



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE UN AUTO ELÉCTRICO CON BATERÍAS DE PLOMO ÁCIDO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
MAGÍSTER EN SISTEMAS AUTOMOTRICES

**GERARDO RIGOBERTO ARTEAGA RODRÍGUEZ**

gerardo.arteaga@epn.edu.ec

**JOSÉ ROLANDO BALSECA AGUAS**

rolando.balseca@epn.edu.ec

**DIRECTOR: ING. ÁNGEL ADALBERTO PORTILLA AGUILAR Mgs.**

angel.portilla@epn.edu.ec

Quito, marzo 2017

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores GERARDO RIGOBERTO ARTEAGA RODRÍGUEZ y JOSÉ ROLANDO BALSECA AGUAS, bajo mi supervisión.

---

Ing. Ángel Portilla Mgs.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

## **DECLARACIÓN**

Nosotros, Gerardo Rigoberto Arteaga Rodríguez y José Rolando Balseca Aguas, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

**Gerardo Rigoberto Arteaga Rodríguez**

---

**José Rolando Balseca Aguas**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado con todo mi amor a Dios mi creador, por tan generosa bondad, y sabiduría para culminar un paso más en mi vida.

A mi esposa Carolina, por ser un apoyo en mi vida y guiarme a culminar las metas propuestas, con afán, esmero y dedicación.

A mis padres y hermanos por ser un ejemplo a seguir, todo ese afán de superación, de emprendimiento a generar fuentes de trabajo en las distintas empresas.

A mi hija Sarahi, por el amor incondicional a pesar de los problemas que ha sucedido.

**Rolando**

## DEDICATORIA

Dedicado a Dios, por guiar día a día mi camino y permitirme seguir adelante a pesar de las dificultades.

A mi querida esposa Sandra, por su amor y apoyo incondicional en cada uno de nuestros emprendimientos.

A mis hijos Daniel, Abigail y Paula por ser el bálsamo que cura mis heridas.

A mis padres y hermanos, por su cariño, afecto y preocupación permanente.

A Rosita, mi querida abuela por sus consejos y amor.

**Gerardo**

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento muy especial al Mgs. Ing. Ángel Portilla, por su inmejorable labor como docente, su invaluable apoyo y acertada dirección en esta investigación.

A la unidad de Posgrados de Ingeniería Mecánica por la seriedad en la organización y desarrollo de la Maestría, y por las facilidades prestadas para poderla culminar con éxito.

Al CCICEV y su personal por el apoyo en la realización de esta investigación.

A la empresa Ambacar, por el interés mostrado en la investigación y su apoyo para llevarla a efecto.

**Rolando y Gerardo**

## ÍNDICE

<b>Certificación</b>	<b>i</b>
<b>Declaración</b>	<b>ii</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>iii</b>
<b>Agradecimiento</b>	<b>v</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>viii</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>x</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
Pregunta de Investigación	14
Objetivo general	14
Objetivos específicos	14
Alcance	14
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>15</b>
1.1. Historia	15
1.2 Parámetros cuantitativos del auto eléctrico	16
1.3 Componentes principales del auto eléctrico	20
<b>2. PROTOCOLO DE PRUEBAS</b>	<b>25</b>
2.1 Pruebas	25
2.1.1 Pruebas de evaluación del desempeño energético	25
2.1.2 Pruebas de evaluación del desempeño mecánico	25
2.2 Auto eléctrico y equipos	26
2.2.2 Equipos	27
2.3 Procedimiento	32
2.3.1 Prueba 1. Autonomía	32
2.3.2 Prueba 2. Prueba de tiempo de carga del banco de baterías	36
2.2.3 Prueba 3. Determinación de la aceleración en plano	37
2.2.4 Prueba 4. Capacidad de arranque en pendiente (Startability)	37
2.2.5 Prueba 5. Capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability)	38
2.2.6 Prueba 6. Recuperación en plano	39

