

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE MATRIZ CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

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

PROYECTO TÉCNICO

“DETERMINACIÓN DE LA AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO
MEDIANTE CICLOS CONTROLADOS”

AUTORES:

DUQUE SARMIENTO DIEGO ANDRÉS.

ROCANO YUNGA JAIME ANDRÉS.

TUTOR:

GARCÍA TOBAR, MILTON OSWALDO. M. S C.

CUENCA - ECUADOR

Enero 2018

CESION DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Diego Andrés Duque Sarmiento, con documento de identificación N° 1900611003, y Jaime Andrés Rocano Yunga, con documento de identificación N°0105890487, expresamos nuestra voluntad y concedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación: "DETERMINACIÓN DE LA AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO MEDIANTE CICLOS CONTROLADOS", mismo que ha sido elaborado para optar por el título de: Ingeniería Mecánica Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos previamente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos conservamos 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.

Cuenca, enero del 2018



Diego Andrés Duque Sarmiento

1900611003



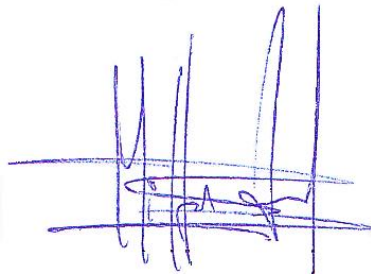
Jaime Andrés Rocano Yunga

0105890487

CERTIFICACION

Yo manifiesto que bajo mi tutoría fue elaborado el Trabajo de Titulación: "DETERMINACIÓN DE LA AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO MEDIANTE CICLOS CONTROLADOS", efectuado por los autores. Diego Andrés Duque Sarmiento y Jaime Andrés Rocano Yunga, obteniendo el Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero del 2018

A handwritten signature in blue ink, consisting of several vertical and horizontal strokes, positioned above the name of the tutor.

Ing. Milton Oswaldo García Tobar M. Sc.

0104282181

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Diego Andrés Duque Sarmiento, con documento de identificación N° 1900611003, y Jaime Andrés Rocano Yunga, con documento de identificación N° 0105890487, autores del proyecto de Titulación "DETERMINACIÓN DE LA AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO MEDIANTE CICLOS CONTROLADOS" certificamos que el completo contenido del Proyecto Técnico, son de nuestra única responsabilidad y autoría.

Cuenca, enero del 2018



Diego Andrés Duque Sarmiento

1900611003



Jaime Andrés Rocano Yunga

0105890487

AGRADECIMIENTO

Primero agradecer a Dios por mantenerme firme siempre, para así tener la capacidad de finalizar con éxito esta gran etapa de mi vida.

A mis padres, gracias porque siempre creyeron en mí y supieron entregarme el ánimo continuo para seguir adelante.

A mis dos hermanos David y Aarón que estuvieron junto a mí en todo momento y me apoyaron especialmente en nuestros momentos más difíciles.

Agradecer al Ing. Milton García, director de tesis, por darnos su confianza y apoyarnos con sus conocimientos para el desarrollo de este proyecto técnico.

Diego Andrés Duque Sarmiento

AGRADECIMIENTO

Esto no lo hubiese podido lograr por lo que, agradezco a Dios por haberme brindado la fuerza y salud para culminar una etapa más en mi vida.

A mis padres, especialmente a mi madre que siempre ha estado brindándome su confianza y apoyo incondicional.

A mis hermanos quienes siempre me brindaron su apoyo.

Agradecimiento al Ing. Milton García, por apoyarnos para la culminación de este proyecto.

Al Ing. Adrián Sigüenza por su ayuda para el desarrollo de este proyecto.

Rocano Yunga Jaime Andrés

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, a mi padre Luis Duque, a mi madre Nancy Sarmiento y a mis dos hermanos David y Aarón Duque quienes siempre me apoyaron incondicionalmente en cada momento de mi vida universitaria, sabiendo guiarme y acompañarme.

A mi novia Katherine Báez, quien siempre me brindó su apoyo aún en la distancia

De igual forma dedico este trabajo a mi querido Abuelo Luis Amable Duque que desde el cielo siempre me acompaña.

Y especialmente, dedico este trabajo a mi hijo MATEO ANDRÉS quien es mi más grande motivación.

Diego Andrés Duque Sarmiento

DEDICATORIA

El siguiente trabajo dedico a Dios.

A mi padre y especialmente a mi querida madre Roció Yunga por brindarme su apoyo incondicional en todo momento, por inculcarme sus valores y brindarme sus consejos.

A mis hermanos: Paola, Valentina y Mateo por brindarme su apoyo en cada momento.

Rocano Yunga Jaime Andrés

RESUMEN

El presente proyecto consiste en la determinación de la autonomía del vehículo eléctrico por medio de ciclos de conducción homologados como NEDC (Europeo) y EPA (Americano).

Estos ciclos fueron simulados en un banco dinamométrico con diferentes parámetros de velocidades máximas, paradas por semáforo, tiempos de recorrido en calles urbanas y extraurbanas, etc. Con estos datos, se realizó un análisis experimental, donde se determinaron los factores que afectan directamente a la autonomía del vehículo eléctrico.

Mediante el software EMOLab 2.0.1, se adquirieron datos mediante las pruebas realizadas en el banco, y de esta manera obtener la base de datos de la cual se logró obtener las variables que más inciden en la autonomía del vehículo eléctrico por medio de un análisis estadístico, obteniendo las siguientes variables: corriente de descarga, energía de descarga, tiempo de operación, temperatura del motor y odómetro.

Para la obtención del modelo matemático se aplicó una regresión, con la cual se obtuvo una ecuación, que describe el comportamiento de la autonomía del vehículo eléctrico en cada ciclo.

Al evaluar las variables obtenidas en la ecuación de cada ciclo y comparar con la autonomía teórica, se obtuvo un error menor que el $\pm 5\%$, consiguiendo de esta forma generar una confiabilidad en el mismo, con lo que se valida las ecuaciones obtenidas.

SUMMARY

The present project consists in the determination of the autonomy of the electric vehicle through homologated driving cycles as NEDC (European) and EPA (American).

These cycles were simulated in a dynamometer with different parameters of maximum speeds, stops by traffic lights, travel times in urban and extra-urban streets, etc. With these data, an experimental analysis was performed, where variables that directly affect the electric vehicle autonomy were determined.

With the EMOLab 2.0.1 engineering software, they were acquired the data through tests performed at the bank, and in this way obtain the database from which it was possible to obtain the variables that most affect autonomy of the electric vehicle by means of a statistical analysis, obtaining the following variables: discharge current, discharge energy, operation time, engine temperature and odometer.

To obtain the mathematical model a regression was applied, with which an equation was obtained, that describes the behavior of the autonomy of the electric vehicle in each cycle.

When evaluating the obtained variables in the equation of each cycle and compare with theoretical autonomy, an error of less than $\pm 5\%$ was obtained, getting in this way to generate a reliability in it, which validates the obtained equations.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CESION DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
CERTIFICACION	ii
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN	viii
SUMMARY	ix
INDICE DE FIGURAS.....	xii
INDICE DE TABLAS	xiv
PROBLEMA.....	xvii
OBJETIVOS	xvii
<i>Capítulo 1</i>	1
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.	1
1.1. VEHÍCULO ELÉCTRICO.	1
1.1.1. Definición del vehículo eléctrico.	1
1.1.2. Componentes principales de un vehículo eléctrico.	1
1.1.3. Funcionamiento del vehículo eléctrico.	2
1.1.4. Tipos de Vehículos Eléctricos.....	3
1.1.5. Características de los vehículos eléctricos.	3
1.1.6. Características de los vehículos híbridos.	3
1.1.7. Recarga de los vehículos eléctricos.....	5
1.1.8. Estaciones de servicio eléctricas.	6
1.2. CICLOS HOMOLOGADOS.	6
1.2.1. Ciclo NEDC (New European Driving Cycle).	7
1.2.2. Ciclo FTP-75.	9
<i>Capítulo 2</i>	11
METODOLOGIA.....	11
2.1. METODOLOGÍA	11
2.1.1. Elementos a utilizar en las pruebas.	11
2.1.2. Obtención de la autonomía.	15
2.1.3. Método de medición del consumo de energía eléctrica.	16
2.1.4. Método de ensayo.	20
2.2. PROTOCOLO DE PRUEBAS	20
2.2.1. Ciclo NEDC.	20
2.2.2. Ciclo EPA.	21
<i>Capítulo 3</i>	24
OBTENCIÓN DE DATOS MEDIANTE SOFTWARE EMOLAB.	24
3.1. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE EMOLAB 2.0.1	24
3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS	25
3.3. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA PARA LA OBTENCION DE LA AUTONOMIA DEL VEHICULO ELECTRICO.....	26

3.3.1. Variables	26
3.3.2. Análisis de correlación de Pearson.....	27
3.3.2.1. Correlación del producto de Pearson	27
Capítulo 4.....	30
ESTUDIO E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	30
4.1. ESTUDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA DETERMINACION DE LA AUTONOMIA.	30
4.1.1. Regresión múltiple	30
4.1.1.1. Estudio de residuos	31
4.1.1.2 Estudio de aleatoriedad.....	33
4.1.1.3. Grafica de efectos principales	33
4.1.1.4. Estudio de efectos cruzados	34
4.1.1.5. Estudio de la autonomía (y) frente a las variables independientes (x)	37
4.2. OBTENCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	39
4.3. VALIDACIÓN DEL MODELO.....	40
4.3.1. Autonomía teórica.....	40
4.3.2. Calculo de la Autonomía con el ciclo Nedc.....	40
4.3.3. Calculo de la Autonomía con el ciclo EPA.	41
4.4. COMPARACIÓN DE LA AUTONOMÍA TEÓRICA CON LA OBTENIDA EN CADA CICLO.	41
4.4.1. Ciclo Nedc:	41
4.4.2. Ciclo EPA:	42
4.5. EFECTO INCREMENTAL DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES.....	42
4.6. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA AUTONOMÍA VS LAS VARIABLES MAS INFLUYENTES	43
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES.....	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Coche eléctrico.....	2
Figura 2: Estructura del vehículo eléctrico.....	4
Figura 3: Ciclo Urbano NEDC	8
Figura 4: Ciclo Extraurbano NEDC	8
Figura 5. Ciclo Combinado NEDC.....	9
Figura 6: Ciclo EPA	10
Figura 7: Elementos principales del vehiculo electrico	11
Figura 8: Metodos de carga	13
Figura 9: Meza de Comunicación.....	13
Figura 10: Secuencia de prueba.....	16
Figura 11: Ciclo urbano.....	17
Figura 12. Ciclo por carretera	19
Figura 13: Software Emolab 2.0.1	24
Figura 14: Variables que inciden en el ciclo homologado Nedc.	28
Figura 15: Variables que inciden en el ciclo EPA.....	29
Figura 16: Entrada de Variables de Respuesta y Predictores	31
Figura 17: Estudio de residuos ciclo NEDC.....	32
Figura 18: Estudio de residuos ciclo EPA.	33
Figura 19: Efectos principales del ciclo Nedc.	34
Figura 20: Efectos principales del ciclo EPA.	34
Figura 21: Estudio Efectos Cruzados ciclo Nedc.....	35
Figura 22: Estudio Efectos Cruzados ciclo EPA.	36
Figura 23: Estudio de autonomía vs las variables independientes.....	37
Figura 24: Estudio Autonomía vs las Variables Independientes del ciclo Nedc.	38
Figura 25: Estudio de la autonomía vs las variables independientes ciclo EPA.	38
Figura 26: Estudio Autonomía vs las Variables Independientes ciclo EPA.....	38
Figura 27: Efecto incremental de las variables independientes del ciclo Nedc.	42
Figura 28: Efecto incremental de las variables independientes del ciclo EPA.....	43
Figura 29: Comportamiento Corriente de descarga vs Autonomía ciclo Nedc.	43
Figura 30. Comportamiento Energía de descarga vs Autonomía ciclo Nedc.	44
Figura 31. Comportamiento Temperatura motor vs Autonomía ciclo Nedc.	44

Figura 32. Comportamiento Odómetro vs Autonomía ciclo Nedc.	45
Figura 33. Comportamiento Corriente de descarga vs Autonomía ciclo EPA.	45
Figura 34. Comportamiento Energía de descarga vs Autonomía ciclo EPA.	46
Figura 35. Comportamiento Temperatura motor vs Autonomía ciclo EPA.	46
Figura 36: Comportamiento Odómetro vs Autonomía ciclo EPA.....	47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ciclo urbano Homologado	17
Tabla 2. Recapitulación del ciclo Homologado	18
Tabla 3. Ciclo por carretera.....	19
Tabla 4. Recapitulación del ciclo por carretera.....	20
Tabla 5. Parámetros, unidades y precisión de las mediciones	20
Tabla 6: Variables del software EMOLab 2.0.1.....	25
Tabla 7: Variables del análisis	26
Tabla 8 . Estudio Estadístico correlación Pearson del ciclo Nedc.	28
Tabla 9. Estudio Estadístico correlación Pearson de ciclo EPA	29
Tabla 10. Variables Dependientes vs Variables Independientes ciclo NEDC.....	39
Tabla 11. Variables Dependientes vs Variables Independientes ciclo EPA.	39
Tabla 12. Valores para la ecuación teórica:	40
Tabla 13. Valores tomados de la base de datos ciclo Nedc.....	40
Tabla 14. Valores tomados de la base de datos ciclo EPA.	41

GLOSARIO DE TÉRMINOS

SOC [%]: Indica el porcentaje de carga de la batería.

Cumulative Discharge Current [Ah]: Corriente de descarga de la batería.

Cumulative Operating Time [Sec]: Tiempo de operación del vehículo eléctrico.

Cumulative Discharge Energy [kWH]: Energía de descarga.

Odometer [Km]: Indica el kilometraje del vehículo.

INTRODUCCION

La autonomía que generan las baterías es el principal factor que limita el desarrollo del vehículo eléctrico, las previsiones muestran que en un plazo de 15 a 20 años, los vehículos de gama media tendrán una autonomía de 300-400 kilómetros, además, el litio la materia prima para la elaboración de las baterías existe en pocos países como Chile, Bolivia, y Afganistán lo cual crea un inconveniente en el crecimiento de este modelo de energía.

El prolongado tiempo que expone el desarrollo de la autonomía del vehículo eléctrico, es un incentivo el desarrollar este estudio, y de esta manera conocer el porqué de los obstáculos del desarrollo en este campo.

El siguiente proyecto de titulación, tiene por meta la determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos de conducción homologados, ésta investigación se ha apoyado en un diseño experimental, examinando cada uno de los factores que más inciden en el consumo de la energía eléctrica, esto mediante el análisis estadístico con el método del producto de correlación de Pearson, consiguiendo así las siguientes variables más influyentes: corriente de descarga (Ah), energía de descarga (Kwh), tiempo de operación (s), temperatura del motor (°C), odómetro (Km).

Esta investigación se fundamenta en el funcionamiento del vehículo eléctrico basándose en dos ciclos de conducción homologados: NEDC (New European Driving Cycle) y el EPA (Environmental Protection Agency), estos ciclos son tomados en cuenta ya que son los más relevantes, además son útiles para determinar los consumos de energía eléctrica del vehículo.

Finalmente para el cálculo de la autonomía del vehículo eléctrico se utilizara los factores que más inciden en el consumo de la energía eléctrica y se aplicó el análisis estadístico (regresión) para obtener un modelo matemático, para luego ser validado.

PROBLEMA

La desventaja que tiene el vehículo eléctrico frente al vehículo a combustión, es su baja autonomía, además, su proceso de carga es lento. Para obtener 200 Km de autonomía, se precisa de un tiempo de 1 hora con 6 minutos en carga rápida y de 24 horas 21 minutos en carga lenta de las baterías, frente a un vehículo de combustión que permite ejecutar el recorrido de 600 Km de autonomía cargando el depósito de combustible en tan solo 5 minutos. (Castaño, 2016)

El conflicto se encuentra en que existen varios parámetros que inciden en la autonomía tales como: condiciones climáticas, velocidad, carga, aerodinámica, neumáticos, modo de conducción. Por lo tanto, la aleatoriedad de estos factores, son un problema en el control de las condiciones de pruebas del vehículo para la validación de los ciclos homologados.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar el comportamiento del vehículo eléctrico mediante ciclos de conducción homologados para la obtención de su autonomía.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Buscar información bibliográfica de los ciclos de conducción homologados y vehículo eléctrico.
- Definir los factores que intervienen en el VE, mediante análisis estadísticos y correlación de variables para la obtención de la base de datos.
- Establecer parámetros de acuerdo a los ciclos de conducción homologados para ejecución de las pruebas experimentales.
- Adquirir la base de datos mediante las pruebas experimentales en el software Emolab para su posterior análisis.
- Aplicar la metodología del diseño experimental en la base de datos para la obtención de resultados.
- Analizar los resultados obtenidos mediante normativas homologadas para la validación de la autonomía del VE.



Capítulo 1

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.

1.1. VEHÍCULO ELÉCTRICO.

1.1.1. Definición del vehículo eléctrico.

El vehículo eléctrico usa la energía química acumulada en las baterías recargables, este se propulsa con la fuerza que produce un motor suministrado por energía eléctrica, estos motores se pueden instalar en un sistema eléctrico para poder recargar las baterías mientras este detenido.

