principales que lo componen. Al hablar de autonomía se relaciona directamente con la capacidad de las baterías las mismas que han ido en una evolución constante, en donde nuestro sistema de almacenamiento de energía ha tenido un progreso considerable de las baterías con son: Plomo-Acido, Níquel-Cadmio, Níquel-Hidruro Metálico, Ión-Litio, Metal-Aire, Zebra y Súper Condensadores. Se dio a conocer las ventajas y desventajas que presentan cada una de estas baterías en donde se estableció un cuadro característico de las especificaciones técnicas de las baterías que están actualmente en uso.

Para la definición de las variables primo se analizó los periféricos que tendrían relación directa con el estudio, de igual forma se obtuvo el consumo de corriente del sistema de calefacción que fue de 1.2 [Amperios] en un tiempo de 600 segundos consumiendo un 0.5% del estado de carga del vehículo eléctrico; y en el sistema de alumbrado con Luces Guías consume de 0.6 [Amperios], con Luces Medias consume de 0.7 [Amperios] y con Luces Altas consume de 0.8 [Amperios] todas en un tiempo de 600 segundos gastando así un 0.5% de Estado de Carga en cada prueba. Además se desarrolló el Diseño de Experimentos (DOE) mediante superficie de respuesta definiendo las variables categóricas (Sistema de Calefacción, Sistema de Alumbrado), las variables continuas (Recorrido, Eleva Vidrios), las variables controlables (Aceleración, rpm, Velocidad, tiempo de recorrido), variables no controlables (Pendiente, Temperatura, Modos de conducción, Humedad Relativa) y la variable de respuesta (AUTONOMÍA)

En la caracterización de la ruta se consideraron ciertos parámetros que influenciarían en la toma de nuestros resultados, en las que se analizaron los posibles modos de conducción que se pueden generar por parte del conductor, también se seccionaron las



distancias respectivas para cada prueba en las que se detalla la variación de altura además se realizó una tabla de caracterización para las diferentes distancias de prueba en las que tiene los aspectos generales, intersecciones, tipos de movilidad, etc. También se analiza la altimetría que tiene cada una de las rutas 5km, 15km 25km respectivamente en la que cada una de ellas tiene cierto perfil de elevación que no le consideramos influyente en la adquisición de datos.

Para la adquisición de datos se realizó un protocolo de muestreo en que consta un registro de la conducción, condiciones iniciales del vehículo y el estado del sistema de calefacción, sistema de alumbrado, eleva vidrios y distancia a recorrer. También se utilizó el software EMOLab en la que se recolectaron los datos de porcentaje de aceleración, estado de carga (SOC), rpm, temperatura del motor, odómetro, velocidad, y tiempo. Estos datos nos sirvieron para obtener la autonomía consumida en km y analizar su comportamiento basados en el valor del estado inicial hasta el estado final de carga después de realizadas las pruebas también se pudo ver la distancia que se recorrió por cada prueba.

En el análisis de los resultados se modelo la relación que tiene los predictores continuos o categóricos y una respuesta para un posterior ajuste de la regresión, teniendo como resultado un análisis de la varianza que evalúa la importancia de los factores con respecto a la autonomía en diferentes estados de los factores categóricos y continuos. También obtuvimos un análisis de residuos que permite analizar que los datos adquiridos no presentan un orden de muestreo, patrones que definan el comportamiento y la inexistencia de valores atípicos. Con un análisis de la interrelación de las variables se define que el recorrido es la variable que mayor interrelación tiene con el sistema de calefacción, sistema de alumbrado y eleva lunas, por lo que se analizara el consumo que estos representen ante el estado de carga del vehículo eléctrico.

Para el Recorrido VS Eleva Vidrios se plantearon condiciones iniciales en las que se generaron los mismos consumos del SOC para el mismo recorrido independiente mente del estado de los vidrios, ya que con los vidrios cerrados, a media altura y abiertos, teniendo así: 0.30 %SOC/km con 5km, 0.31 %SOC/km con 15km y 0.45 %SOC/km con 25km. Teniendo una variación máxima es de 0.146 %SOC/km en esta interrelación.