2.2.7 Prueba 7. Arranque en pendiente a varios porcentajes de carga	39
<b>3. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN</b>	<b>41</b>
3.1 Prueba de autonomía	41
3.1.2 Amperios-hora vs. tiempo	43
3.1.3 Voltaje vs. tiempo	45
3.1.4 Intensidad de corriente vs. tiempo	47
3.1.5 Potencia vs. tiempo	50
3.1.6 Determinación de la autonomía	53
3.2 Prueba de tiempo de carga	60
3.3 Prueba de determinación de la aceleración en plano	61
3.4 Prueba de capacidad de arranque en pendiente (Startability)	62
3.5 Prueba de capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability)	63
3.6 Prueba de recuperación en plano	65
3.7 Prueba de arranque en pendiente a varios porcentajes de carga	66
3.8 Costos de operación y mantenimiento	67
3.8.1 Costo del consumo energético de acuerdo al fabricante	68
3.8.2 Auto eléctrico (AE) vs motor de combustión interna (MCI)	68
3.8.3 Costo de consumo energético de acuerdo a la autonomía real	69
3.8.4 Costo de mantenimiento	70
3.8.5 Análisis de costos totales de operación y mantenimiento en 100.000 km	72
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>74</b>
4.1 Conclusiones	74
4.2 Recomendaciones	74
Referencias Bibliográficas	76
Anexos	78



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Modo de carga de un auto eléctrico	17
Figura 1.2	Cargador de baterías	20
Figura 1.3	Banco de baterías	21
Figura 1.4	Convertidor	21
Figura 1.5	Inversor	22
Figura 1.6	Motor eléctrico	22
Figura 1.7	Sistema de control	23
Figura 1.8	Esquema general de los componentes de un auto eléctrico con motor de corriente continua (DC)	23
Figura 1.9	Esquema general de los componentes de un auto eléctrico con motor de corriente alterna (AC)	24
Figura 2.1	Auto eléctrico de pruebas	27
Figura 2.2	Multímetro	28
Figura 2.3	Monitor BMV – 702	29
Figura 2.4	G.P.S.	30
Figura 2.5	Cronómetro	31
Figura 2.6	Termómetro	31
Figura 2.7	Esquema de conexión del monitor BMV – 720	33
Figura 2.8	Dispositivo BMV - 720 conectado. a) Espacio determinado para la conexión. b) Conexión del dispositivo	33
Figura 2.9	Monitor del dispositivo BMV - 720 conectado	33
Figura 2.10	Ruta de ciclo combinado	35
Figura 2.11	Ciclo carretera. Autopista General Rumiñahui	35
Figura 2.12	Ciclo ciudad. Guápulo – Coruña – Orellana – 10 de Agosto – Amazonas Veintimilla – CCICEV	36
Figura 3.1	Carga vs. tiempo en la prueba de autonomía	42
Figura 3.2	Amperios hora consumidos vs. tiempo	44
Figura 3.3	Voltaje 1 vs. tiempo en la prueba de autonomía	46
Figura 3.4	Voltaje 2 vs. tiempo	46
Figura 3.5	Voltaje 3 vs. tiempo	46
Figura 3.6	Intensidad de corriente 1 vs. tiempo	48
Figura 3.7	Intensidad de corriente 2 vs. tiempo	49
Figura 3.8	Intensidad de corriente 3 vs. tiempo	49
Figura 3.9	Potencia 1 vs. tiempo	51