El motor eléctrico convierte la energía eléctrica en energía mecánica por medio de por medio de la actuación de los campos magnéticos, el cual posee en su parte interior un elemento conductor que tiende a moverse dentro del campo magnético.

Estos motores presentan varias ventajas frente a los de combustión, iniciando por un menor tamaño, peso y una mayor sencillez. El uso de estos motores aporta ventajas desde el punto de vista del medio ambiente, ya que permite disminuir el nivel de emisiones de CO₂ a la atmósfera.¹

1.1.2. Componentes principales de un vehículo eléctrico.

Los elementos principales de un vehículo eléctrico son los siguientes:

¹ S. T. Automotrices, El vehiculo Electrico, 2011.



Cargador

Es un elemento importante que utiliza la electricidad de forma alterna principalmente desde la red y la convierte en corriente continua, para de esta manera cargar la batería principal.

Batería

La batería tiene como finalidad principal ser la fuente de energía y mantener continuamente alimentado al vehículo. Las batería de los vehículos electricos es muy importante ya que dependiendo del tipo y el tamaño de esta depende su precio y autonomía.

Inversores

Los inversores tienen como finalidad invertir la corriente de continua a alterna para así suministrar esta energía al vehículo.

1.1.3. Funcionamiento del vehículo eléctrico.

El vehículo eléctrico tiene principalmente un motor eléctrico instalado en el eje de las ruedas para transformar la energía cinética de estas en electricidad y de esta manera cargar la batería por medio del freno regenerativo. Es importante tomar en cuenta que los vehículos eléctricos con un motor se adecuan mejor al diseño convencional, con esto se obtiene un motor más potente, pese a que estos poseen algunas pérdidas de eficiencia por fricción, en cambio los vehículos con motores independientes en cada rueda, impide tener pérdidas de transmisión.

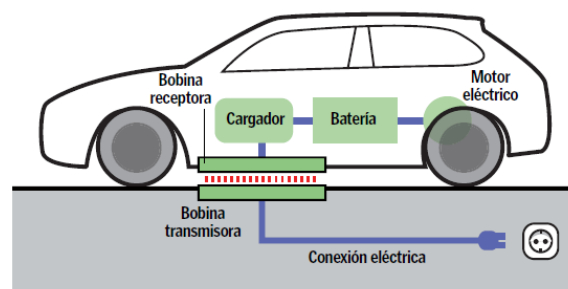


Figura 1: Coche eléctrico
Elaboración: S. T. Automotrices

El vehículo eléctrico posee un sistema de tracción eléctrico el mismo que cuenta con un controlador que acumula la energía de la batería y la envía al motor eléctrico. La velocidad del vehículo eléctrico se genera por la energía obtenida al vincular el controlador con el acelerador del vehículo. La creación del vehículo eléctrico está especialmente dada para entornos urbanos debido al tráfico vehicular.



1.1.4. Tipos de Vehículos Eléctricos.

Los vehículos eléctricos se dividen en dos grupos: los vehículos eléctricos y los vehículos híbridos, se utilizará el término VE para cualquier clase de vehículo eléctrico, se descarta aquellos vehículos autónomos implementados de condensadores, pila de combustible, o placas fotovoltaicas.

1.1.5. Características de los vehículos eléctricos.

Desde el punto de vista mecánica de los componentes, los vehículos eléctricos son más sencillos que los de combustión interna, ya que posee un dispositivo de abastecimiento de energía que suministre el motor eléctrico. Los motores utilizados en la fabricación de vehículos eléctricos han abarcado las diferentes tecnologías existentes, tanto de corriente continua como de alterna.

Los motores asíncronos se han establecido como los más óptimos para la movilidad eléctrica tanto por su robustez y su fácil mantenimiento.

Técnicamente el principal inconveniente que presentan estos vehículos es su autonomía limitada, la cual oscila entre los 80 y los 200 km, mientras que la principal ventaja que tiene el vehículo eléctrico es la independencia del petróleo como fuente de energía y la eliminación de las emisiones contaminantes.

1.1.6. Características de los vehículos híbridos.

Los vehículos híbridos, son una fusión de los vehículos eléctricos y convencionales, los cuales constan de dos motores: motor eléctrico y combustión interna. Al tener un motor de combustión la autonomía del vehículo ya no es un problema debido a su facilidad de abastecimiento de combustible, mientras que al tener un motor eléctrico, entrega mayor eficiencia energética, ahorro de combustible y menor contaminación.

Estos vehículos presentan una considerable característica frente a los vehículos híbridos convencionales siendo la posibilidad de recargar las baterías mediante el motor de combustión y también mediante la conexión a la red eléctrica.

Vehículo híbrido en serie: en estos vehículos, el motor de combustión es solidario a un generador que convierte la energía mecánica generada por la combustión del combustible en energía eléctrica. El generador, está instalado a un motor eléctrico y a un sistema de baterías que aportan energía a cualquiera de los dos. En este sistema, el motor eléctrico es el



encargado de la tracción del vehículo, mientras que el motor de combustión proporciona la energía necesaria.

Vehículo híbrido en paralelo: en este tipo de vehículos híbridos, el motor eléctrico como el de combustión está unido a la transmisión, por lo que ambos pueden impulsar las ruedas motrices. De forma el híbrido en serie y el híbrido en paralelo puede operar de las siguientes maneras:

- **Modo totalmente eléctrico:** el vehículo se mueve solamente por acción del motor eléctrico y esta energía es entregada por las baterías. Esta operación queda reservado para demandas de poca potencia.
- **Modo combinado:** los dos motores trabajan al mismo tiempo impulsando las ruedas motrices, siendo capaz de operar en situaciones de alta demanda de potencia gracias a la acción combinada.
- **Frenada regenerativa:** En desaceleración o frenada la energía obtenida es enviada por el motor eléctrico hacia las baterías para su acumulación y posterior utilización.

Una ventaja significativa frente a los vehículos híbridos en serie es que trabajen ambos motores al mismo tiempo, reduciendo la potencia como las dimensiones de estos.

Vehículo híbrido en mixto: los vehículos híbridos mixtos tienen una configuración interna que permiten el funcionamiento en serie o en paralelo, según la demanda de potencia, el rendimiento y las condiciones de funcionamiento.

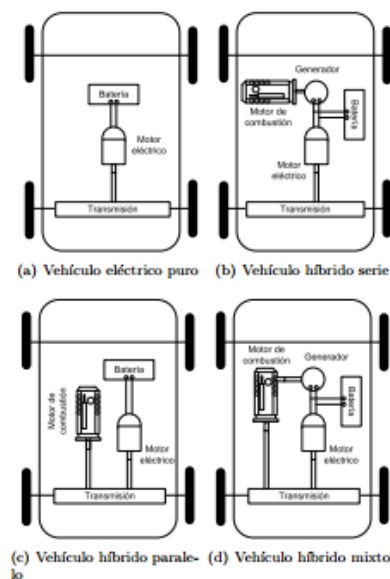


Figura 2: Estructura del vehículo eléctrico
Elaboración: S. T. Automotrices



1.1.7. Recarga de los vehículos eléctricos.

La recarga es un proceso que va desde minutos hasta horas. La principal ventaja de los vehículos eléctricos es recargarlos en la noche, cuando la demanda energética es muy baja, para utilizar mejor la potencia generada en un país.

Durante el proceso de carga, con ayuda de ventiladores las baterías se conservan a una temperatura controlada. El tiempo de carga depende del amperaje y voltaje, una toma doméstica no admite una recarga rápida. Cuanto más vacías están las baterías, más rápido se recargan. Cuanto más llenas, más cuesta que se llenen.

Es decir, la primera mitad de carga es rápida, mientras que la otra mitad se demora en cargar. Si el vehículo no se usa en días, va perdiendo la carga por limitaciones electroquímicas, y si hace frío se descarga más rápido.

Puntos de recarga

La capacidad limitada de las baterías en los vehículos eléctricos hace que la recarga de energía sea más estrictas en los VE que en los vehículos de combustión interna. La introducción del vehículo eléctrico no es únicamente un cambio tecnológico, sino que además, conlleva un cambio en el comportamiento de los usuarios. La recarga del vehículo es un factor decisivo en la planificación de viajes, trayectos y tiempos, por lo que es importante tener una amplia red de abastecimiento capaz de satisfacer las necesidades de los usuarios.

El vehículo eléctrico necesita de una fuente de suministro para su recarga. Los puntos de recarga necesitan la potencia requerida que deberá ser variable dependiendo de varios parámetros como son: la potencia, la franja horaria de recarga, las incidencias en la red, los perfiles de recarga del usuario, entre otros.

Según los perfiles de los usuarios los puntos de recarga se podría clasificar en los siguientes parámetros:

- Vías públicas
- Parqueaderos eléctricos
- Resistencias individuales o colectivas
- Estaciones de servicio eléctricas (electrolineras).

Recarga en Vías Públicas.



La recarga en la vía pública, brinda facilidad a los propietarios de los vehículos eléctricos en alcanzar a la recarga de su vehículo en el transcurso de su trabajo o paseo familiar, obteniendo una mayor autonomía disponible.

La recarga en la vía pública, debe ser entregada como un complemento en caso de necesidad. Hay que tener en cuenta que el vehículo eléctrico tarda en cargarse 8 horas aproximadamente y a más de esto, siempre habrá más de un usuario que requiera recargar su batería.

Recarga en Parqueaderos eléctricos

Tomando en cuenta la movilidad sostenible y que cada vez los medios de transporte crecen más y de forma satisfactoria, al ofrecer a los usuarios comodidad y rapidez; la opción más factible, son los parqueaderos eléctricos públicos y privados que son adecuados mientras los vehículos no están siendo usados.

Recarga en residencias Privadas

Es la más importante debido a que la mayoría de los usuarios guardan el vehículo en su residencia y en especial por las noches, donde el vehículo estará unas 10 horas detenido y es cuando la opción de recargar su vehículo resulta beneficiosa.

1.1.8. Estaciones de servicio eléctricas.

Una construcción de este tipo debe contar con al menos dos estaciones de carga que permitan la carga simultánea de los vehículos. En los vehículos eléctricos, la autonomía es uno de los principales impedimentos para su comercialización masiva. Teniendo en consideración que la autonomía promedio de un vehículo eléctrico es de aproximadamente 200 a 300 km; por lo que es importante para un propietario de estos vehículos, el acceso a una recarga en un plazo de tiempo asumible.²

1.2. CICLOS HOMOLOGADOS.

El fabricante de un vehículo eléctrico entrega el dato de autonomía, este dato se refiere a los ciclos de homologación de pertenencia al mercado en el que se pondrá a la venta. Los más habituales son el ciclo NEDC (New European Driving Cycle) y el EPA (Environmental Protection Agency).

² R. E. y. d. V. Electrico, «EVWIND,» [En línea].



Cada que un vehículo se pone a la venta, siempre este indica sus consumos en l/100 km o su autonomía en Kilómetros. Estos datos se realizan todos en condiciones iguales, en un laboratorio, y sobre un banco dinamométrico que imita la circulación real del vehículo.

Los ciclos homologados valen para establecer los consumos de combustible y la energía eléctrica del vehículo, esto con la meta de su comercialización en el mercado automotriz.

Es decir los ciclos son una prueba donde se circula rutas donde se registran consumos de combustible y energía eléctrica del vehículo, además tienen un protocolo a seguir donde existen velocidades, paradas, distancias a recorrer, las cuales son aplicadas por un conductor al vehículo.

1.2.1. Ciclo NEDC (New European Driving Cycle).

Es una normativa de homologación estandarizada en la cual se basan los vehículos que se van a comercializar en este continente. Las pruebas se efectúan a vehículos inferiores a 3000 Kilómetros, las cuales se realizan en laboratorios propios de cada casa automotriz.

Esta prueba se tiene que efectuar dentro de un laboratorio especial donde no exista viento, además la temperatura ambiente se debe encontrar entre los 20° y 25°. Los sistemas que consumen energía al vehículo deben estar apagados como luces, aire acondicionado, luz de salón, calefacción, radio, etc. El vehículo debe haber descansado 7 horas su funcionamiento para que la prueba de arranque en frío sea valedera.

La FIA impuso estas condiciones, las cuales son muy difíciles de reproducir por el usuario, en donde el conductor profesional no incide ni su estado ni su forma de conducir, ya que estas pruebas son muy estrictas en tiempos, velocidades y paradas.

El ciclo homologado NEDC se divide en dos partes, ciclo urbano y extraurbano.

Ciclo Urbano

El ciclo urbano posee contempla consideraciones importantes como periodos de velocidad (15km/h, 35 Km/h, y 50 Km/h) y ralentí, desaceleraciones, aceleraciones. Todo se realiza con el objetivo que la prueba sea lo más similar a la conducción que se realiza en la ciudad. La velocidad punta que se ejecuta es de 50 Km/h, además un promedio de velocidad de 19 Km/h y una distancia total recorrida de 4 kilómetros. El ciclo urbano posee un tiempo de 3 minutos y 20 segundos y se lo repite 4 veces.

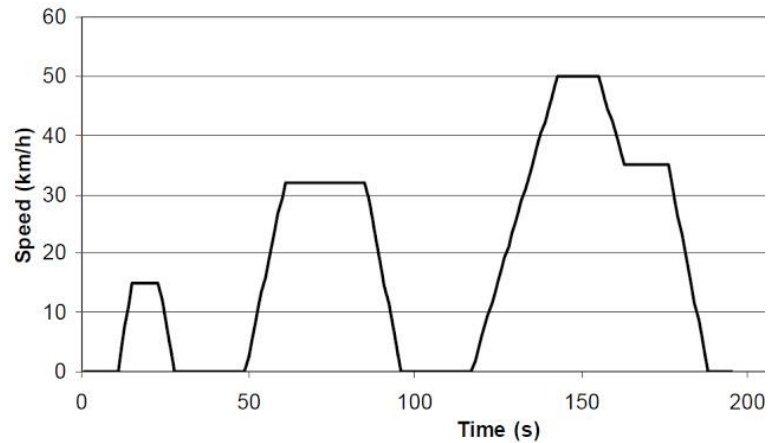


Figura 3: Ciclo Urbano NEDC
Elaboración: A. Ávila

Ciclo Extraurbano

El ciclo extraurbano se lo ejecuta después del ciclo urbano, el cual tiene periodos constantes (50 km/h, 70 km/h, 100 km/h y 120 km/h), donde se realizan desaceleraciones, aceleraciones, y ralenti. La velocidad punta que se realiza en este ciclo es de 120 km/h, y un promedio de velocidad de 63 km/h, este ciclo se lo ejecuta en un tiempo de 6 minutos y la distancia recorrida es de 7 kilómetros.

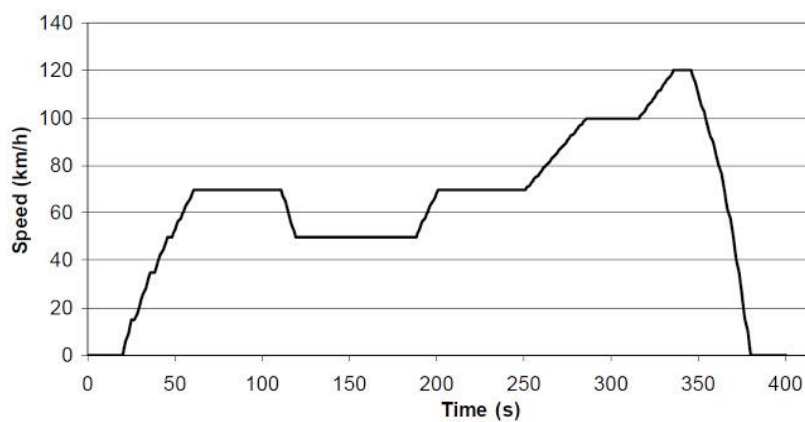


Figura 4: Ciclo Extraurbano NEDC
Elaboración: A. Ávila

Consumo del Ciclo NEDC

El tiempo de duración total del ciclo NEDC es de 20 minutos, exactamente 1220 segundos. En donde el comienzo de la prueba con el motor apagado tiene una duración de 40 segundos, después 1180 segundos con el vehículo prendido. Y finalmente, se alcanza un recorrido sobre el banco Dinamométrico de 11 Kilómetros con una velocidad promedio de 33 Km/h.

La prueba se la realiza en 2 partes, en total son 1180 segundos.



- El test de consumo urbano, se la ejecuta en los primeros 780 segundos recorriendo una distancia de 3976 metros con una velocidad promedio de 18 Km/h.
- El test de consumo extraurbano, se la realiza en 400 segundos recorriendo una distancia de 6956 metros con una velocidad promedio de 62 km/h.

Por último la suma de ambos test se conseguira el ciclo combinado, obteniendo datos de consumo y distancia total de la prueba.

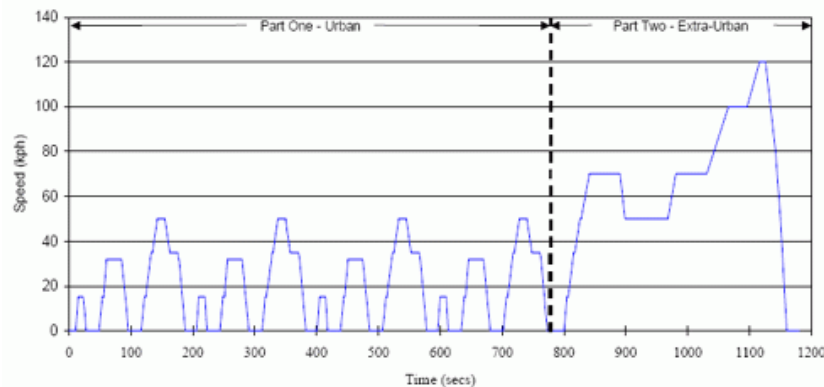


Figura 5. Ciclo Combinado NEDC
Elaboración: A. Ávila

La figura 5 nos indica el ciclo NEDC combinado. Donde el eje vertical en Km/h nos muestra la velocidad que alcanza el vehículo mientras que el eje horizontal es el tiempo en segundos. También se puede observar en la parte superior las velocidades y aceleraciones que se ejecutan en el test del ciclo.