En el Recorrido VS Sistema de Alumbrado se plantearon condiciones iniciales para cada uno de los cuatro estados de las luces (altas, medias, guías, off) obteniendo los



mismo valores de consumos de SOC para el mismo recorrido, obteniendo así los siguientes valores: 0.30 %SOC/km con 5km, 0.30 %SOC/km con 15km y 0.47 %SOC/km con 25km. Teniendo una variación máxima es de 0.17 %SOC/km en esta interrelación.

El consumo que muestra el Recorrido VS Sistema de Calefacción se plantearon condiciones iniciales en las que se generaron el mismo consumo del SOC para el mismo recorrido, obteniendo los siguientes valores: 0.30 %SOC/km con 5km, 0.30 %SOC/km con 15km y 0.44 %SOC/km para 25km. Para este caso se generó una variación de 0.14 %SOC/km.

Se obtuvo un consumo mediante la activación del sistema de alumbrado, con el sistema de calefacción activado y por obvias razones los vidrios totalmente cerrados en los tres recorridos para analizar el consumo que se genera con las luces altas, medias guías y apagadas. Al estar activados los sistemas mencionado se genera un consumo de 0.30 %SOC/km en los recorridos de 5km y 15km, aquí no existe variación de consumo independientemente del estado de las luces. Con un recorrido de 25km se observa que la activación de los estados del sistema de alumbrado se ve afectado directamente por la distancia, teniendo un consumo de 0.54 %SOC/km con una variación de 0.24% SOC/km con luces Altas, 0.42 %SOC/km con luces medias y 0.38 %SOC/km con las luces medias y apagadas. La variación que existe en 5 y 15km con respecto a los 25km es de: 0.24 %SOC/km en las luces altas, 0.12 %SOC/km en las luces medias y 0.08 %SOC/km con las luces guías y apagadas.



## Recomendaciones.

Se debe considerar el experimentar cómo se comporta la autonomía del vehículo con pruebas a nivel del mar, y compararlo con un vehículo a combustión, dichas pruebas pueden ser ejecutadas y comparadas en tiempo real para ver así la diferencia que tiene los dos sistemas

Se debe considerar la opción de utilizar otras herramientas para el proceso de datos es decir Lógica Difusa, Maquinas de Soporte Vectorial, Redes Neuronales; con la finalidad de reducir el error que se podrían generar al momento del muestreo, de esta forma garantizamos mayor confiabilidad en los resultados.

Realizar un convenio con talleres como KIA, TOYOTA, RENAULT, etc. en la que se pueda trabajar directamente en los problemas que presenten los vehículo eléctricos, de esta forma se podría dar mayor valides a los proyectos de titulación.

Para futuros estudios se recomienda realizarlos en el BUS ELÉCTRICO que hay en la ciudad de cuenca, de tal forma se busque rutas y condiciones en las que la autonomía pueda extenderse en base a las experiencias que se han adquirido en el la laboratorio realizando las pruebas en el VEHÍCULO ELÉCTRICO.

Se debería considerar la adecuación de un laboratorio en el que se pueda trabajar netamente en la mecánica de vehículos eléctricos.

Enfocar a temas de titulación en las que se busque recargar la batería con energías limpias como energía solar o eólica cuando el vehículo está circulando y que no solo se dependa del sistema de freno regenerativo.



## ANEXO A: Análisis de la Regresión

### Método

#### Codificación de predictores categóricos (1; 0)

##### *Análisis de Varianza*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
<b>Regresión</b>	6	8736,12	1456,02	624,15	0,000
<b>Eleva Luna</b>	1	0,23	0,23	0,10	0,755
<b>Recorrido</b>	1	8729,40	8729,40	3742,03	0,000
<b>Sistema</b>	1	3,16	3,16	1,35	0,245
<b>Calefacción</b>					
<b>Sistema</b>	3	3,33	1,11	0,48	0,699
<b>Alumbrado</b>					
<b>Error</b>	305	711,50	2,33		
<b>Falta de ajuste</b>	65	494,79	7,61	8,43	0,000
<b>Error puro</b>	240	216,71	0,90		
<b>Total</b>	311	9447,62			