Figura 3.10	Potencia 2 vs. tiempo	52
Figura 3.11	Potencia 3 vs. tiempo	52
Figura 3.12	Curvas de regresión Amperios-hora vs. tiempo	58
Figura 3.13	Tiempo de carga del banco de baterías	60
Figura 3.14	Tiempo vs. % de carga	61
Figura 3.15	Velocidad vs. tiempo en la prueba de Startability	63
Figura 3.16	Velocidad vs. tiempo en la prueba de Gradeability	64
Figura 3.17	Velocidad vs. tiempo en recuperación en plano	65
Figura 3.18	Velocidad vs. tiempo en pendiente a varios porcentajes de carga	67
Figura 3.19	Costo de consumo energético según fabricante cada 100 km	68
Figura 3.20	Costo de consumo energético de acuerdo a la autonomía real cada 100 km	69
Figura 3.21	Costos de mantenimiento cada 100000 km	71
Figura 3.22	Costos totales de operación y mantenimiento cada 100000 km	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Distancias en el ciclo combinado ciudad – carretera	34
Tabla 3.1	Resultados de % de carga y tiempo en la prueba de autonomía	41
Tabla 3.2	Resultados de los amperios-hora y tiempo en la prueba de autonomía	43
Tabla 3.3	Resultados de voltaje y tiempo en la prueba de autonomía	44
Tabla 3.4	Resultados de voltaje en las pruebas de autonomía	47
Tabla 3.5	Resultados de intensidad de corriente y tiempo en la prueba de autonomía	47
Tabla 3.6	Resultados de intensidad de corriente en la prueba de autonomía	50
Tabla 3.7	Resultados de potencia y tiempo en la prueba de autonomía	50
Tabla 3.8	Resultados de la potencia en las pruebas de autonomía	53
Tabla 3.9	Datos de regresión amperios-hora vs. tiempo en la primera prueba	55
Tabla 3.10	Datos de regresión amperios-hora vs. tiempo en la segunda prueba	56
Tabla 3.11	Datos de regresión amperios-hora vs. tiempo en la tercera prueba	57
Tabla 3.12	Resultados de la prueba de autonomía en horas	59
Tabla 3.13	Velocidad promedio del auto eléctrico en la prueba de autonomía	59
Tabla 3.14	Resultados del tiempo de carga de las baterías	60
Tabla 3.15	Resultados de la prueba de aceleración en plano	61
Tabla 3.16	Resultados de la prueba de capacidad de arranque en pendiente (Startability)	62
Tabla 3.17	Resultados de la prueba de capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability)	63
Tabla 3.18	Resultados de la prueba de recuperación en plano	65
Tabla 3.19	Resultados de la prueba de arranque en pendiente a varios porcentajes de carga	66
Tabla 3.20	Costo del consumo energético por cada 100 km según datos del fabricante	68
Tabla 3.21	Costo del consumo energético por cada 100 km según resultados de autonomía	69
Tabla 3.22	Costo de mantenimiento para un periodo de 100000 km cada 5000 km	70
Tabla 3.23	Costo de mantenimiento para un periodo de 100000 km	71
Tabla 3.24	Costo total de operación y mantenimiento para un periodo de 100000 km	72

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la factibilidad de uso de un auto eléctrico con baterías de plomo ácido en relación con las condiciones topográficas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), para esto se caracterizó los parámetros cuantitativos que influyen en el desempeño energético y mecánico del auto; se realizaron las pruebas de autonomía, tiempo de carga, determinación de la aceleración en plano, capacidad de arranque en pendiente, capacidad de ascenso en pendiente, recuperación en plano, arranque en pendiente a varios porcentajes de carga, y se llevó a cabo también el estudio de costos de operación y mantenimiento. La metodología aplicada es de tipo experimental puesto que se diseñó un protocolo de pruebas que permitió operativizar el procedimiento para la obtención de resultados. Para este propósito, el auto fue instrumentado con el equipo de monitoreo BMV – 702, que posibilitó obtener los valores en tiempo real de las variables eléctricas que intervienen directamente en la carga de las baterías. Sobre la base del estudio realizado, se llegó a la conclusión de que el uso de este auto tiene limitadas prestaciones energéticas para las condiciones topográficas del DMQ por su baja autonomía que no supera los 61 Km por lo que se debe utilizar en recorridos cortos. Desde el punto de vista económico se recomienda su uso por sus bajos costos de operación y mantenimiento en comparación con vehículos de combustión interna. Por todo esto, se puede afirmar que se cumplieron los objetivos planteados en la investigación, cuyos resultados son de relevancia para el desarrollo del conocimiento en el campo automotriz.

**Palabras clave:** Autonomía, auto eléctrico, protocolo de pruebas, energético

## ABSTRACT

This research is to determine the feasibility of using an electric car with lead acid batteries in relation to the topographic conditions of the Metropolitan District of Quito (DMQ). The quantitative parameters that influence in the energy and mechanical performance were characterized. The tests of autonomy, the time of load, the determination of the acceleration in the plane, the ability to start in the pendant, the capacity of ascent in the pendant, the recovery in the plane, the start in the pendant of several percentages of load, and study of costs of operation and maintenance are analyzed in this investigation. The applied methodology is of experimental type since a protocol of tests was designed that allowed to operative the procedure to obtain results. For this purpose, the car was instrumented with the BMV - 702 monitoring equipment, which allowed obtaining the real - time values of the electric variables that intervene directly in the battery charge. Based on the study, it was concluded that the use of this car has limited energy performance for the topographic conditions of the DMQ due to its low autonomy that does not exceed 61 km and therefore should be used in short courses. From the economic point of view it is recommended to use them due to their low operating and maintenance costs when compared to internal combustion vehicles. . For all that can be done, the objectives set in the research have been fulfilled, the results of which are relevant for the development of knowledge in the automotive field.