1.2.2. Ciclo FTP-75.

Este ciclo es conocido también como ciclo EPA, en EEUU el ciclo FTP-75 es el método para homologar el consumo de los vehículos, siendo la EPA el organismo que legaliza dicho procedimiento. El ciclo FTP-75 se divide en dos partes, al igual que el ciclo europeo, la medición urbana y extraurbana.

La medición urbana se ejecuta en 3 partes, que son: arranque en frío, fase transitoria y arranque en caliente. La primera y última fase son iguales, la única diferencia, es que en la última el motor se encuentra caliente. Entre la fase transitoria y la final, se deja el motor en ralentí por 10 minutos.

Esta fase contiene una distancia de 17 Km, con un tiempo de duración de 32 minutos, cuyos máximos picos de velocidad son 88 km/h y el promedio de velocidad de 34 km/h.

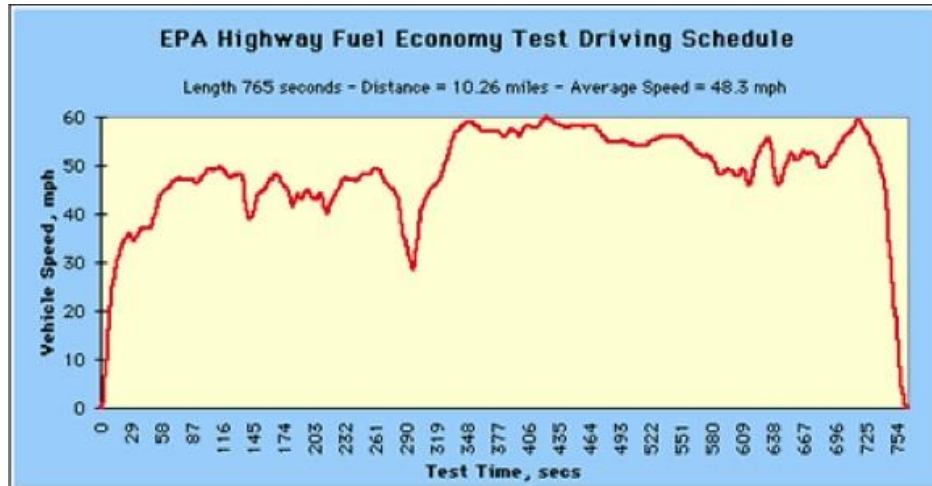


Figura 6: Ciclo EPA
Elaboración: A. Ávila

La fase extraurbana, inicia con el motor caliente, y a lo largo de 13 minutos se ejecutan aceleraciones, deceleraciones y períodos de velocidad constante, donde nunca se sobrepasa los 95 km/h, simulando así la conducción por autopistas y carreteras interurbanas.

1.2.2.1. Factores que intervienen en la prueba

En los test a realizar en los ciclos es importante tomar en cuenta los siguientes factores:

- Conductores profesionales.
- No se mantienen encendidos sistemas innecesarios como calefacción, aire acondicionado, luces, radio, etc.
- Los test se ejecutan en condiciones ideales.

1.2.2.2. Banco Dinamométrico.

Es una herramienta de gran utilidad en talleres y centros tecnológicos de mecánica del automóvil. Su principal utilidad es obtener la potencia y el par en función del régimen de giro del motor del vehículo. El banco también posee un mecanismo elevador accionado automáticamente que, junto con un sistema de freno – bloqueo de los rodillos, proporciona el acceso y salida del vehículo al banco.



Capítulo 2

METODOLOGIA

2.1. METODOLOGÍA

Para poder elaborar el ciclo de conducción, se emplea el software del grupo de investigación Emolab para la obtención de los datos y su posterior análisis, mientras que en el banco dinamométrico, se simulará los ciclos de conducción.

Para el análisis se utilizara el método de inducción y deducción, ya que esta metodología determina que mientras más pruebas se ejecuten, la obtención de la base de datos llega a ser más confiable después del proceso experimental.

2.1.1. Elementos a utilizar en las pruebas.

Vehículo eléctrico

Componentes principales

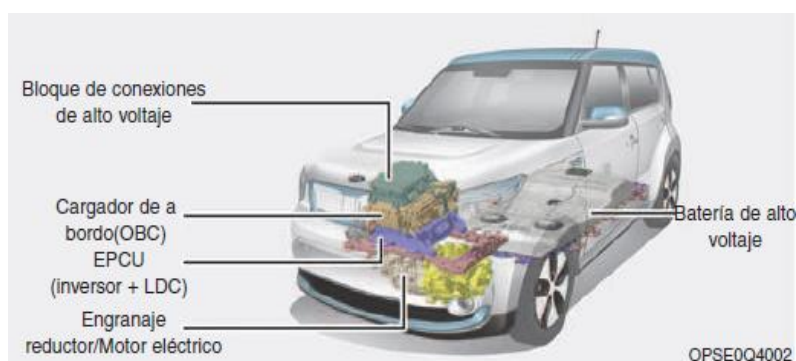


Figura 7: Elementos principales del vehículo eléctrico

Elaboración: K.M. CORP

- **Sistema de alto voltaje:** este sistema abastece de voltaje de la batería a los siguientes elementos: calefactor PTC, al compresor del aire acondicionado, inversor LCD.



- **Cargador de batería:** elemento externo para cargar la batería de alto voltaje.
- **Inversor:** la tarea de un inversor es de modificar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje de corriente alterna para producir la carga de la batería de alto voltaje.
- **LDC:** transforma el voltaje del acumulador de energía que se suministrara al vehículo.
- **Motor eléctrico:** este motor eléctrico envía la energía necesaria para el funcionamiento del vehículo eléctrico.
- **Batería de alta tensión:** esta acumula y suministra la electricidad útil para el funcionamiento del vehículo eléctrico (equipamiento del vehículo, como las luces y los limpiaparabrisas).

Tipos de Carga para el vehículo Eléctrico

- **Carga normal:** La carga normal es útil para cargar el vehículo de forma habitual. Esta necesita unas 5 horas a temperatura ambiente para lograr la carga al 100%.
- **Carga rápida:** esta carga permite que el vehículo pueda cargarse rápidamente en estaciones de carga públicas. En este tipo de carga, la eficiencia de la batería pueden verse deteriorados si la carga rápida se aplica continuamente. Para alargar la vida útil de la batería de alto voltaje, se puede reducir las aplicaciones de carga rápida. Y requiere unos 33 minutos a temperatura ambiente. Si se carga de nuevo la batería, después de una carga rápida inicial al 84%, se cargará al 95%. Esto Requerirá un tiempo de 15 minutos extras.
- **Carga de mantenimiento:** esta carga utiliza la energía domestica cuando no se puedan utilizar las otras cargas antes mencionadas. Requiere unas 14 horas a temperatura ambiente. Permite la carga al 100%.

Categoría	Entrada de carga (vehículo)	Conector de carga	Salida de carga	Método de carga	Tiempo de carga
Carga normal				Use el cargador normal instalado en su hogar o en una estación de carga pública.	Aprox. 5 horas (temperatura ambiente) (puede cargar al 100%)
Carga rápida (opcional)				Use el cargador rápido de una estación de carga pública	Aprox. 33 min (50 kW, temperatura ambiente) (puede cargar al 83%)
Carga de mantenimiento				Use la electricidad doméstica	Aprox. 14 horas (230V-10A: 14 horas, 230V-8A: 18 horas, temperatura ambiente) (Permite la carga al 100%.)

Figura 8: Metodos de carga
Elaboración: K.M. CORP

Banco Dinamométrico Maha

Meza de Comunicaciones



Figura 9: Meza de Comunicación
Elaboración: C. M. M. Haldenwang, Banco de Potencias, Alemania, 2003.

El banco de potencia se divide en:

- Una meza de comunicación, equipado con una computadora, pantalla a color, un teclado y un ratón.
- Un juego de rodillos.
- Un control remoto.

El banco de potencia o dinamométrico tiene la capacidad para la medir la potencia de varios modelos de vehículos. Indistintamente de la configuración, pueden medirse potencias en las



ruedas de 500 Kw hasta 700 Kw con una máxima velocidad de 200 Km/h. La simulación de carga del banco se efectúa mediante un freno de corrientes parasitas.

El banco de potencia hace factible la medición de potencia en motores de tipo Diesel u Otto. Mediante el juego de rodillos apropiado, y junto con la electrónica reguladora correspondiente, también es factible el ensayo de vehículos de doble tracción.

Además, en el banco existen disponibles las siguientes opciones:

- Ventilador de aire refrigerante, instalado a la meza de comunicación, y manipulable desde el control remoto por radio.
- Caja de interfaces, permitiendo asequible la conexión de los siguientes elementos:

Modulo Análogo

Estos módulos analógicos preparan y codifican de manera comprensible para la CPU las señales procedentes de los dispositivos de entrada o captadores, estos pueden ser de 2 tipos entradas digitales y analógicas

Modulo del Régimen del Motor

Guarda el número de rpm el motor mediante pinzas trigger en el motor Otto, mientras que en motor Diesel usa un detector piezoeléctrico, sensor de PMS, clavija de diagnósticos y sonda de temperatura del aceite que mide hasta máximo 180 grados centígrados

Modulo del Ambiente

Registro de la temperatura ambiente, temperatura del aire aspirado, presión del aire y humedad del aire, temperatura del carburante.

Módulo OBD

Este módulo es un sistema que diagnostica el funcionamiento de todos los componentes del control de emisiones. el funcionamiento de los componentes relacionados con el control de emisiones.

Juego de rodillos

Los juegos de rodillos están caracterizados por un bastidor auto portante con un recubrimiento de polvo y rodillos metalizados.



Software Emolab 2.0.1

Este programa admite la observación y el registro de los factores de funcionamiento del vehículo eléctrico, mediante una interfaz gráfica. Mediante un módulo bluetooth OBD2 se acopla al puerto de diagnóstico del vehículo, aprobando la lectura de los datos presentes en el bus de comunicación CAN. Además la interfaz permite comunicación con un segundo elemento que es el módulo de medida inercial, el cual se enlaza con la computadora mediante un adaptador inalámbrico USB.

Conductor

Es un importante elemento en la realización de los test ya que este realizara el seguimiento de cada uno de los protocolos de cada ciclo, además este debe tener licencia profesional para poder realizar estas pruebas con seguridad.

2.1.2. Obtención de la autonomía.

El procedimiento de ensayo que se muestra a continuación, ayuda a medir la autonomía de los vehículos eléctrico expresado en kilómetros (Km).

Recomendaciones del Estado del vehículo

- Las ruedas del vehículo cuando se encuentren a una temperatura ambiente, debe tener la presión de inflado especificada por el fabricante.
- Los mecanismos de alumbrado, señalización luminosa y elementos auxiliares deben estar desactivados, a excepción de los útiles para la prueba y funcionamiento normal del vehículo eléctrico.
- Si las baterías superan la temperatura ambiente, el conductor debe realizar el procedimiento recomendado por el fabricante del vehículo con la finalidad de mantener la temperatura de la batería dentro del rango normal de funcionamiento.
- El vehículo deberá haber circulado 400 km como mínimo en los siete días anteriores al ensayo con las mismas baterías instaladas.
- Las pruebas deben efectuarse a una temperatura entre 20 °C y 30 °C.

Realización del ciclo y medición de la autonomía.

La pauta de finalización de la prueba se ejecuta cuando el vehículo no puede desarrollar el perfil perseguido hasta 50 km/h o cuando el equipo normal muestra al conductor que detenga el vehículo.



Entonces, el conductor deberá reducir la velocidad del vehículo a 5 km/h soltando suavemente el pedal del acelerador y sin pisar el pedal del freno, para frenarlo por siguiente con ayuda del freno.

Con velocidad mayor a 50 km/h, cuando el vehículo no alcance la velocidad necesaria del ciclo de prueba, el pedal del acelerador debe mantenerse pisado a fondo hasta que se alcance nuevamente la curva de referencia.

Se debe desarrollar como máximo tres interrupciones entre las secuencias de prueba para satisfacer necesidades fisiológicas, durante un transcurso máximo total de 15 minutos.

2.1.3. Método de medición del consumo de energía eléctrica.

Proceso del ensayo

El proceso de las pruebas se dividirá en dos partes (véase la figura 10):

- Ciclo urbano dividido a su vez por cuatro ciclos urbanos;
- Un ciclo en autopista.

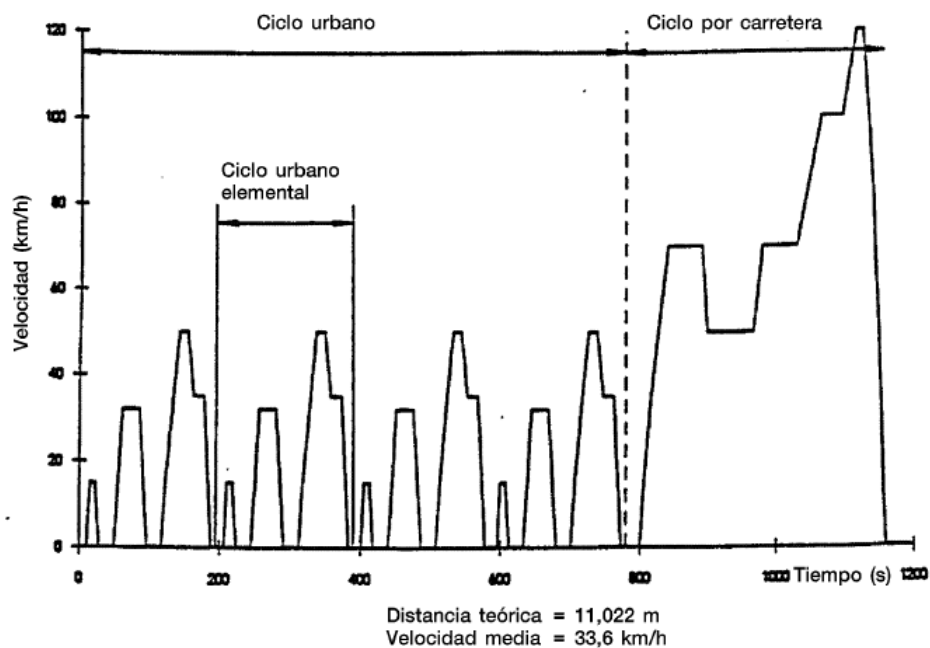


Figura 10: Secuencia de prueba

Elaboración: D. O. d. I. U. Europea, «Método de Medición del Consumo de Energía Eléctrica»

La figura 10 muestra el total del ciclo homologado europeo de consumos NEDC. El eje vertical muestra la velocidad a la que llega el vehículo en km/h y el eje horizontal el tiempo recorrido en segundos.



La primera parte corresponde con los 12 primeros picos de la gráfica, que finalmente es la repetición de cuatro veces una rutina de tres picos. El consumo y por extensión la autonomía de un vehículo, se calculan en una prueba en la cual el vehículo está prendido 1.180 segundos y se circulan en total 11.023 minutos.

La segunda parte o la fase de consumo extra-urbano corresponde a los dos últimos picos de la gráfica.

a) Ciclo urbano.

Este ciclo urbano está compuesto por cuatro ciclos elementales de 195 segundos y dura 780 segundos en total.

En la figura 11 y la tabla 1, se muestra la descripción del ciclo urbano elemental.