##### *Resumen del modelo*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1,52735	92,47%	92,32%	92,10%



### *Coefficientes*

<b>Término</b>	<b>Coef</b>	<b>EE del coef.</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	<b>VIF</b>
<b>Constante</b>	-1,914	0,300	-6,38	0,000	
<b>Eleva Luna</b>	-0,00080	0,00255	-0,31	0,755	1,00
<b>Recorrido</b>	0,7786	0,0127	64,71	0,000	1,00
<b>Sistema de Calefacción</b>					
<b>Off</b>	-0,201	0,173	-1,16	0,245	1,00
<b>Sistema Alumbrados</b>					
<b>Guías</b>	-0,233	0,245	-0,95	0,342	1,50
<b>Medias</b>	-0,032	0,245	-0,13	0,897	1,50
<b>Altas</b>	-0,032	0,245	0,13	0,895	1,50

### *Ecuación de regresión*

<b>Sistema Calefacción</b>	<b>Sistema Alumbrado</b>	<b>Autonomía Consumida en Km</b>
<b>On</b>	Off	-1,914 - 0,00080 Eleva Luna + 0,7786 Recorrido
<b>On</b>	Guías	-2,146 - 0,00080 Eleva Luna + 0,7786 Recorrido
<b>On</b>	Medias	-1,945 - 0,00080 Eleva Luna + 0,7786 Recorrido
<b>On</b>	Altas	-1,881 - 0,00080 Eleva Luna + 0,7786 Recorrido
<b>Off</b>	Off	-2,115 - 0,00080 Eleva Luna + 0,7786 Recorrido
<b>Off</b>	Guías	-2,347 - 0,00080 Eleva Luna + 0,7786 Recorrido
<b>Off</b>	Medias	-2,147 - 0,00080 Eleva Luna + 0,7786 Recorrido
<b>Off</b>	Altas	-2,082 - 0,00080 Eleva Luna + 0,7786 Recorrido

### *Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes*

<b>Obs</b>	<b>Autonomía Consumida en Km</b>	<b>Ajuste</b>	<b>Residuo</b>	<b>Residuo est.</b>	
<b>3</b>	20,625	17,303	3,22	2,21	R
<b>16</b>	14,025	17,279	-3,254	-2,16	R
<b>28</b>	20,625	17,038	3,587	2,38	R
<b>57</b>	20,625	17,504	3,121	2,07	R
<b>58</b>	22,275	17,480	4,795	3,18	R
<b>67</b>	20,625	17,480	3,145	2,08	R
<b>83</b>	22,275	17,584	4,691	3,12	R
<b>89</b>	20,625	17,303	3,322	2,21	R
<b>91</b>	20,625	17,504	3,121	2,07	R
<b>96</b>	21,450	17,480	3,970	2,63	R
<b>130</b>	20,625	17,303	3,322	2,21	R
<b>171</b>	14,025	17,279	-3,254	-2,16	R
<b>180</b>	20,625	17,038	3,587	2,38	R
<b>263</b>	14,025	17,279	-3,254	-2,16	R
<b>264</b>	20,625	17,038	3,587	2,38	R
<b>302</b>	22,275	17,284	4,691	3,12	R