**Key words:** Autonomy, electric car, test protocol, energy

# **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE UN AUTO ELÉCTRICO CON BATERÍAS DE PLOMO ÁCIDO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

## **INTRODUCCIÓN**

Uno de los principales problemas a nivel mundial es el alto índice de emisiones de CO<sub>2</sub> (Dióxido de carbono), principalmente debido al uso de combustibles fósiles en el sistema de transporte, lo que ha incrementado el calentamiento global debido al efecto invernadero provocado por estos gases. En este contexto, se están desarrollando investigaciones para la inserción de nuevas tecnologías que permitan disminuir considerablemente estas emisiones y evitar el deterioro acelerado del medio ambiente.

Dentro de estas nuevas tecnologías se encuentra el uso de autos eléctricos, los mismos que no necesitan de un motor de combustión interna para su funcionamiento, evitándose así el consumo de combustibles fósiles y en consecuencia la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

En Ecuador, el Plan Nacional del Buen Vivir expresa la necesidad de disminuir la utilización de combustibles fósiles, ya que el sector del transporte representa el 56% del uso total de energía en el país. Además, en este ámbito el 85% del consumo energético se refiere a gasolinas y diésel, lo que permite pensar en los autos eléctricos como una alternativa real para la reducción de las emisiones [1]. Es así que el Ministerio Coordinador de la Producción, Empleo, y Competitividad, firmó un convenio para la comercialización y fabricación de autos eléctricos en el país, como una de las acciones para llevar adelante el cambio de la matriz productiva.

La importancia del tema de investigación radica en la necesidad de determinar el comportamiento de un auto eléctrico con baterías de plomo ácido en las condiciones topográficas y por el alto tráfico del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Además, se necesita conocer desde el punto de vista económico el impacto que su implementación causaría debido a la sustitución de combustibles fósiles por la tracción obtenida a través de motores eléctricos.

En consecuencia, es necesario resaltar que la altura, condiciones de tráfico y vías empinadas del DMQ, hacen que el uso de los autos sea considerado de condiciones severas de trabajo, por lo que es primordial el estudio del desempeño energético y mecánico del auto eléctrico en estas condiciones para la determinación de su factibilidad de uso.

## **Pregunta de Investigación**

¿Cuál es la factibilidad de uso de un auto eléctrico con baterías de plomo ácido en el DMQ?

## **Objetivo general**

Determinar la factibilidad del uso de un auto eléctrico con baterías de plomo ácido en el DMQ.

## **Objetivos específicos**

Caracterizar los parámetros cuantitativos que intervienen en el desempeño energético y mecánico del auto eléctrico con baterías de plomo ácido.

Realizar las pruebas de desempeño energético y mecánico de un auto eléctrico con baterías de plomo ácido instrumentado para tal efecto, en las condiciones topográficas del DMQ.

Determinar la factibilidad energética, mecánica y estudio de costos de operación y mantenimiento del uso de un auto eléctrico con baterías de plomo ácido en el DMQ.