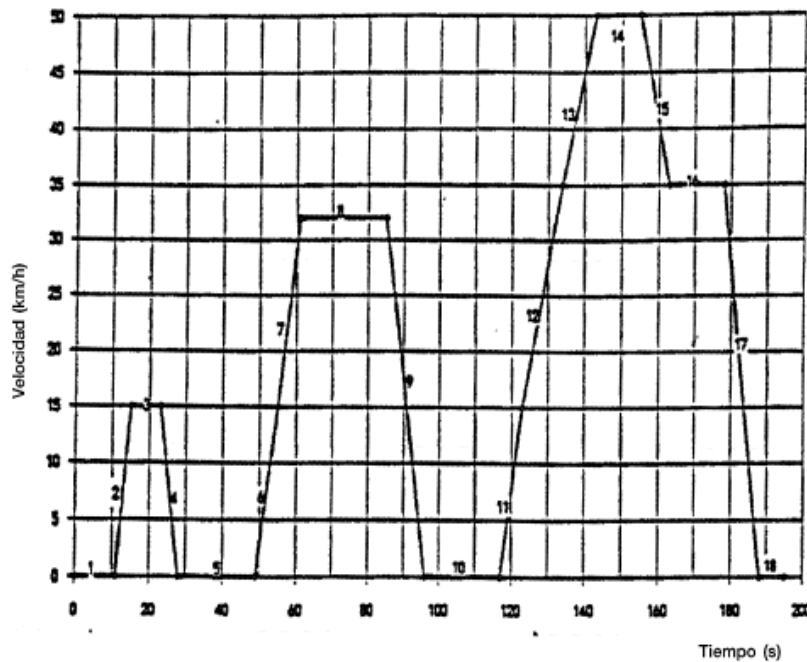


Figura 11: Ciclo urbano

Elaboración: D. O. d. I. U. Europea, «Método de Medición del Consumo de Energía Eléctrica»

Tabla 1. Ciclo urbano Homologado

Operación N°	Tipo de operación	Aceleración (m/s ²)	Velocidad (Km/h)	Duración de la operación (s)	Tiempo total (s)
1	Parada	0,00	0	11	11
2	Aceleración	1,04	0 - 15	4	15
3	Velocidad constante	0,00	15	8	23
4	Deceleración	-0,83	15 - 0	5	28



5	Parada	0,00	0	21	49
6	Aceleración	0,69	0 - 15	6	55
7	Aceleración	0,79	15 - 32	6	61
8	Velocidad constante	0,00	32	24	85
9	Deceleración	-0,81	32 - 0	11	96
10	Parada	0,00	0	21	117
11	Aceleración	0,69	0 - 15	6	123
12	Aceleración	0,51	15 - 35	11	134
13	Aceleración	0,46	35 - 50	9	143
14	Velocidad constante	0,00	50	12	155
15	Deceleración	-0,52	50 - 35	8	163
16	Velocidad constante	0,00	35	15	178
17	Deceleración	-0,97	35 - 0	10	188
18	Parada	0,00	0	7	195

Elaboración: D. O. d. I. U. Europea, «Método de Medición del Consumo de Energía Eléctrica»

Tabla 2. Recapitulación del ciclo Homologado

Recapitulación	En tiempo (s)	En %
Parada	60	30,77
Aceleración	42	21,54
Velocidad constante	59	30,26
Deceleración	34	17,44
Tiempo	195	100
Velocidad media (Km/h)	18,77	
Tiempo de funcionamiento (s)	195	
Distancia Teórica por ciclo urbano (m)	1017	
Distancia Teórica en cuatro ciclos elementales (m)	4067	

Elaboración: D. O. d. I. U. Europea, «Método de Medición del Consumo de Energía Eléctrica»

b) Ciclo por carretera

La figura 12 y la tabla 3, muestra la descripción del ciclo por carretera.

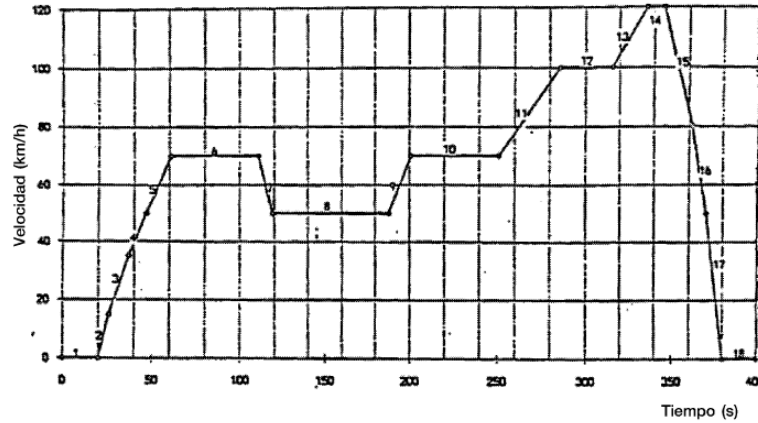


Figura 12. Ciclo por carretera

Elaboración: D. O. d. I. U. Europea, «Método de Medición del Consumo de Energía Eléctrica»

Tabla 3. Ciclo por carretera

Operación Nº	Tipo de operación	Aceleración (m/s ²)	Velocidad (Km/h)	Duración de la operación (s)	Tiempo total (s)
1	Parada	0,00	0	20	20
2	Aceleración	0,69	0 - 15	6	26
3	Aceleración	0,51	15 - 35	11	37
4	Aceleración	0,42	35 - 50	10	47
5	Aceleración	0,40	50 - 70	14	61
6	Velocidad constante	0,00	70	50	111
7	Deceleración	-0,69	70 - 50	8	119
8	Velocidad constante	0,00	50	69	188
9	Aceleración	0,43	50 - 70	13	201
10	Velocidad constante	0,00	70	50	251
11	Aceleración	0,24	70 - 100	35	286
12	Velocidad constante	0,00	100	30	316
13	Aceleración	0,28	100 - 120	20	336
14	Velocidad constante	0,00	120	10	346
15	Deceleración	-0,69	120 - 80	16	362
16	Deceleración	-1,04	80 - 50	8	370
17	Deceleración	-1,39	50 - 0	10	380
18	Parada	0,00	0	20	400

Elaboración: D. O. d. I. U. Europea, «Método de Medición del Consumo de Energía Eléctrica»

**Tabla 4.** Recapitulación del ciclo por carretera

Recapitulación	En tiempo (s)	En %
Parada	40	10
Aceleración	109	27,25
Velocidad constante	209	52,25
Deceleración	42	10,50
Tiempo	400	100
Velocidad media (Km/h)	62,60	
Tiempo de funcionamiento (s)	400	
Distancia Teórica (m)	6,956	

Elaboración: D. O. d. I. U. Europea, «Método de Medición del Consumo de Energía Eléctrica»

2.1.4. Método de ensayo.

El método de ensayo que se muestra a continuación, permite calcular el consumo de energía eléctrica expresado en Wh/km:

Tabla 5. Parámetros, unidades y precisión de las mediciones

Parámetro	Unidades	Precisión	Resolución
Tiempo	s	± 0,1 s	0,1 s
Distancia	m	± 0,1%	1 m
Temperatura	°C	± 0,1 °C	1 °C
Velocidad	Km/h	± 1%	0,2 Km/h
Masa	Kg	± 0,5%	1 Kg
Energía	Wh	± 0,2%	---

Elaboración: D. O. d. I. U. Europea, «Método de Medición del Consumo de Energía Eléctrica»

2.2. PROTOCOLO DE PRUEBAS

2.2.1. Ciclo NEDC.

Consumo urbano

1. Comprobar que el vehículo se encuentre con el motor frío, específicamente 6 horas sin funcionar.
2. Cerciorarse que la temperatura ambiente este entre 20 y 30 grados.
3. Colocar el swith en primera posición y comprobar que se encuentren apagados extras como (radio, luces, aire acondicionado, luz de salón, bluetooth)
4. Prender el vehículo.
5. Permanecer en ralentí durante 11 segundos.



6. Acelerar suavemente por un tiempo de 4 segundos hasta llegar a los 15 Km/h
7. Permanecer en 15 Km/h durante 8 segundos.
8. Frenar el vehículo hasta que se detenga el vehículo y esperar 21 segundos
9. Nuevamente acelerar por 12 segundos hasta llegar a los 32 Km/h
10. Permanecer en los 32 Km/h por 24 segundos
11. Detener el vehículo y esperar 21 segundos
12. Nuevamente acelerar por 26 segundos hasta alcanzar 50 Km/h
13. Permanecer en los 50 Km/h por 12 segundos
14. Disminuir la velocidad hasta 35 K/h y permanecer por 13 segundos
15. Frenar hasta que se detenga el vehículo por 7 segundos

Consumo Extraurbano

1. Prender el vehículo.
2. Permanecer en ralentí por 20 segundos.
3. Acelerar lentamente durante 41 segundos hasta llegar a 70 Km/h
4. Permanecer en 70 Km/h durante 50 segundos
5. Disminuir la velocidad lentamente hasta 50 Km/h y permanecer por 69 segundos.
6. Acelerar lentamente durante 13 segundos hasta llegar a los 70 Km/h
7. Permanecer en 70 Km/h durante 50 segundos
8. Acelerar lentamente durante 35 segundos hasta llegar a los 100 Km/h
9. Mantener la velocidad de 100 Km/h durante 30 segundos
10. Acelerar lentamente durante 20 segundos hasta llegar a 120 Km/h
11. Permanecer en 120 Km/h por 10 segundos
12. Frenar lentamente durante 34 segundos hasta frenar completamente el vehículo eléctrico.
13. Permanecer con el vehículo en ralentí durante 20 segundos

Consumo combinado

Al desarrollar las 2 pruebas anteriores y unidas las mismas, se lograra obtener el ciclo combinado.

2.2.2. Ciclo EPA.

Consumo urbano



1. Verificar que el vehículo eléctrico este con el motor frío, específicamente 6 horas sin funcionar.
2. Verificar que la temperatura ambiente se encuentre entre 20 y 30 grados.
3. Colocar el swith en primera posición y constatar que no se hallen encendidos extras como (radio, luces, aire acondicionado, luz de salón, bluetooth).
4. Prender el vehículo
5. Permanecer en ralentí por 5 segundos.
6. Acelerar el vehículo lentamente hasta llegar a 18Km/h y permanecer por 8 segundos.
7. Frenar lentamente hasta que se detenga el vehículo eléctrico y esperar 21 segundos
8. Acelerar lentamente hasta llegar a 34Km/h y permanecer por 12 segundos.
9. Frenar hasta que se detenga el vehículo eléctrico y esperar 21 segundos.
10. Acelerar lentamente el vehículo hasta llegar a 88Km/h y permanecer por 26 segundos.
11. Frenar hasta que se detenga el vehículo eléctrico y mantener por 21 segundos.
12. Conservar el vehículo eléctrico en ralentí por 10 minutos.
13. Acelerar lentamente hasta llegar a 18Km/h y permanecer por 8 segundos.
14. Frenar hasta que se detenga el vehículo eléctrico y esperar 21 segundos.
15. Acelerar lentamente hasta llegar a 34Km/h y permanecer por 12 segundos.
16. Frenar hasta que se detenga el vehículo eléctrico y esperar 21 segundos.
17. Acelerar lentamente hasta llegar a 88Km/h y permanecer por 26 segundos
18. Frenar hasta que se detenga el vehículo eléctrico y mantener por 21 segundos
19. Acelerar lentamente hasta llegar a 18Km/h y mantener por 8 segundos.
20. Disminuir la velocidad lentamente hasta llegar a 34Km/h y mantener por 13 segundos.
21. Frenar hasta que se detenga el vehículo eléctrico por 7 segundos.

Consumo extraurbano

1. Prender el vehículo eléctrico.
2. Acelerar lentamente por 41 segundos hasta llegar a 55Km/h
3. Permanecer en 55Km/h por 50 segundos.
4. Disminuir la velocidad lentamente hasta 35 Km/h y permanecer así por 69 segundos.
5. Acelerar lentamente por 13 segundos hasta llegar a 55Km/h
6. Permanecer en los 55Km/h por 50 segundos
7. Acelerar lentamente por 35 segundos hasta llegar a 75Km/h
8. Permanecer en los 75Km/h por un tiempo de 30 segundos.



9. Acelerar lentamente por 20 segundos hasta llegar a 95Km/h
10. Permanecer en 95Km/h por un tiempo de 10 segundos.
11. Frenar lentamente por 34 segundos hasta que se frene completamente el vehículo.

Capítulo 3

OBTENCIÓN DE DATOS MEDIANTE SOFTWARE EMOLAB.

3.1. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE EMOLAB 2.0.1

Es un software registrado de ingeniería, que fue creado en LabVIEW [Ortiz, P], útil como traducción de información emitida por la ECU mediante la conexión OBD 2 que posee el vehículo. Además el programa entrega información del estado y comportamiento en tiempo real, como por ejemplo las RPM, temperatura del motor, recorrido entre otros.

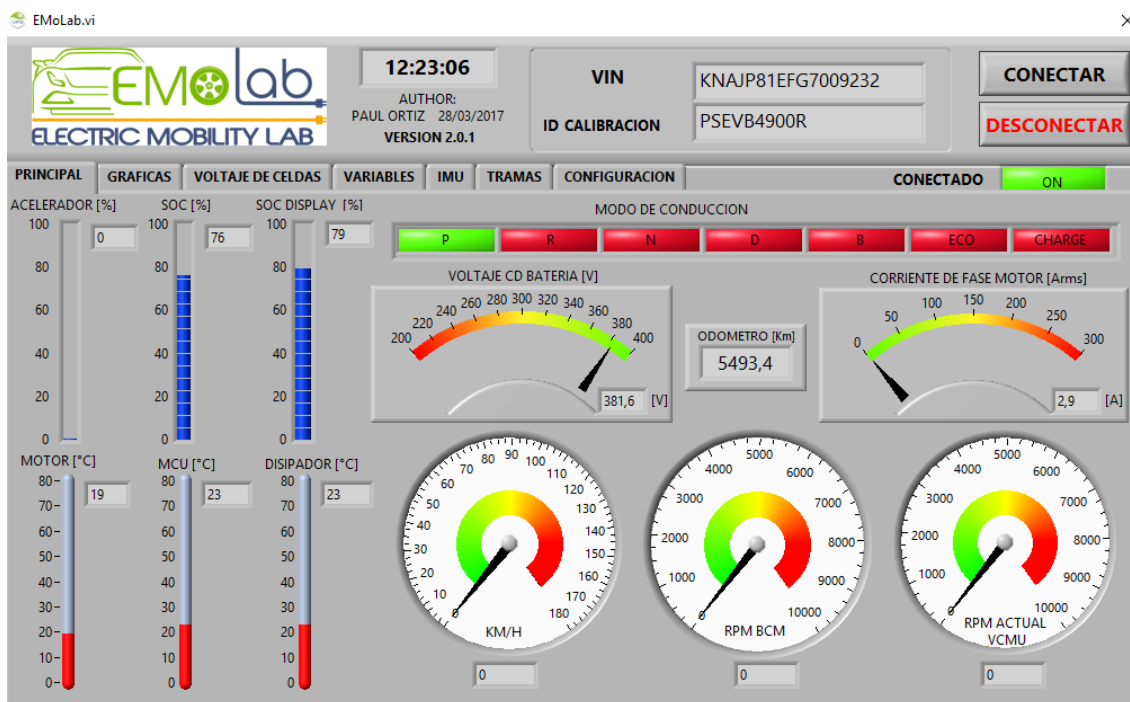


Figura 13: Software Emolab 2.0.1
Elaboración: Ortiz, Paúl. Mgs.

En la figura 13, se visualiza la pantalla principal del software EMOLab 2.0.1 el cual muestra el funcionamiento principal del vehículo eléctrico como: porcentaje de autonomía, porcentaje



del pedal del acelerador, temperaturas, RPM. Además, muestra la tensión en corriente directa de la batería [v], odómetro [Km], corriente de fase del motor [Arms], velocidad del vehículo [Km/h], entre otras.

El software EMOlab 2.0.1 entrega 72 factores, las cuales se muestran en la Tabla 6, de la cual se seleccionaran las más influyentes para su posterior análisis.

Tabla 6: Variables del software EMOlab 2.0.1

Time [HH:MM: SS]:	Accel Pedal [%]:	Speed [Kmh]:	SOC [%]:	Availabl e Charge Power [KW]:	Availabl e Discharg e Power [KW]:	Battery Current [A]:	Battery DC Voltage [V]:	Battery Max Temperat ure [°C]:	Battery Min Temperat ure [°C]:
Battery Module 1 Temperatu re [°C]:	Battery Module 2 Temperat ure [°C]:	Battery Module 3 Temperat ure [°C]:	Battery Module 4 Temperat ure [°C]:	Battery Module 5 Temperat ure [°C]:	Battery Inlet Temperat ure [°C]:	Max Cell Voltage [V]:	Max Cell Voltage [No.]:	Min Cell Voltage [V]:	Min Cell Voltage [No.]:
Auxiliary Battery Voltage [V]:	Cumulati ve Charge Current [Ah]:	Cumulati ve Discharg e Current [Ah]:	Cumulati ve Charge Energy [kWH]:	Cumulati ve Discharg e Energy [kWH]:	Cumulati ve Operatin g Time [Sec]:	Inverter Capacito r Voltage [V]:	Drive Motor Speed [rpm]:	Isolation Resistanc e [Kohms]:	Auxiliary Battery Voltage [V]:
Motor Actual Speed [rpm]:	Motor Phase Current [A]:	Motor Torque Comman d [Nm]:	Estimate d Motor Torque [Nm]:	Motor Temperat ure [°C]:	MCU Temperat ure [°C]:	Head Sink Temperat ure [°C]:	Battery Module 6 Temperat ure [°C]:	Battery Module 7 Temperat ure [°C]:	Battery Module 8 Temperat ure [°C]:
SOC Display [%]:	Gear State P:	Gear State R	Gear State N	Gear State D	Gear State B	ECO OFF Switch	Charge Cancel Switch:	Odomete r [Km]:	Alt (MSL)[m :]

Elaboración: Software EMOlab 2.0.1

3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

El protocolo describe cada uno de los pasos a seguir para la ejecución de las pruebas de los ciclos Nedc y EPA.

Para el desarrollo de las pruebas, en cada ciclo se considera un solo pasajero o conductor, sin embargo no se especifica el peso que debe tener el mismo, por lo tanto, es despreciable.



El protocolo de muestreo, a su vez, se lo ejecutó en el banco dinamométrico con diferentes conductores a varios porcentajes de carga de la batería, para de esta forma acercarnos a lo estipulado para la normativa.

Los ciclos homologados toman en cuenta como parámetros para las pruebas el sistema de audio, sistema de iluminación del vehículo, sistema de eleva vidrios, los cuales funcionan con la batería de 12 voltios, es decir, no toman energía de la batería de alto voltaje, por lo cual no inciden directamente en el consumo de la autonomía del vehículo eléctrico.