---

Residuo grande R

*Estadístico de Durbin-Watson*

Estadístico de Durbin-Watson = 1,84912



## Bibliografía

- [1] E. H. Wakefield, «HISTORY OF THE ELECTRIC AUTOMOBILE BATTERY-ONLY POWERED CARS», *SAE Spec. Publ.*, 1993.
- [2] S. de T. de Automoción, *El Vehículo Eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio*. Librooks, 2011.
- [3] Melissa García Ruíz, «Pasado Presente y Futuro de los VE.pdf», Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Tecnología Escuela de Tecnología Eléctrica, Pereira, 2015.
- [4] Santana Garcia Jorge, «Control-Del-Sistema-de-Traccion-de-Un-Vehiculo-Elctrico.pdf», Instituto Politécnico Nacional, Mexico, 2012.
- [5] «Energy efficiency». [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/>. [Accedido: 05-abr-2018].
- [6] «Gasolina vs Electricos», *Gasolina vs Electricos*. .
- [7] «2015 Kia Soul EV Review – WHEELS.ca». [En línea]. Disponible en: <https://www.wheels.ca/car-reviews/kia-soul-ev-2015-review/>. [Accedido: 14-mar-2018].
- [8] Kia, «Manual Usuario KIA SOUL EV.pdf». .
- [9] Juan Alfonso Martínez Gutiérrez, «VEHÍCULO ELÉCTRICO: ANÁLISIS Y PROSPECTIVA DE FACTORES TECNOLPOGICOS Y ECONÓMICOS», Universidad de Valladolid, 2013.
- [10] M. C. Andy, C. V. Mauricio, y M. M. Willan, «Diseño del Sistema de Freno Regenerativo de Automóviles Híbridos», vol. 37, n.º 2, p. 10, 2016.
- [11] B. Sarlioglu, C. T. Morris, D. Han, y S. Li, «Benchmarking of electric and hybrid vehicle electric machines, power electronics, and batteries», 2015, pp. 519-526.
- [12] «baterias\_plomo.pdf». [En línea]. Disponible en: [http://www.olajedatos.com/documentos/baterias\\_plomo.pdf](http://www.olajedatos.com/documentos/baterias_plomo.pdf). [Accedido: 14-mar-2018].
- [13] E. M. Piñeiro y A. P. Ruz, *El vehículo eléctrico y su infraestructura de carga*. Marcombo, 2013.
- [14] drones, «¿Cómo son las baterías de un dron? ¿Qué baterías se utilizan en un dron?», *Seguros para drones*, 24-jul-2017. [En línea]. Disponible en: <https://segurosparadrones.es/curso-gratis-drones-las-baterias-baterias-se-utilizan-dron/>. [Accedido: 14-mar-2018].
- [15] «Introducción a las baterías recargables para vehículos eléctricos Guia del Vehiculo Electrico II».



- [16] «LIFASA – Baterías, Condensadores, Analizadores, Alta tensión, Aparellaje baja tensión, Inverters, arrancadores, autómatas y HMI».
- [17] F.-A. LeBel, P. Messier, L. Pelletier, y J. P. Trovao, «Benefits of Regenerative Braking for an Electric Superbike Using Energetic Macroscopic Representation», p. 6.
- [18] Gonzalo, Casaravilla, «Hacia un Transporte Automotor Racional y Eficiente: Autos Híbridos y Eléctricos», Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, Motevideo, Uruguay, 2012.
- [19] «What is the difference between conventional braking and regenerative braking in automobiles? - Quora». [En línea]. Disponible en: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-conventional-braking-and-regenerative-braking-in-automobiles>. [Accedido: 14-mar-2018].
- [20] Kwo Young, Caisheng Wang, Le Yi Wang, and Kai Strunz, «Electric Vehicle Battery Technologies.pdf», New York, 2013.
- [21] C Iclodean1, B Varga, N Burnete, D Cimerdean, B Jurchiş, «Comparison of Different Battery Types for Electric.pdf». 2017.
- [22] Z. Younes, L. Boudet, F. Suard, M. Gerard, y R. Rioux, «Analysis of the main factors influencing the energy consumption of electric vehicles», 2013, pp. 247-253.
- [23] «Nueva enciclopedia del automovil Nro. 5 - Miguel de Castro Vicente - 8432911844». [En línea]. Disponible en: <http://www.etp.com.py/fichaLibro?bookId=57610>. [Accedido: 14-mar-2018].
- [24] «Diseño Estadístico de Experimentos», 14-mar-2018. [En línea]. Disponible en: [http://www.ugr.es/~bioestad/\\_private/cpfund3.pdf](http://www.ugr.es/~bioestad/_private/cpfund3.pdf). [Accedido: 14-mar-2018].
- [25] Badii, M.H, J. Castillo, M. Rodríguez, A. Wong & P. Villalpando, «Experimental designs and scientific research», UANL, Mexico.
- [26] Humberto Gutiérrez Pulido, Román de la Vara Salazar, *Análisis y Diseño de Experimentos*. McGraw Hill, 2008.
- [27] J. Restrepo, J. Rosero, S. Tellez, «Performance Testing of Electric Vehicles on.pdf», Medellin, Colombia, 2014.
- [28] «Garmin | ¿Qué es GPS?» [En línea]. Disponible en: <https://www8.garmin.com/aboutGPS/>. [Accedido: 16-mar-2018].
- [29] Garmin y G. L. or its subsidiaries, «GPSMAP 64», *Garmin*. [En línea]. Disponible en: <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/140020>. [Accedido: 16-mar-2018].
- [30] «Minitab17\_GettingStarted-es-es.pdf». .