## **Alcance**

La investigación se centrará en el estudio de las características energéticas y mecánicas de un auto eléctrico con baterías de plomo ácido desarrollando las pruebas de: autonomía, determinación de la aceleración en plano, capacidad de arranque en pendiente, capacidad de ascenso en pendiente, recuperación en plano, arranque en pendiente a varios porcentajes de carga, tiempo de carga, y estudio de costos de operación y mantenimiento para la determinación de su factibilidad de uso en el DMQ.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Historia

El auto eléctrico fue uno de los primeros automóviles que se desarrollaron, antes que los vehículos con motores de combustión interna a diésel o gasolina. Desde 1832 cuando se inventó el primer vehículo eléctrico desarrollado por Robert Anderson, ha ido perfeccionándose hasta que se desarrolló la batería lo que mejoró el avance de estos autos [2]

Francia y Gran Bretaña fueron los países que apoyaron el desarrollo generalizado de los autos eléctricos. En noviembre de 1881, el inventor francés Gustave Trouvé presentó un automóvil de tres ruedas en la Exposición Internacional de la Electricidad de París [3]

Poco antes de 1900, antes de la preeminencia de los motores de combustión interna, los automóviles eléctricos realizaron registros de velocidad y distancia notables, entre los que destacan la ruptura de la barrera de los 100 km/h de Camille Jenatzy el 29 de abril de 1899, que alcanzó una velocidad máxima de 105,88 km/h [2]

Los automóviles eléctricos, producidos en los Estados Unidos por Anthony Electric, Baker, Detroit, Edison, Studebaker, y otros durante los principios del siglo XX tuvieron relativo éxito comercial. Debido a las limitaciones tecnológicas, la velocidad máxima de estos primeros vehículos eléctricos se limitaba a unos 32 km/h, por eso fueron vendidos como coche para la clase alta y con frecuencia se comercializaban como vehículos adecuados para las mujeres debido a conducción limpia, tranquila y de fácil manejo especialmente al no requerir el arranque manual con manivela que si necesitaban los automóviles de gasolina de la época [4]

En España, los primeros intentos se remontan a la figura de Emilio de la Cuadra. Tras una visita a la Exposición Internacional de la Electricidad por motivos profesionales, se interesó por los motores eléctricos tras haber quedado sorprendido por las carreras celebradas en el circuito París – Burdeos – París en 1895. A través de su compañía, construyó diversos prototipos de vehículos eléctricos. Sin embargo, la falta de tecnología y recursos materiales y económicos provocó que desechara todos los proyectos y dedicara una docena de automóviles con motor de explosión, bajo el nombre de La Cuadra. La empresa cerró en 1901 debido a la falta de dinero y una huelga [5]



La introducción del arranque eléctrico del Cadillac en 1913 simplificó la tarea de arrancar el motor de combustión interna, que antes de esta mejora resultaba difícil y a veces peligroso. Esta innovación, junto con el sistema de producción en cadenas de montaje de forma masiva y relativamente barata implantado por Ford desde 1908, contribuyó a la caída del vehículo eléctrico. Además, las mejoras se sucedieron a mayor velocidad en los vehículos de combustión interna que en los vehículos eléctricos [6]

A finales de 1930, la industria del automóvil eléctrico desapareció por completo, quedando relegada a algunas aplicaciones industriales muy concretas, como montacargas (introducidos en 1923 por Yale), toros elevadores de batería eléctrica, o más recientemente carros de golf eléctricos, con los primeros modelos de Lektra en 1954 [6]

Esta investigación se centra en los parámetros cuantitativos del auto eléctrico para su funcionamiento y uso en el Distrito Metropolitano de Quito. Por lo tanto, es necesario revisar algunos conceptos básicos para interiorizar el estudio que se realiza y tener en consideración el aporte del mismo dentro de la investigación. No obstante, se desarrolla también una descripción de sus sistemas y componentes como aporte a la fundamentación teórica del presente proyecto.

A continuación, se describen los parámetros cuantitativos para el correcto funcionamiento del auto eléctrico. Además, es importante señalar que se presentarán las pruebas necesarias que permiten determinar los valores de estos parámetros para su análisis, evaluación y toma de decisiones.

## **1.2 Parámetros cuantitativos del auto eléctrico**

Los parámetros cuantitativos del auto eléctrico que se estudiaron en la presente investigación son: intensidad de carga, intensidad de corriente, potencia, amperios – hora consumidos, estado de la carga, autonomía, modo de carga, desempeño energético, desempeño mecánico.