Es importante señalar, que la autonomía del vehículo eléctrico se ve perjudicada si la calefacción o el aire acondicionado se encuentran prendidos, ya que estos sistemas se sustentan de la energía de las baterías de alto voltaje, reduciendo de esta forma, rápidamente el porcentaje de la autonomía.

Ya obtenidas todas los factores de estudio mostradas en la Tabla 6, se inicia con el procesamiento de los datos obtenidos, además, de una compilación ya establecida de los parámetros que se deseen modelar.

3.3 DESARROLLO DE LA METODOLOGIA PARA LA OBTENCION DE LA AUTONOMIA DEL VEHICULO ELECTRICO.

Con el análisis de correlación de Pearson se determinara las variables que afectan más significativamente en el consumo de la energía eléctrica del vehículo, ya que esta correlación indica el grado de covariacion entre distintas variables.

3.3.1. Variables

Las siguientes variables descritas en la Tabla 7 son de gran importancia a tomar en cuenta para el desarrollo del análisis.

Tabla 7: Variables del análisis

VARIABLES CONTROLABLES	VARIABLES NO CONTROLABLES	VARIABLES DE ESTUDIO	VARIABLES DE RESPUESTA
Tiempo del recorrido	Emisividad	Periféricos del vehículo	Autonomía
RPM	Temperatura Ambiente	Velocidad Máxima	
Velocidad del vehículo	Humedad Relativa	Ralentí del vehículo	
		Paradas	

Elaboración: Autores



3.3.2. Análisis de correlación de Pearson

El análisis de correlación de Pearson permite valorar el grado de covariación entre distintas variables relacionadas entre sí, además este coeficiente indica la fuerza y dirección de la relación de los factores.

De forma menos formal, el coeficiente de correlación de Pearson es una relación que puede utilizarse para medir el grado de relación de dos variables siempre que sean cuantitativas.

3.3.2.1. Correlación del producto de Pearson

Para establecer el modelo matemático que estime la autonomía, se define las variables más influyentes en el consumo de la misma, mediante una correlación del producto de Pearson, el cual establece que este coeficiente estará dentro de un límite de valores absolutos (0 y 1). Una vez obtenido este coeficiente se determina si los factores X e Y están entrelazados de manera que provoque una alteración de una variable.

$$(0 \leq r_{xy} \leq 1) \quad \text{Ecuación [1]}$$

3.3.2.2 Interpretación del coeficiente de correlación

Con la base de datos obtenida en las pruebas se realizó la correlación de Pearson en el software Minitab, donde se obtuvo las variables con su respectivo coeficiente como se indica en las tablas 8 y 9, de las cuales se eligen las más significativas.

Si se obtienen valores iguales o cercanos a 1 o -1, el coeficiente será significativo, mientras que si el valor es cercano a cero estos coeficientes tendrán menos significancia, por lo que las variables con este valor serán descartadas.

Con este análisis se determinó que las variables más significativas para cada ciclo son los siguientes: Energía de descarga, Corriente de descarga, tiempo de operación, temperatura del motor y odómetro.

A continuación se presenta las variables más significativas obtenidas en el análisis:

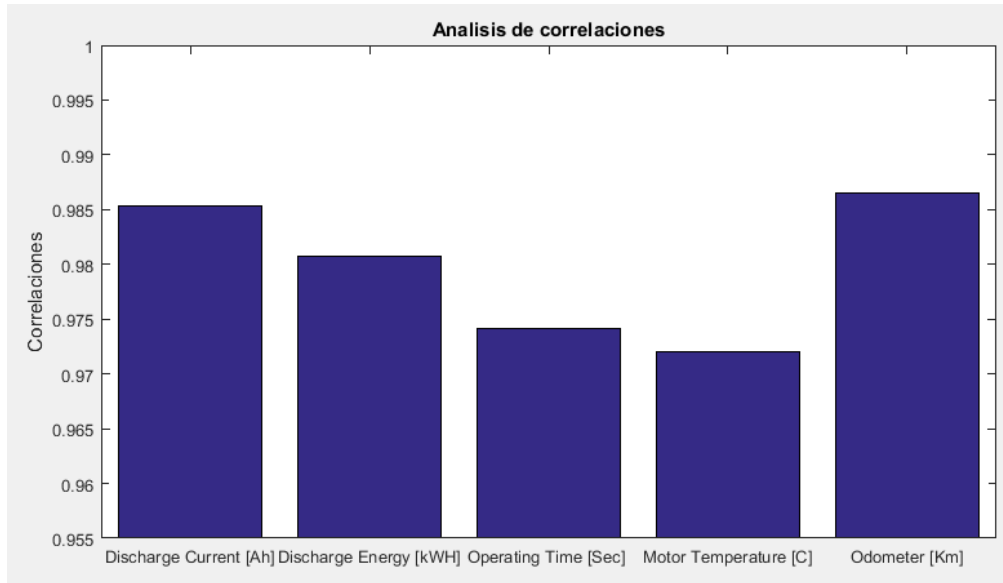


Figura 14: Variables que inciden en el ciclo homologado Necd.
Elaboración: Autores.

En la figura 14 se indica las 5 variables que tienen mayor significancia en el ciclo Necd.

Tabla 8 . Estudio Estadístico correlación Pearson del ciclo Necd.

Variables	SOC [%]
Accel Pedal [%]	0,13427409
Speed [Kmh]	0,40242848
SOC [%]	1
Battery DC Voltage [V]	0,66629803
Max Cell Voltage [V]	0,67454649
Min Cell Voltage [V]	0,61177694
Min Cell Voltage [No.]	-0,15817167
Cumulative Charge Current [Ah]	-0,52368026
Cumulative Discharge Current [Ah]	0,97758597
Cumulative Discharge Energy [kWH]	0,97072185
Cumulative Operating Time [Sec]	0,97415671
Inverter Capacitor Voltage [V]	0,66470121
Drive Motor Speed [rpm]	0,26957969
Motor Temperature [°C]	0,96042937
MCU Temperature [°C]	-0,02352415
Odometer [Km]	0,97937286

Elaboración: Autores

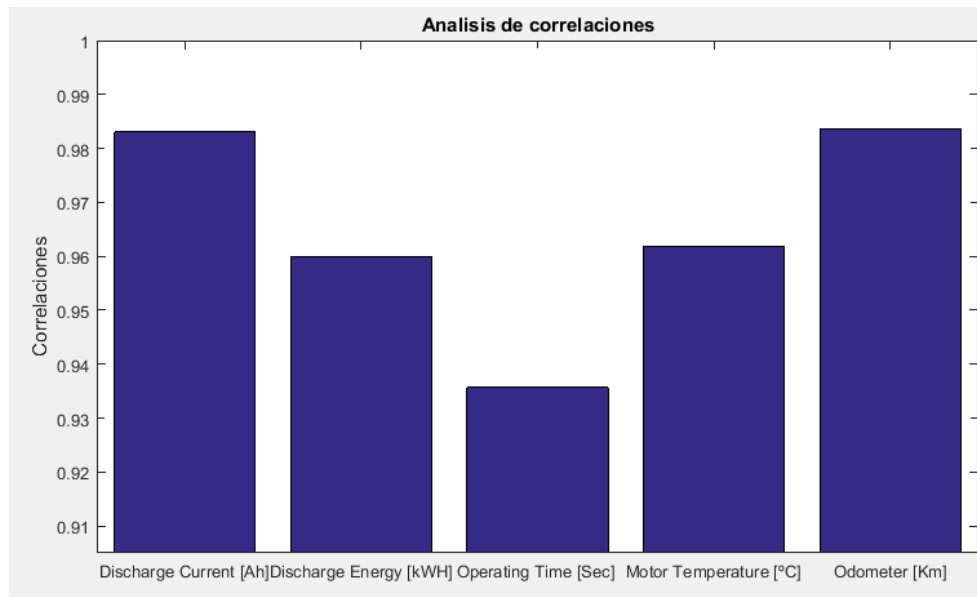


Figura 15: Variables que inciden en el ciclo EPA.
Elaboración: Autores.

En la figura 15 se indica las 5 variables que tienen mayor significancia en el ciclo EPA.

Tabla 9. Estudio Estadístico correlación Pearson de ciclo EPA

Variables	SOC [%]
Accel Pedal [%]	0,53513932
Speed [Kmh]	0,40037447
SOC [%]	1
Battery Current [A]	0,33462405
Battery DC Voltage [V]	0,1789469
Max Cell Voltage [V]	0,08488065
Min Cell Voltage [V]	0,25039189
Cumulative Charge Current [Ah]	-0,79045386
Cumulative Discharge Current [Ah]	0,98304821
Cumulative Discharge Energy [kWh]	0,95985126
Cumulative Operating Time [Sec]	-0,93566554
Inverter Capacitor Voltage [V]	0,17438094
Drive Motor Speed [rpm]	0,39740024
Drive Motor Speed [rpm]	0,39740024
Motor Actual Speed [rpm]	0,40604808
Motor Temperature [-C]	0,96183682
SOC Display [%]	0,90480997
Odometer [Km]	0,98359101

Elaboración: Autores.



Al obtener las variables más significativas de cada ciclo, se procede a ejecutar la regresión con las variables ya definidas anteriormente, con esto se obtendrá la ecuación que indica el comportamiento de la autonomía.

Capítulo 4

ESTUDIO E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS.

4.1. ESTUDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA DETERMINACION DE LA AUTONOMIA.

Con el análisis anterior se eligieron las variables más influyentes para cada ciclo siendo estas: Corriente de descarga [Ah], Energía de descarga [kWH], Tiempo de operación [Sec], Temperatura del motor [°C], Odómetro [Km].

4.1.1. Regresión múltiple

Esta regresión se usa para pronosticar el cambio de una variable en función de otra, es decir facilita la creación de un tipo de ecuación donde se tomaran las variables con mayor incidencia en la respuesta y excluyendo a las de menor incidencia.

En el análisis la Autonomía es la variable dependiente, mientras que las variables independientes, se indican a continuación:

- Corriente de descarga [Ah]
- Energía de descarga [kWH]
- Tiempo de operación [Sec]
- Temperatura del motor [°C]
- Odómetro [Km]



Con esto se intenta construir un modelo estadístico de autonomía frente a un grupo de variables independientes.

Para realizar este análisis, se procede a ingresar las variables dependiente (respuesta) e independientes (predictores) determinadas anteriormente, como se ilustra en la Figura 16.

Figura 16: Entrada de Variables de Respuesta y Predictores
Elaboración: Autores.

4.1.1.1. Estudio de residuos

El estudio de residuos se utiliza para verificar si el modelo de regresión es el óptimo, es decir que mientras más pequeños sean los residuos el modelo de regresión detallara de una forma eficaz el comportamiento de la autonomía.

Para que este análisis tenga validez lo óptimo es que los puntos de la regresión se localicen indistintamente en ambos espacios del eje x, así también los residuos grandes poseen una fuerte incidencia sobre los modelos de regresión.

La figura 17 muestra el análisis de residuos del ciclo Nedc, en la cual se puede visualizar residuos pequeños o puntos negros, residuos pocos comunes o puntos azules y residuos grandes o puntos negros, en este análisis se concluye que el grado de exactitud de la regresión es alta ya que cuanto más pequeño sea el error típico de los residuos se ajusta de mejor forma a la recta de regresión.

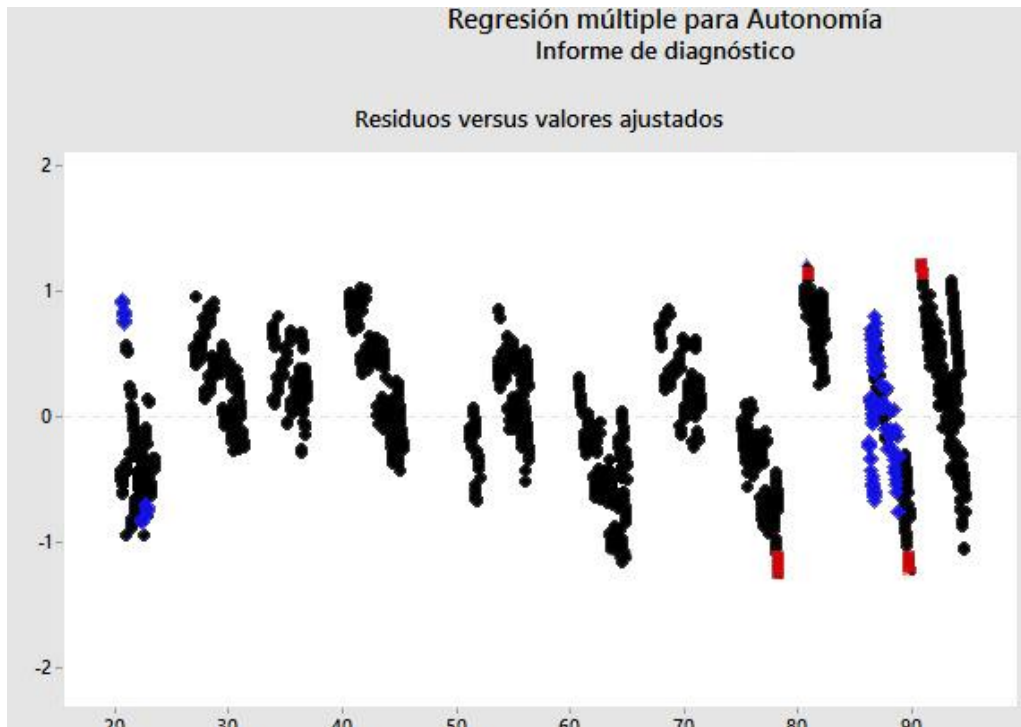


Figura 17: Estudio de residuos ciclo NEDC.
Elaboración: Autores.

La figura 18 muestra el análisis de residuos del ciclo EPA, en la cual se puede visualizar residuos pequeños o puntos negros, residuos pocos comunes o puntos azules y residuos grandes o puntos negros, con este análisis se determina que el grado de exactitud de la regresión es alta ya que cuanto más pequeño sea el error típico de los residuos se ajusta de mejor forma a la recta de regresión.

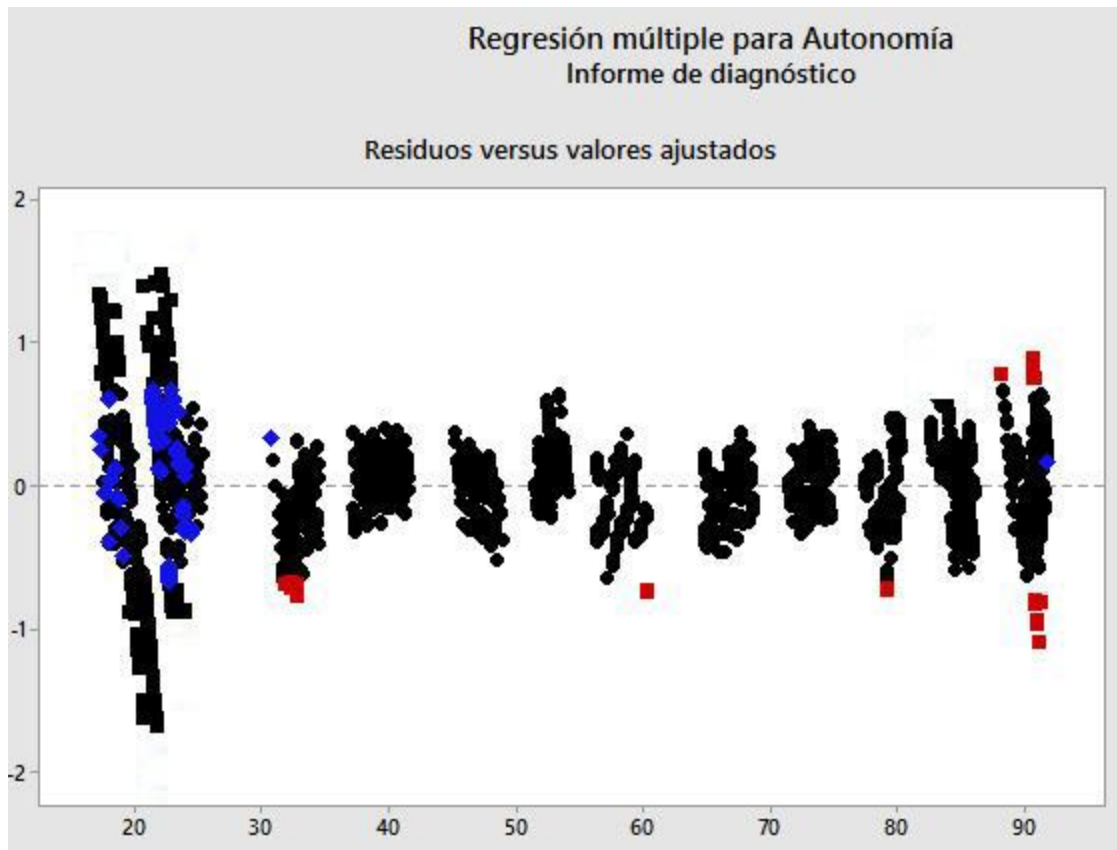


Figura 18: Estudio de residuos ciclo EPA.

Elaboración: Autores.

4.1.1.2 Estudio de aleatoriedad

El estudio de aleatoriedad sirve para analizar si una específica muestra o prueba puede determinarse como aleatoria, es decir si un conjunto de muestras pertenece a algún patrón con iguales posibilidades de suceder.