### **1.2.1 Intensidad de carga**

La intensidad de carga es la cantidad de carga requerida para la realización de una carga lenta o una carga rápida del banco de baterías de plomo – ácido con que cuenta un vehículo eléctrico [7]

### 1.2.2 Intensidad de Corriente

Se define como la corriente real que sale de la batería denominada señal negativa o de la cantidad de corriente que ingresa a la batería llamada señal positiva [7]

### 1.2.3 Potencia

La potencia extraída de la batería (señal negativa) o añadida a la batería (señal positiva) [7]

### 1.2.4 Amperios – hora consumidos

Se denomina así, a la cantidad de amperios hora extraídos del banco de baterías de plomo – ácido instaladas en el auto eléctrico. Esta cantidad de amperios hora son los necesarios para poder brindar la propulsión necesaria en el motor eléctrico [7]

### 1.2.5 Estado de la carga

Está dado por el indicador de cuanta carga tiene el banco de baterías de plomo ácido. Una batería completamente cargada se mostrará con un valor el 100%. Una batería completamente descargada se mostrará con un valor de 0,0% [7]

### 1.2.6 Autonomía

Muestra una valoración del tiempo que la batería podrá soportar la carga presente hasta que necesite una recarga. La autonomía restante mostrada, es el tiempo que falta para alcanzar el límite de descarga [7]

### 1.2.7 Modo de carga

En la Figura 1.1 se presenta la infraestructura necesaria para la recarga de un auto eléctrico.

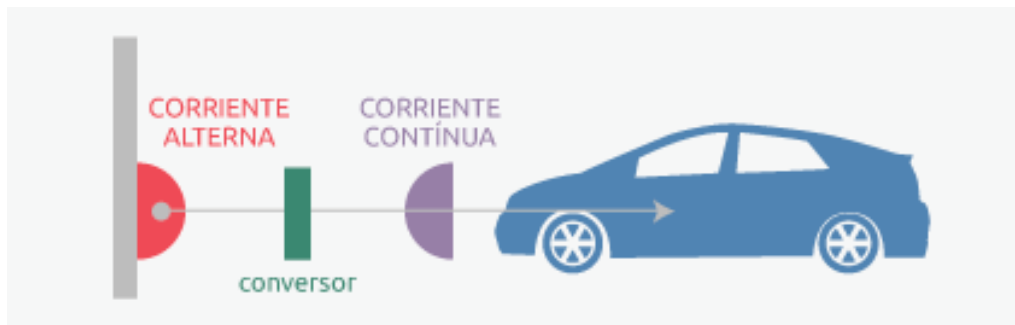


Figura 1.1. Modo de carga de un auto eléctrico.  
(Fuente: <http://www.enchufing.com/>) [8]

La recarga de un auto eléctrico se realiza con la infraestructura necesaria desde un tomacorriente de corriente alterna, llevando la energía a un convertidor para obtener corriente continua. Este modo de carga se aplica a la recarga rápida.

### **1.2.8 Desempeño energético**

El desempeño energético consiste en la determinación del comportamiento que tiene el auto eléctrico desde el punto de vista de las variables cuantitativas anotadas. Por lo tanto, es importante realizar la prueba necesaria para poder describir este comportamiento. La prueba para determinar el desempeño energético del auto eléctrico instrumentado para el efecto es la autonomía o consumo neto de energía.

### **1.2.9 Consumo neto de energía – Autonomía**

La autonomía de un auto eléctrico se puede definir como la distancia máxima que el auto puede recorrer antes de que sea necesario recargar las baterías. La autonomía depende de tres factores importantes: la capacidad, modelo de la batería, la conducción y la topografía de la ciudad [9]

### **1.2.10 Regeneración energética**

Un auto eléctrico al moverse en pendiente puede regenerar energía mediante la aplicación de los frenos, puesto que su motor es capaz de invertir su funcionamiento y actuar como un generador. Esta funcionalidad permite que, no solo desacelerando, si no con una suave frenada, el motor pueda convertir la energía cinética en eléctrica y sea capaz de cargar la batería. Al frenar, el motor eléctrico es capaz de regenerar hasta 43 kW, permitiendo recuperar alrededor del 20% de la energía cinética del auto eléctrico [10]

### **1.2.11 Tiempo de recarga**

El tiempo de recarga de la batería, depende de los tipos de recarga. Los tipos de recarga se conocen comúnmente como recarga convencional y rápida.