En el desarrollo de este estudio se mezclaron todas las pruebas realizadas de cada ciclo homologado con la finalidad de eliminar las posibilidades que algunas pruebas pertenezcan a otro grupo de pruebas, garantizando de esta forma el óptimo estudio de aleatoriedad.

4.1.1.3. Grafica de efectos principales

El efecto de un factor, se comprende como la variación visualizada en la variable de respuesta ocasionada por una variación del nivel de tal factor. Por lo tanto en este caso la gráfica de efectos principales indica cómo cambia la Autonomía si se cambia la configuración de una variable X.

Los efectos principales de cada factor se muestran en las Figuras 19 y 20:



Ciclo Nedc

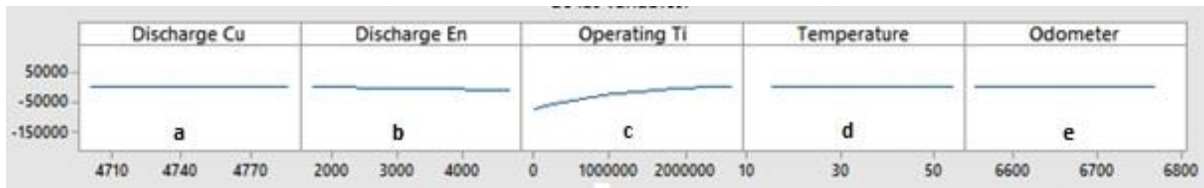


Figura 19: Efectos principales del ciclo Nedc.

Elaboración: Autores.

En la Figura 19 (a) (d) (e), se visualiza que la Corriente de descarga, Temperatura del motor y odómetro permanece constante vs el consumo de autonomía.

En la Figura 19 (b), se visualiza que al aumentar la energía de descarga la autonomía se ve afectada por lo que esta disminuye.

En la Figura 19 (c), se visualiza que al aumentar el tiempo de operación del vehículo la autonomía disminuye y regenerando la autonomía si el vehículo eléctrico se encuentre en desaceleración.

Ciclo EPA

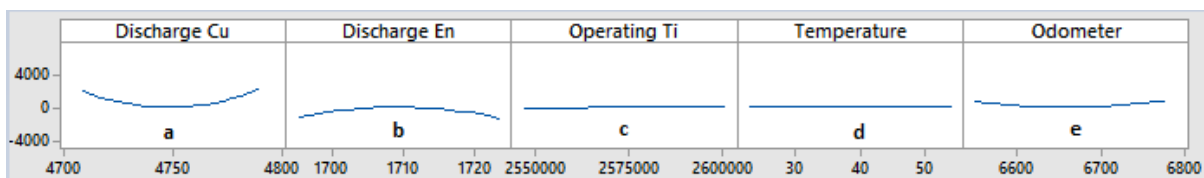


Figura 20: Efectos principales del ciclo EPA.

Elaboración: Autores.

En la Figura 20 (a) (b) (e), se visualiza que la Corriente de descarga, Energía de descarga y odómetro son variables que tienen una incidencia mayor en la autonomía del vehículo eléctrico, es decir al aumentar estas variables la autonomía se ve perjudicada.

En la Figura 20 (c) (d), se visualiza que el Tiempo de operación y Temperatura del motor permanecen constantes vs el consumo de autonomía, es decir al aumentar estas variables la autonomía no se ve perjudicada.

4.1.1.4. Estudio de efectos cruzados

Este análisis permite conocer la interacción o efecto que tienen dos factores entre sí, es decir que si mayormente se encuentren cruzadas las líneas de estos dos factores significara que



tienen mayor interacción o relación, mientras que si las líneas de cada factor se encuentran paralelas entre sí significara que estos factores no poseen interacción significativa.

Ciclo Nedc

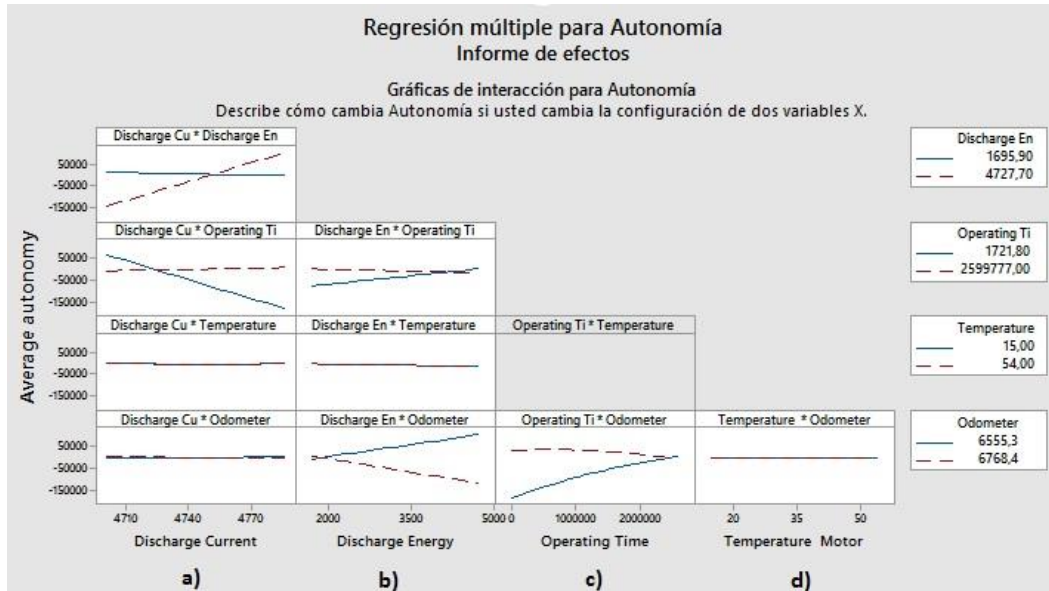


Figura 21: Estudio Efectos Cruzados ciclo Nedc.
Elaboración: Autores.

En la Figura 21 (a), se observa las diferentes relaciones entre la corriente de descarga frente a la (Energía de descarga, Tiempo de operación, Temperatura del motor y Odómetro) vs la Autonomía. Se visualiza que la corriente de descarga con la Energía de descarga y con el Tiempo de operación tiene una relación importante entre estas variables ya que las líneas de estas variables poseen un cruce bastante pronunciado. En comparación con la Temperatura del motor y Odómetro no existe ninguna relación entre estas variables ya que las líneas que representan a estas variables se encuentran paralelas.

En la Figura 21 (b), se visualiza las diferentes relaciones entre la energía de descarga frente al (Tiempo de operación, Temperatura del motor y Odómetro) vs la media de la Autonomía. Se visualiza que el Tiempo de operación y Odómetro tiene una relación importante entre estas variables vs la autonomía. En comparación con la Temperatura del motor no existe ninguna relación entre estas variables.

En la Figura 21 (c), se observa que el Tiempo de operación frente al Odómetro tiene una interacción significativa frente a la autonomía.

En la Figura 21 (d), se visualiza que no existe una interacción importante entre las variables Odómetro y Temperatura del motor frente a la autonomía.



En conclusión este método indica que combinación de variables tiene mayor interacción o relación, por lo tanto tendrían una mayor influencia en la autonomía del vehículo, siendo estas combinaciones las siguientes:

- ✓ Corriente de descarga y Energía de descarga
- ✓ Corriente de descarga y Tiempo de operación
- ✓ Energía de descarga y Odómetro
- ✓ Tiempo de operación y Odómetro.

Ciclo EPA

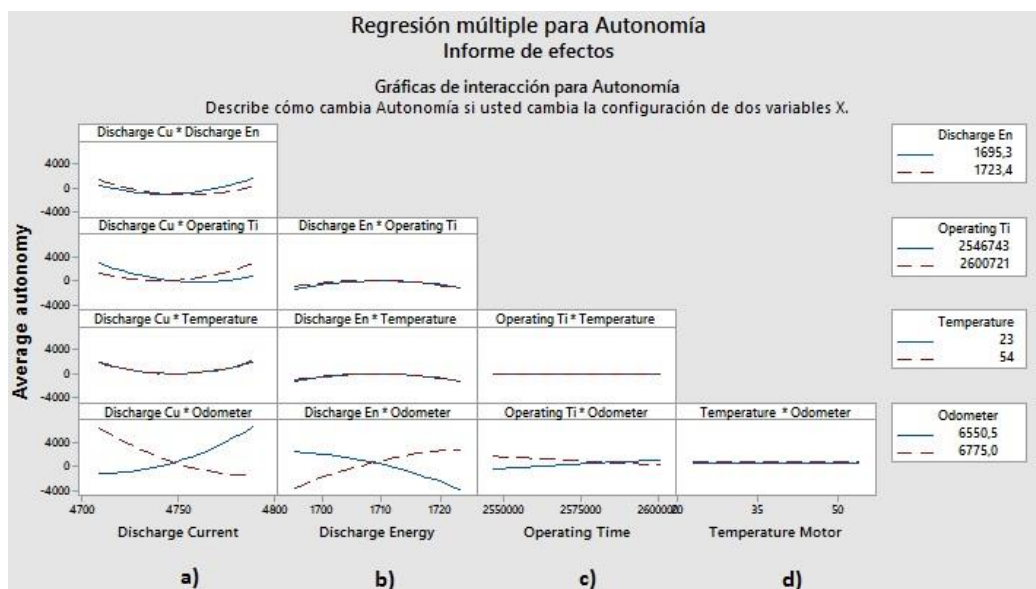


Figura 22: Estudio Efectos Cruzados ciclo EPA.

Elaboración: Autores.

En la Figura 22 (a), se visualiza las diferentes relaciones entre la corriente de descarga vs la (Energía de descarga, Tiempo de operación, Temperatura del motor y Odómetro) vs la Autonomía. Se visualiza que la energía de descarga y tiempo de operación con la Corriente de descarga posee mínima relación vs la autonomía. En comparación con la Temperatura del motor no existe ninguna interacción entre estas variables. Mientras que en comparación con el Odómetro existe una interacción importante al encontrarse sus líneas cruzadas totalmente.

En la Figura 22 (b), se visualiza las diferentes relaciones entre la energía de descarga vs el (Tiempo de operación, Temperatura del motor y Odómetro) vs la media de la Autonomía. Se visualiza que el Tiempo de operación y Temperatura del motor con la Energía de descarga no



poseen una relación importante entre estas variables vs la autonomía. En comparación con el odómetro existe una relación importante al encontrarse sus líneas cruzadas totalmente.

En la Figura 22 (c), se visualiza que el tiempo de operación con la Temperatura del motor no existe relación entre estas variables vs la autonomía. En comparación con el Odometro que existe muy poca interacción entre estas variables ya que las líneas de estas variables se encuentran casi paralelas.

En la Figura 22 (d), se visualiza que no existe una relación importante entre las variables Odometro y Temperatura del motor frente a la autonomía.

En conclusión este método indica que combinación de variables tiene mayor interacción, por lo tanto tendrían una influencia importante en la autonomía del vehículo, siendo estas combinaciones las siguientes:

- ✓ Corriente de descarga y Odometro
- ✓ Energía de descarga y Odometro

4.1.1.5. Estudio de la autonomía (y) frente a las variables independientes (x)

El estudio de la autonomía frente a las variables de entrada, son estadísticamente importantes, puesto que un valor de $p < 0,001$ indicara que la significancia de la variable será más fuerte, con esto demostrando la confiabilidad del análisis. Por ende, al tener un valor de p menor a lo establecido, se demuestra que existe una fuerte relación de la variable de respuesta (Autonomía) con las variables de entrada (independientes) como se visualiza en la Figura 23 y 24.

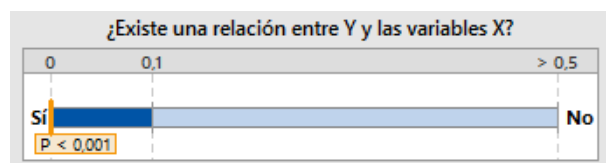


Figura 23: Estudio de autonomía vs las variables independientes.
Elaboración: Autores.

Ciclo Nedc

En la Figura 24 a) y e), se visualiza que a medida que la corriente de descarga y odómetro crecen, la autonomía disminuye considerablemente.



En la figura 24 d) se visualiza que al crecer la temperatura de motor, la autonomía del vehículo disminuye, mientras que en la figura 24 c), al aumentar el tiempo de recorrido la autonomía decrece velozmente.

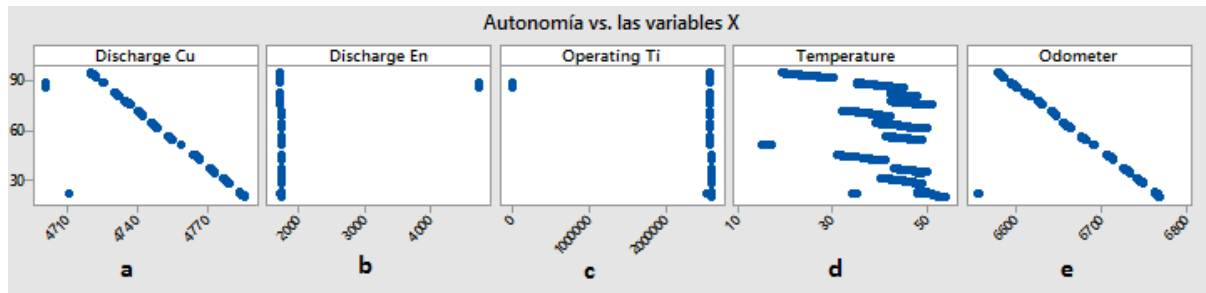


Figura 24: Estudio Autonomía vs las Variables Independientes del ciclo Necd.
Elaboración: Autores.

Ciclo EPA

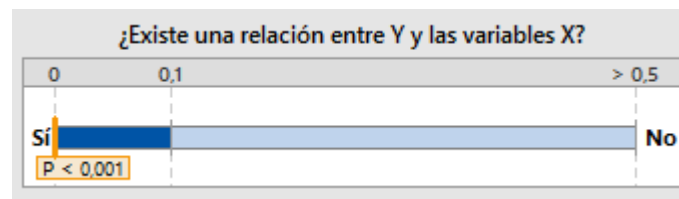


Figura 25: Estudio de la autonomía vs las variables independientes ciclo EPA.
Elaboración: Autores.

En la Figura 26 a), b), c) y d), se visualiza que a medida que la corriente de descarga, energía de descarga, tiempo de operación y odómetro crecen, la autonomía decrece.

En la figura 26 d), se visualiza que al aumentar la temperatura de motor, la autonomía del vehículo decrece considerablemente.

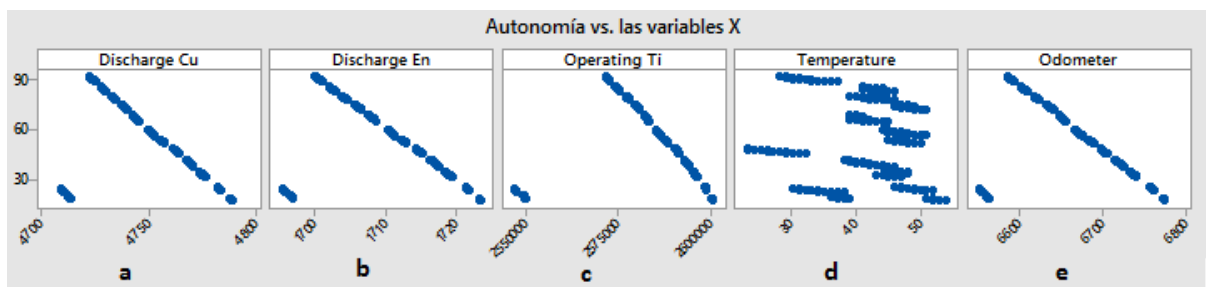


Figura 26: Estudio Autonomía vs las Variables Independientes ciclo EPA.
Elaboración: Autores.



4.2. OBTENCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Al desarrollar el estudio estadístico se obtuvo las 5 variables que más inciden en el consumo de la autonomía, con las cuales se determinó las ecuaciones [2], [3] que modela la autonomía del vehículo eléctrico de cada ciclo.

Ciclo Nede

$$\text{Autonomía} = -8567 + 0,8377 * x_1 + 3,47841 * x_2 + 0,004083 * x_3 + 0,17972 * x_4 - 1,7792 * x_5$$

Ecuación [2]

Dónde:

Tabla 10. Variables Dependientes vs Variables Independientes ciclo NEDC.

Variables Dependientes		Variables Independientes	
AUTONOMÍA [VE] CICLO NEDC	x_1	Corriente de descarga	[A]
	x_2	Energía de descarga	[KW]
	x_3	Tiempo de operación	[s]
	x_4	Temperatura del motor	[°C]
	x_5	Odómetro	[Km]

Elaboración: Autores.

Ciclo EPA

$$\text{Autonomía} = 1163,3 + 2,6915 * x_1 - 13,309 * x_2 + 0,004342 * x_3 + 0,04682 * x_4 - 0,3533 * x_5$$

Ecuación [3]

Dónde:

Tabla 11. Variables Dependientes vs Variables Independientes ciclo EPA.

Variables Dependientes		Variables Independientes	
AUTONOMÍA [VE] CICLO EPA	x_1	Corriente de descarga	[A]
	x_2	Energía de descarga	[KW]
	x_3	Tiempo de operación	[s]
	x_4	Temperatura del motor	[°C]
	x_5	Odómetro	[Km]

Elaboración: Autores.