La rapidez de la recarga se obtiene según el tipo de corriente eléctrica, que puede ser alterna o continua, obteniendo distintos niveles de amperaje; y, en consecuencia, de potencia eléctrica. En la práctica, una infraestructura de recarga con una potencia más alta permite recargas más rápidas.

La recarga convencional de un auto eléctrico se estima entre 6 – 8 horas de conexión. La carga convencional monofásica emplea la intensidad y voltaje eléctricos del mismo nivel que la propia vivienda, es decir, 16 amperios y 110 voltios. Esto implica que la

potencia eléctrica que puede entregar el punto de conexión para este tipo de cargas es de aproximadamente 3,7 kW. Esta solución es óptima, fundamentalmente, para recargar el auto eléctrico durante la noche en un garaje de una vivienda unifamiliar o garaje comunitario [11]

Para conseguir que el vehículo eléctrico sea una realidad y teniendo en cuenta el sistema eléctrico actual, la recarga óptima desde el punto de vista de eficiencia energética, es realizar este tipo de recarga durante el período nocturno, que es cuando menos demanda energética existe

La recarga rápida de un auto eléctrico se estima en 30 minutos, tiempo en el cual el banco de baterías se carga aproximadamente el 80%. Este porcentaje depende de la temperatura de la batería y del estado de la carga [12]

La carga rápida emplea una mayor intensidad eléctrica, y, además, entrega la energía en corriente continua, obteniéndose una potencia de salida del orden de 50 kW [11] Esta solución es la que, desde el punto de vista del cliente, se asemeja a sus hábitos actuales de tanqueo de combustible con un vehículo de combustión interna.

Las exigencias a nivel eléctrico son mayores que en la recarga convencional. Lo que puede implicar la necesidad de adecuación de la red eléctrica existente.

#### **1.2.12 Desempeño mecánico**

El desempeño mecánico se define como la capacidad que tiene el auto eléctrico para comportarse adecuadamente en diferentes condiciones de terreno. Para determinar este desempeño, es necesario desarrollar las pruebas que permitan describir este comportamiento. Las pruebas a efectuarse son:

#### **1.2.13 Aceleración en plano**

La aceleración en plano, está delimitada por el tiempo que se necesita para que el auto eléctrico pueda alcanzar 85 km/h en una carretera plana, considerando distintos porcentajes de carga de la batería al inicio de la prueba, con un peso aproximado de 375 kg [13]

#### **1.2.14 Capacidad de arranque en pendiente (Startability)**

La capacidad de arranque en pendiente, está determinada por el grado máximo en el que el auto eléctrico puede iniciar su ascenso por una pendiente definida a distintos porcentajes de carga del banco de baterías al inicio de la prueba.

### 1.2.15 Capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability)

La capacidad de ascenso en pendientes determina el grado máximo en el que el auto eléctrico puede ascender y adelantar en una pendiente definida, en los distintos porcentajes de carga del banco de baterías al inicio de la prueba, con un peso aproximado de 375 kg.

### 1.2.16 Recuperación en plano

La recuperación en plano está definida como el uso mínimo de energía eléctrica; al lograr conseguir una velocidad de 85 km/h, previamente estabilizada en 64 km/h [13]

### 1.2.17 Pendiente a varios porcentajes de carga

Esta prueba está definida por el tiempo que logra el auto eléctrico en llegar a una velocidad de 65 km/h, en una determinada pendiente, a los distintos porcentajes de carga del banco de baterías al inicio de la prueba [13]

## 1.3 Componentes principales del auto eléctrico

Un auto eléctrico se compone básicamente de los siguientes elementos: motor eléctrico, batería, convertor, cargador y sistema de procesamiento de datos o control.

### 1.3.1 Cargador

El cargador o transformador convertidor es aquel elemento que absorbe la electricidad de forma alterna directamente desde la red y la transforma en corriente continua. En la Figura 1.2 se presenta el cargador de baterías con que cuenta el auto eléctrico de pruebas. La alimentación de entrada de 110 – 220 V y es on – board, instalado en la parte posterior del auto.