4.3. VALIDACIÓN DEL MODELO

Para la validación del modelo matemático de la Autonomía se utilizó datos de porcentaje de carga de la batería SOC (%) y autonomía en vacío para determinar inicialmente la autonomía teórica de cada ciclo, los cuales se muestran en la tabla 12.

4.3.1. Autonomía teórica.

$$\text{Autonomia Teórica} = \left[\frac{\text{SOC}(\%) * (\text{Autonomía Vacío})}{100} \right] \quad \text{Ecuación [4]}$$

Dónde:

Tabla 12. Valores para la ecuación teórica:

Parámetro	Descripción
SOC (%)	Porcentaje de carga de la Batería
Autonomía en vacío	165 km En Vacío (Carga Máximo del paquete de las Baterías). Este valor se obtiene del vehículo eléctrico cuando se encuentra 100% cargado.

Elaboración: Autores.

Para desarrollar el cálculo de la autonomía, se inicia tomando los datos de forma aleatoria de la base de datos obtenidos de las pruebas desarrolladas, posteriormente se escogen las 5 variables determinadas anteriormente y se las ingresa en la ecuación [2] y [3], las cuales representan a los ciclos Nedc y EPA.

4.3.2. Cálculo de la Autonomía con el ciclo Nedc.

Tabla 13. Valores tomados de la base de datos ciclo Nedc.

Corriente de descarga [Ah]	Descarga de energía [kWh]	Tiempo de operación [Sec]	Temperatura del motor [°C]	Odómetro [Km]
4725,20	1700,90	2573045,00	35,00	6593,2

Elaboración: Autores.

En la ecuación [2] se ingresan los datos de la tabla 12, obteniendo lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Autonomía} = & -8567 + 0,8377 * (4725,20) + 3,47841 * (1700,90) + 0,004083 \\ & * (2573045) + 0,17972 * (35) - 1,7792 * (6593,2) \end{aligned}$$



$$\text{Autonomía} = 89,13\%$$

Para convertir la autonomía en Kilómetros se emplea la ecuación [4]:

$$\text{Autonomía} = \left[\frac{89,13 * (165Km)}{100} \right]$$

$$\text{Autonomía} = 147,06 \text{ Km}$$

4.3.3. Cálculo de la Autonomía con el ciclo EPA.

Tabla 14. Valores tomados de la base de datos ciclo EPA.

Corriente de descarga [Ah]	Descarga de energía [kWH]	Tiempo de operación [Sec]	Temperatura del motor [°C]	Odómetro [Km]
4724,3	1700,5	2572542	33	6590,3

Elaboración: Autores.

En la ecuación [3] se ingresan los datos de la tabla 13, obteniendo lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Autonomía} &= 1163,3 + 2,6915 * (4724,3) - 13,309 * (1700,5) + 0,004342 \\ &* (2572542) + 0,04682 * (33) - 0,3533 * (6590,3) \end{aligned}$$

$$\text{Autonomía} = 89,968\%$$

Para convertir la autonomía en Kilómetros se emplea la ecuación [4]:

$$\text{Autonomía} = \left[\frac{89,968 * (165Km)}{100} \right]$$

$$\text{Autonomía} = 148,44 \text{ Km}$$

4.4. COMPARACIÓN DE LA AUTONOMÍA TEÓRICA CON LA OBTENIDA EN CADA CICLO.

Para la obtención de la autonomía teórica, se elige el porcentaje de autonomía dada por el programa, en este caso 89%, obteniendo lo siguiente:

4.4.1. Ciclo Nedc:

$$\text{Autonomía Teórica} = \left[\frac{89 * 165}{100} \right] = 146,85$$

$$\text{Autonomía (Ecuación)} = 147,06 \text{ Km}$$

$$\text{Diferencia} = 147,85 - 146,06 = 1,79$$



La autonomía calculada por medio de la ecuación del ciclo Nedc es de 147,06 kilómetros y la autonomía teórica calculada es de 146,85 kilómetros, por lo que se obtiene una diferencia de 1,179 kilómetros de la ecuación con la teórica, consiguiendo una desviación estándar de: 0.1430 %, dando validez a la ecuación ya que este valor se encuentra dentro del rango permisible de error del ± 5 % .

4.4.2. Ciclo EPA:

$$\text{Autonomia Teórica} = \left[\frac{90 * 165}{100} \right] = 148,5$$

$$\text{Autonomia (Ecuación)} = 148,44 \text{ Km}$$

$$\text{Diferencia} = 148,44 - 148,5 = -0,06$$

La autonomía calculada por medio del modelo matemático es de 148,44 kilómetros y la autonomía teórica calculada es 148,5 kilómetros, por lo que se obtiene una diferencia de -0,06 kilómetros de la ecuación con la teórica, siendo una desviación estándar de: 0.04040 %, dando validez a la ecuación ya que este valor se encuentra dentro del rango permisible de error del ± 5 % .

4.5. EFECTO INCREMENTAL DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES.

Este efecto se representa por medio de barras como se muestra en la Figura 27 y 28, las barras con mayor valor indica que variable proporciona mayor información al modelo matemático de cada ciclo para la obtención de la autonomía del vehículo eléctrico.

En la figura 27 se indica que la variable que más información entrega al modelo matemático en el ciclo Nedc es el tiempo de operación, mientras que las variables: corriente de descarga, energía de descarga, temperatura del motor y odómetro entregan limitada información al modelo matemático.

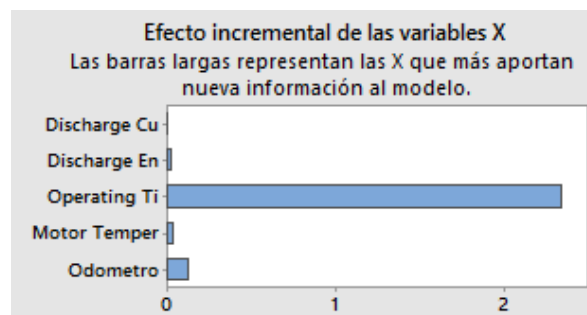


Figura 27: Efecto incremental de las variables independientes del ciclo Nedc.

Elaboración: Autores.



Mientras que la variable que más información entrega al modelo matemático en el ciclo EPA es el tiempo de operación, mientras que las variables: corriente de descarga, energía de descarga, temperatura del motor y odómetro entregan limitada información al modelo matemático, como se indica en la figura 28.

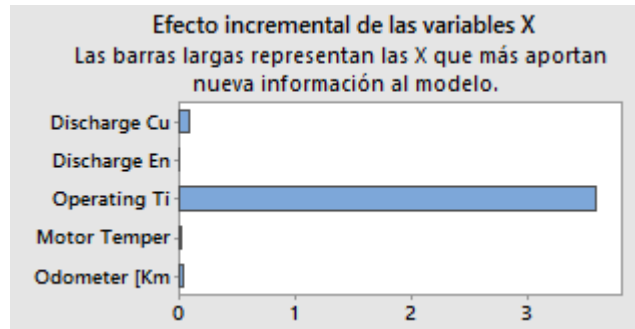


Figura 28: Efecto incremental de las variables independientes del ciclo EPA.
Elaboración: Autores.

4.6. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA AUTONOMÍA VS LAS VARIABLES MAS INFLUYENTES

Mediante este estudio se determina como se comporta la autonomía del VE en comparación con las cinco variables que más influyen en su consumo.

En la figura 29 se observa que la autonomía decrece proporcionalmente a medida que la corriente de descarga aumenta.

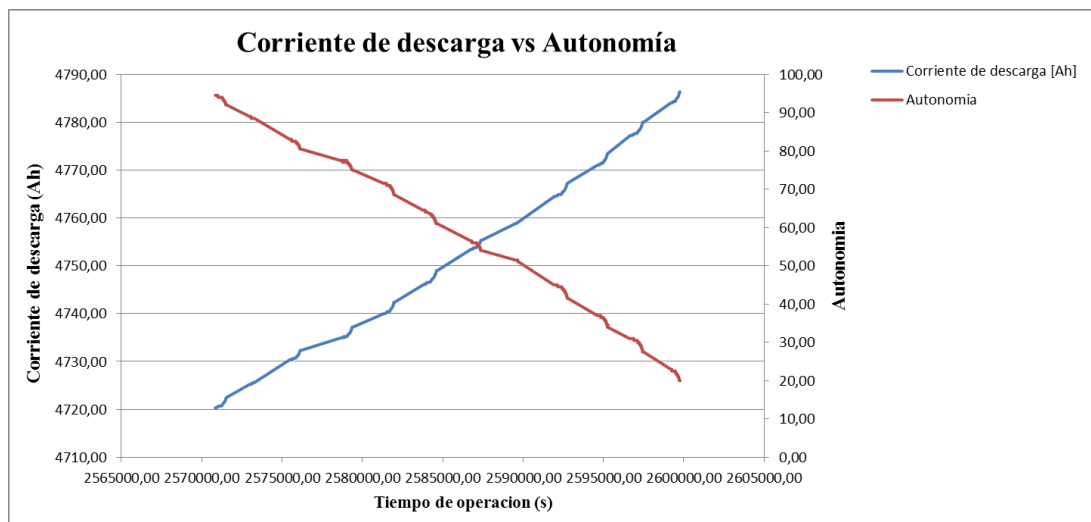


Figura 29: Comportamiento Corriente de descarga vs Autonomía ciclo Nedc.
Elaboración: Autores.

En la figura 30, se observa que la autonomía decrece proporcionalmente a medida que la Energía de descarga aumenta.

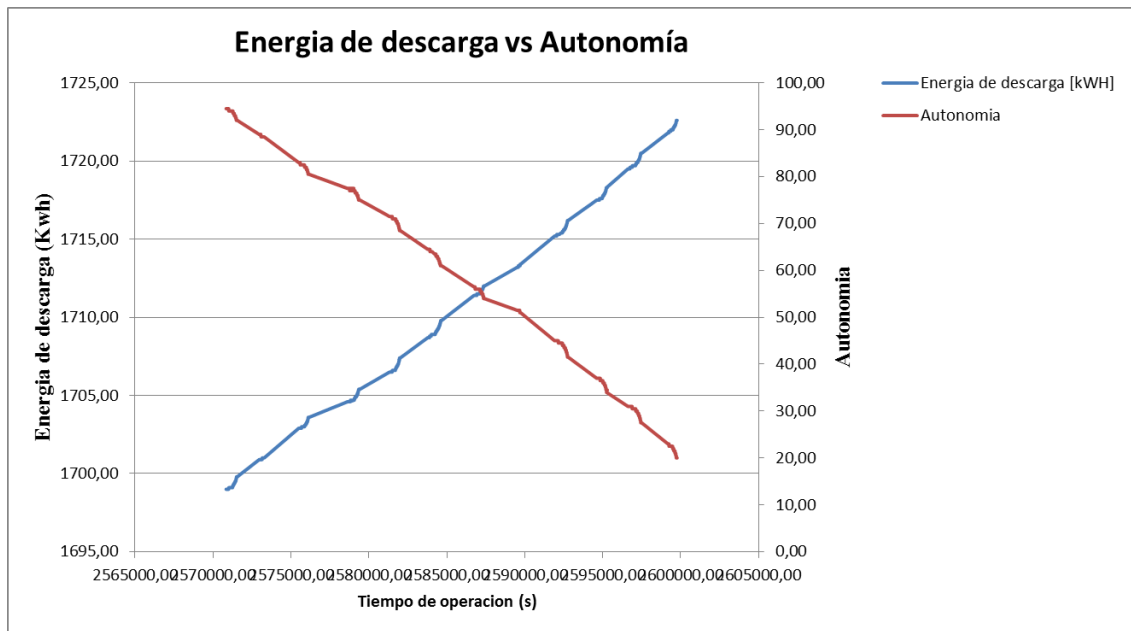


Figura 30. Comportamiento Energía de descarga vs Autonomía ciclo Nedc.
Elaboración: Autores.

En la figura 31, se visualiza el comportamiento de la autonomía en función de la temperatura del motor, con lo que se concluye que la autonomía se ve perjudicada por la temperatura del motor con un valor máximo de 54°C, con lo cual la autonomía disminuye proporcionalmente.

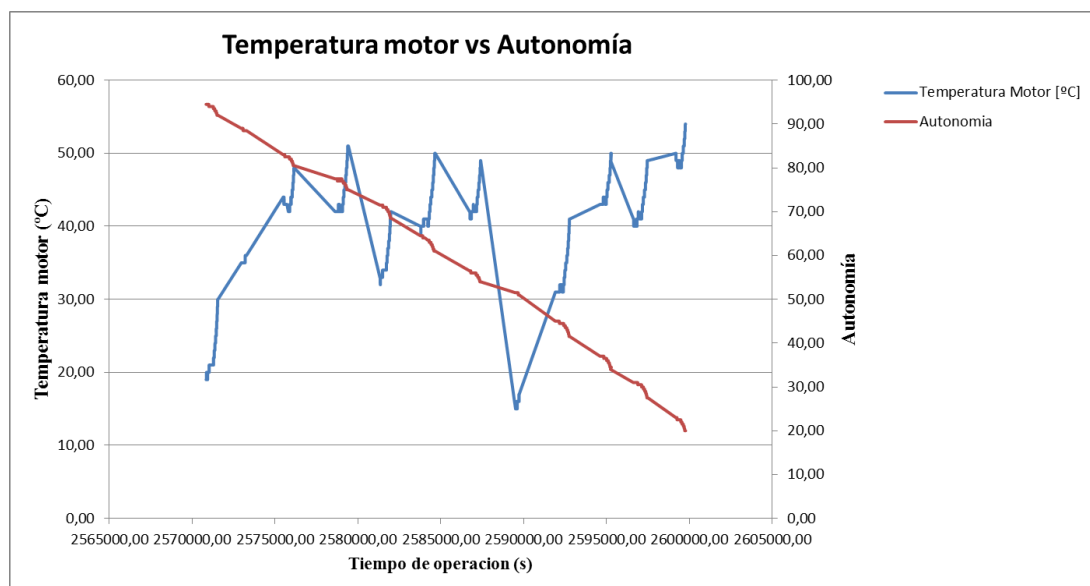


Figura 31. Comportamiento Temperatura motor vs Autonomía ciclo Nedc.
Elaboración: Autores.

En la figura 32 se observa que la autonomía decrece proporcionalmente a medida que el Odómetro (distancia de recorrido) aumenta.

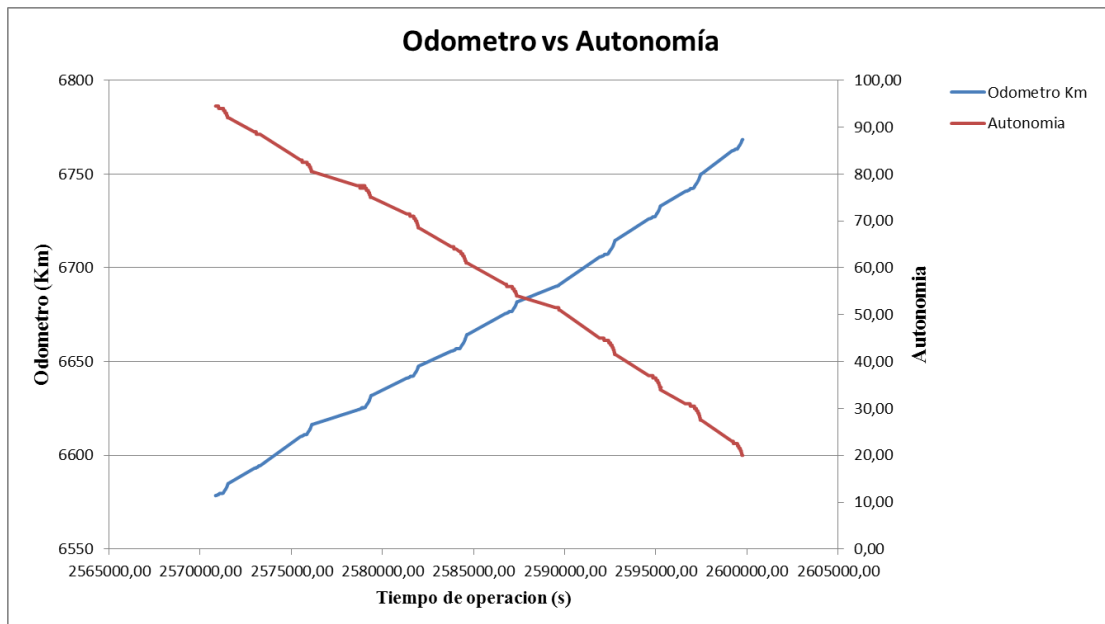


Figura 32. Comportamiento Odómetro vs Autonomía ciclo Nedc.

Elaboración: Autores.

Al observar el comportamiento de la autonomía del vehículo eléctrico en función de las variables más relevantes, en la figura 33, se observa que la autonomía decrece proporcionalmente a medida que la corriente de descarga aumenta.

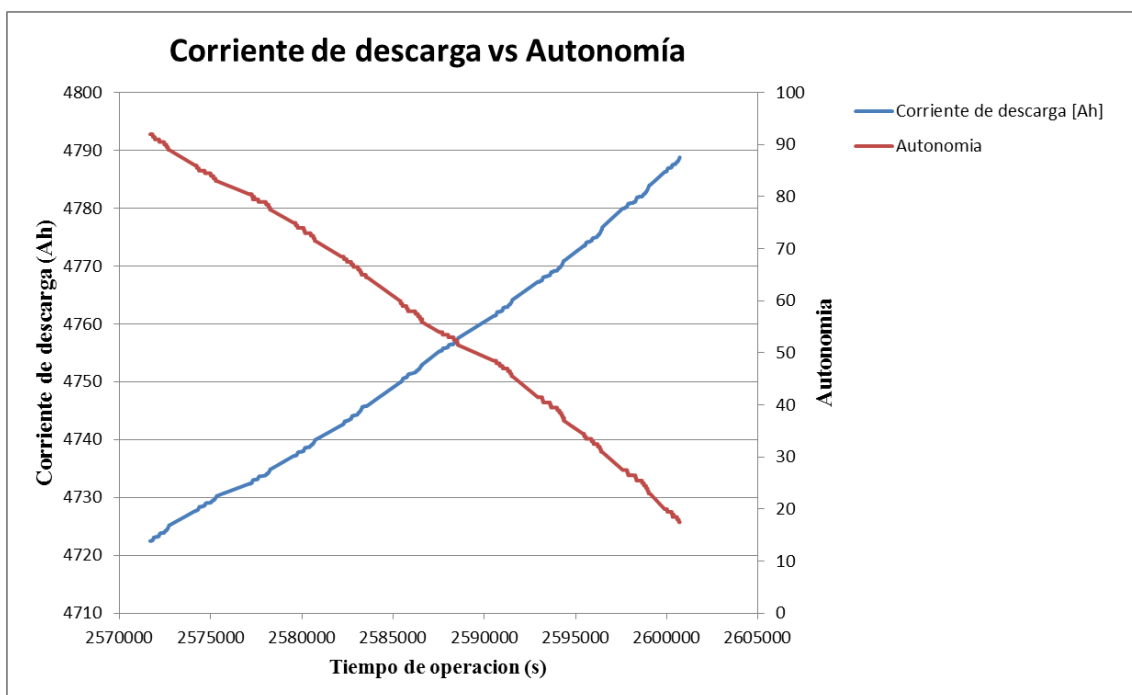


Figura 33. Comportamiento Corriente de descarga vs Autonomía ciclo EPA.

Elaboración: Autores.

En la figura 34, se observa que la autonomía va disminuyendo proporcionalmente a medida que la Energía de descarga aumenta

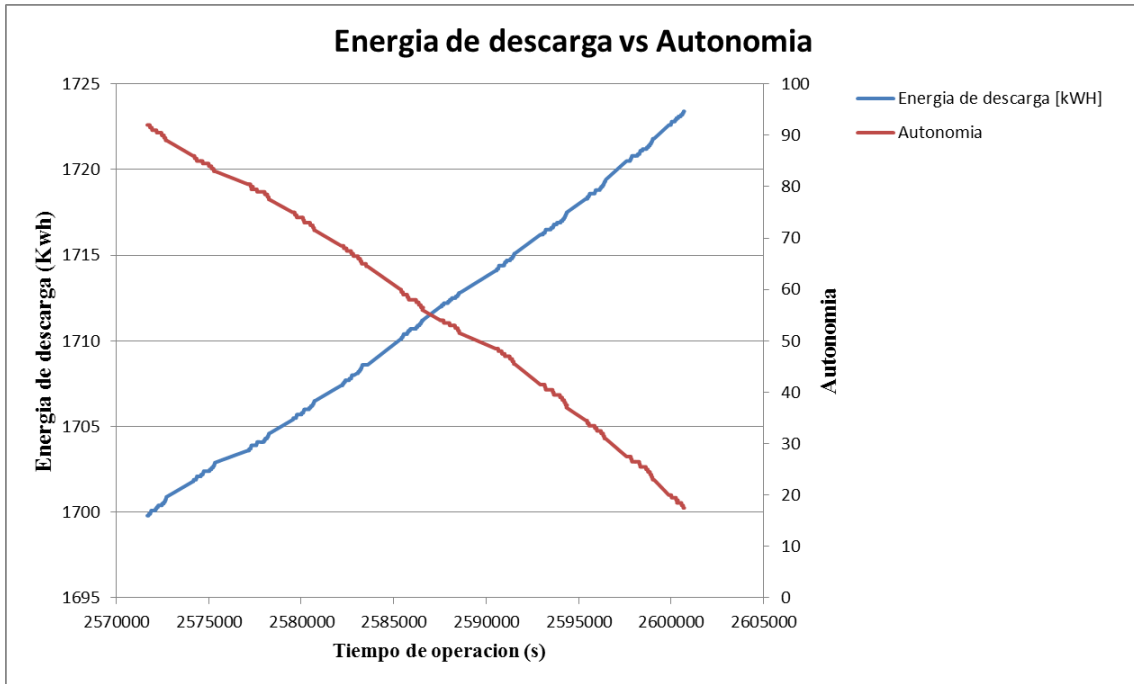


Figura 34. Comportamiento Energía de descarga vs Autonomía ciclo EPA.
Elaboración: Autores.

En la figura 35, se visualiza el comportamiento de la autonomía en función de la temperatura del motor, se determina que la autonomía se ve perjudicada por la temperatura del motor con un valor máximo de 55°C, por lo que la autonomía disminuye proporcionalmente.

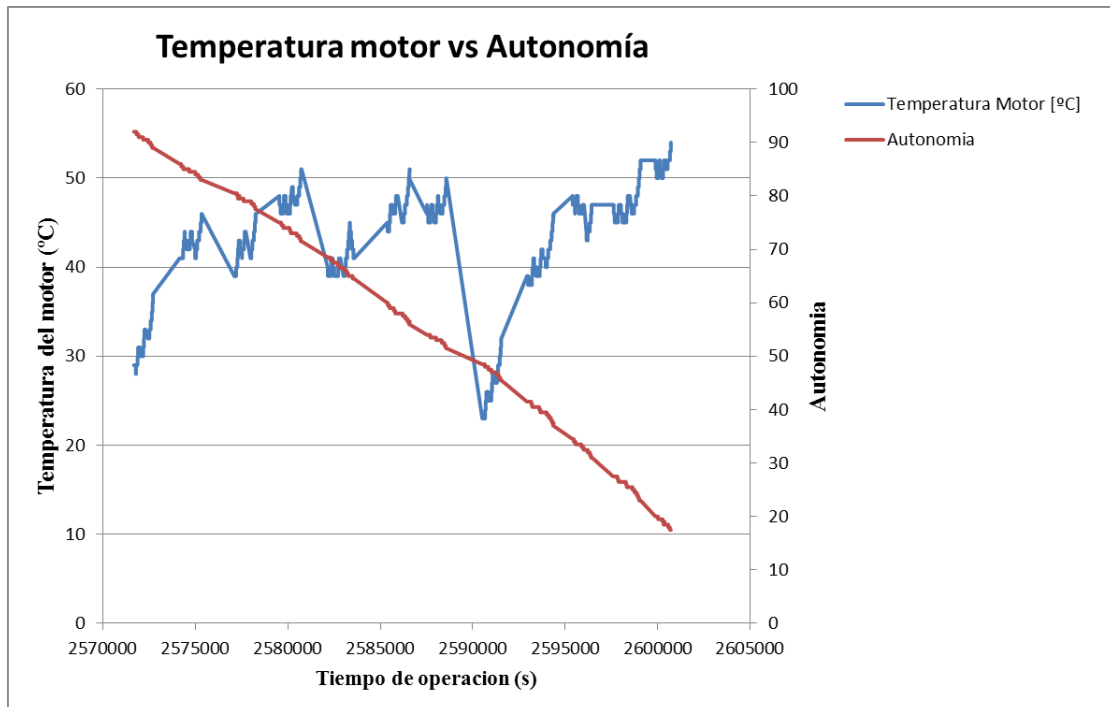


Figura 35. Comportamiento Temperatura motor vs Autonomía ciclo EPA.
Elaboración: Autores.



En la figura 36 se observa que la autonomía va disminuyendo proporcionalmente a medida que el Odómetro (distancia de recorrido) aumenta.

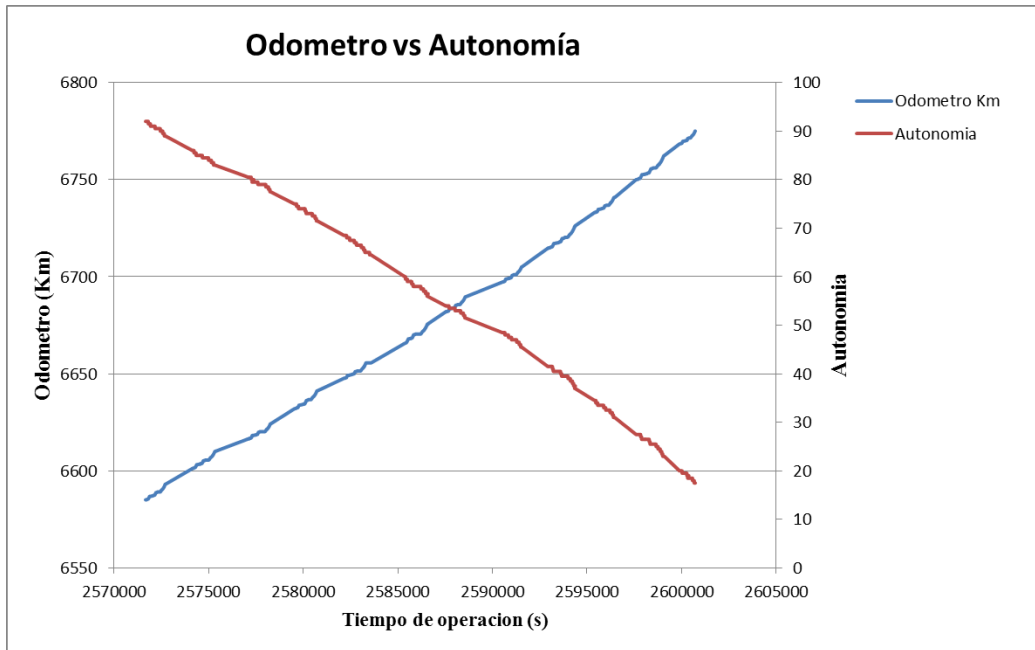


Figura 36: Comportamiento Odómetro vs Autonomía ciclo EPA.
Elaboración: Autores.



CONCLUSIONES

- Mediante el desarrollo del “Estado del arte” se adquirió información útil para comprender los ciclos de conducción homologados NEDC (Europeo) y EPA (Americano), los cuales se utilizó para la determinación de la autonomía del vehículo eléctrico.
- Al conocer los ciclos de conducción homologados NEDC (Europeo) y EPA (Americano), se logró establecer parámetros de conducción tanto “urbanos” como “extraurbanos” útiles para ejecutar las pruebas experimentales.
- Al realizar las pruebas experimentales de cada ciclo y con la ayuda del software EMOlab 2.0.1 se obtuvo la base de datos conformada por 72 variables las cuales indican el comportamiento del vehículo eléctrico segundo a segundo.
- Como resultado del análisis de correlación de Pearson, se identificaron las 5 variables que más afectan a la autonomía del vehículo eléctrico, siendo las siguientes: corriente de descarga (Ah), energía de descarga (Kwh), tiempo de operación (s), temperatura del motor (°C), odómetro (Km).
- Al determinar las variables más influyentes en la autonomía se procedió a la determinación del modelo matemático por medio de una regresión, con la cual se puede predecir la autonomía del vehículo eléctrico.
- Mediante el análisis de los efectos principales en el ciclo NEDC, se determinó la variable que mayormente afecta a la autonomía del vehículo eléctrico, es el tiempo de operación.
- Mediante el análisis de los efectos principales en el ciclo EPA, se determinó las variables que mayormente afecta a la autonomía del vehículo eléctrico son: la corriente de descarga, energía de descarga y odómetro.
- Con el análisis de efectos cruzados en el ciclo NEDC, se determinó que la corriente de descarga vs el tiempo de operación poseen una interacción directa entre las variables, esto debido, a que mientras mayor sea la diferencia entre las líneas, mayor será el grado de interacción. Así también con el análisis de efectos cruzados en el ciclo EPA, se concluye que la corriente de descarga vs el odómetro



tienen una interacción directa entre las variables, debido a que, mientras mayor sea la diferencia entre las líneas o cruce entre ellas, mayor será el grado de interacción.

- Se determinó que la autonomía del ciclo Nedc es menor que la del ciclo EPA, ya que este ciclo presenta mayores velocidades (120Km/h) en comparación con el ciclo EPA (95 Km/h).



RECOMENDACIONES

- Se sugiere que en los próximos estudios mejorar la frecuencia de muestreo para obtener resultados exactos.
- Es importante, que se pueda realizar la predicción de la autonomía del VE basados en nuevos ciclos de conducción homologados.
- Para la obtención de resultados más exactos, se considera necesario utilizar un sistema de túnel de viento que permita simular un recorrido fiable.



BIBLIOGRAFÍA

- Automotrices, S. T. (2011). El vehículo Eléctrico.
- Barlow, T., Latham, S., McCrae, I., & Boulter, P. (2009). *A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions*. TRL Limited.
- Castaño, F. S. (2016). Conducción, en condiciones reales de Galicia, de un Vehículo Eléctrico con autonomía extendida (REX). *Dinamo Técnica*, 4.
- CORP., K. M. (2015). *KIA SOUL EV*. Corea.
- David, T. (2015). *VEHÍCULOS ELÉCTRICOS - ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8050>
- Ecconex. (s.f.). Obtenido de <http://www.ecconex.com/revista/03-2012/coches-motos-electricos-hibridos.html>
- EcosHerpa. (17 de Marzo de 2016). *ECOSHERPA*. Obtenido de ECOSHERPA: www.ecosherpa.com/news/d-the-electric-car/
- Ecualé Azuay*. (29 de 05 de 2017). Obtenido de <http://www.ecuale.com/azuay/cuenca.php>
- Electromovilidad*. (2016). Obtenido de <http://electromovilidad.net/historia-del-vehiculo-electrico/>
- Epinoza, A. V. (2008). *METODO DEDUCTIVO Y METODO INDUCTIVO*. Obtenido de <http://colbertgarcia.blogspot.com/2008/04/metodo-deductivo-y-metodo-inductivo.html>
- ESPAÑA, A. G. (2015). *FACTIBILIDAD PARA LA INTEGRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS AL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO*. Quito.
- Europea, D. O. (s.f.). *MÉTODO DE MEDICIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA*.
- Europea, D. O. (s.f.). *Reglamento no 101 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas*.
- Grudilec*. (2016). Obtenido de <http://www.grudilec.com/index.php/es/historiavehiculoelectrico>
- Haldenwang, C. M. (2003). *Banco de Potencias*. Alemania.
- Harty, M. B. (2004). *The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics*. New York: Maple-Vail.
- hh. (grt). *d*.
- Kia. (2015). *Manual del Propietario*. Corea: kia Motors Corp.
- L. L. Beranek y I. L. Vér. (1992). *Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Limón, Ramon Ruiz. (s.f.). *HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO*.



- Lopez Martinez, J. M. (2015). *Vehiculos Híbridos y Electricos*.
- López, F. T. (1997). *El vehículo eléctrico: tecnología, desarrollo y perspectivas de futuro*. McGraw-Hil.
- MARCELO MERCHÁN, S. M. (2016). ANÁLISIS DEL IMPACTO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DEL CANTÓN CUENCA. Cuenca.
- Milliken, W. M. (1995). *Race Car Vehicle Dynamics*. CA: Warrendale:SAE.
- Moscardo Fuster, R. (s.f.). Modelo de un vehículo para la simulación dinámica del nuevo ciclo de conducción europeo (NEDC).
- Nisbett, R. G. (2008). *Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico, D.F.: Mc GRAW-HILL.
- P. F. Pereita. (1990). *Manual de acústica, ruido y vibraciones*. Barcelona.
- Pashey, T. (2012). *How to Build Motorcycle-engined Racing Cars*.
- Perez-Pinal, F. J. (2011). *El Vehículo Eléctrico: Consideraciones y Etapas de su Diseño*.
- Probattery. (24 de Marzo de 2017). *Probattery*. Obtenido de Probattery:
http://www.probattery.com.ar/nueva/pdf/Reemplazo_PbCaxLi-ion.pdf
- Quizhpe, B. C.-J. (Agosto de 2017). *Determinación de la autonomía real del vehículo eléctrico en la ciudad de Cuenca mediante análisis experimental*. Obtenido de
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14729>
- Sanchez, J. C. (2011). *UNIVERSIDAD DE IBAGUE*. Obtenido de
<https://tutoelectro.wikispaces.com/file/view/TUTORIAL+LABVIEW.pdf>
- Smith, C. (1978). *Tune to Win. Fallbrook*. CA: Aero Publishers.
- Zayas, F. (2014). Freno Regenerativo. 16-17.



ANEXOS

Anexo A: Hoja de Registro

HOJA DE REGISTRO POR CICLO											
Fecha:	15/8/2017	Hora de Inicio:	10:15	CICLOS:	NEDC - EPA	URBANO		EXTRAURBANO			
Solicitante:	Diego Duque	Batería:	90%			X					
Autorizado:	Ing. Milton García	Autonomía:	205								
DATOS INICIALES VE											
MODO DE MANEJO	DRIVE	DRIVE ECO	BRAKE	BRAKE ECO	MODO ECO	ON	OFF				
	X							X			
PARAMETROS CONTROLADOS											
LUCES		RADIO		AIRE ACONDICIONADO		LIMPIAPARABRISAS		CALEFACCION		VENTANAS	
ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ABIERTAS	CERRADAS
	X		X		X		X		X		X