Figura 1.2. Cargador de baterías  
(Fuente: Propia, 2016)

### 1.3.2 Baterías

El banco de baterías de plomo - ácido almacena la energía que le cede el cargador en forma de corriente continua (DC). Este banco de baterías es el medio por el que se alimenta todo el coche eléctrico. En los vehículos que tienen un motor eléctrico de corriente continua, este banco de baterías iría directamente conectada al motor. En cambio, en los vehículos eléctricos que tienen un motor eléctrico de corriente alterna, el banco de baterías iría conectada a un inversor.



Figura 1.3. Banco de baterías.  
(Fuente: Propia, 2016)

### 1.3.3 Convertidor

El convertidor transforma la alta tensión de corriente continua, que aporta el banco de baterías, en baja tensión de corriente continua. Este tipo de corriente es el que se utiliza para alimentar las baterías auxiliares de 12 V, que son las que alimentan los componentes auxiliares eléctricos del auto.

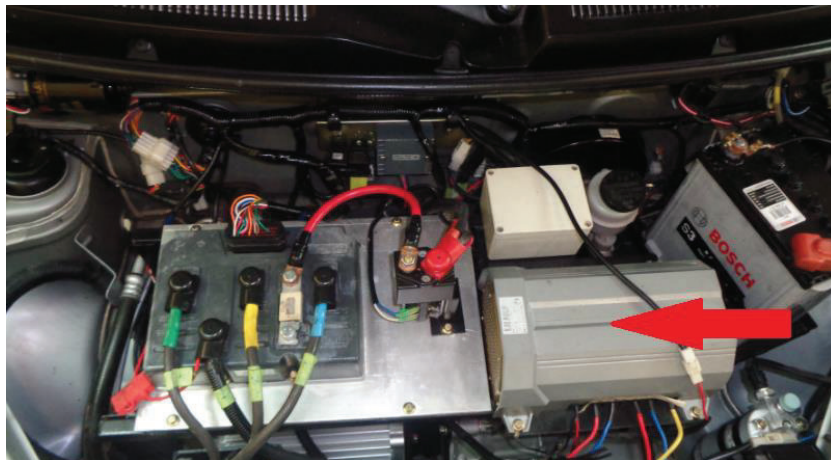


Figura 1.4. Convertidor.  
(Fuente: Propia, 2016)

### 1.3.4 Inversor

Los inversores u onduladores son los encargados de transformar la corriente continua que cede el banco de baterías, en corriente alterna. De esa manera se puede alimentar el motor en corriente alterna del vehículo eléctrico.

En el caso de un vehículo con el motor en corriente continua, este componente no existiría.

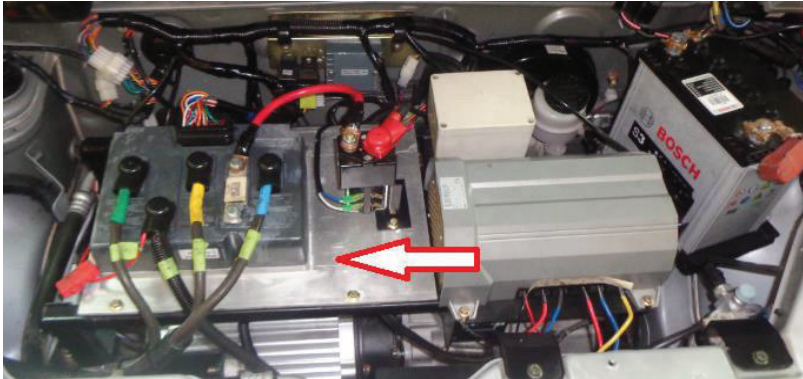


Figura 1.5. Inversor.  
(Fuente: Propia, 2016)

### 1.3.5 Motor eléctrico

El motor de un auto eléctrico, puede ser un motor de corriente alterna o de corriente continua. La diferencia entre estos dos tipos, principalmente, es la forma de alimentación. El de corriente continua se alimenta directamente desde la batería principal, y el de corriente alterna se alimenta a través de la energía que emite la batería previamente transformada en corriente alterna a través del inversor.



Figura 1.6. Motor eléctrico.  
(Fuente: Propia, 2016)

### 1.3.6 Sistema de procesamiento de datos o control

Es el sistema encargado de controlar cada parámetro de carga, así como los porcentajes de carga del banco de baterías, también cuenta con un almacenamiento de datos de los distintos parámetros de medición.

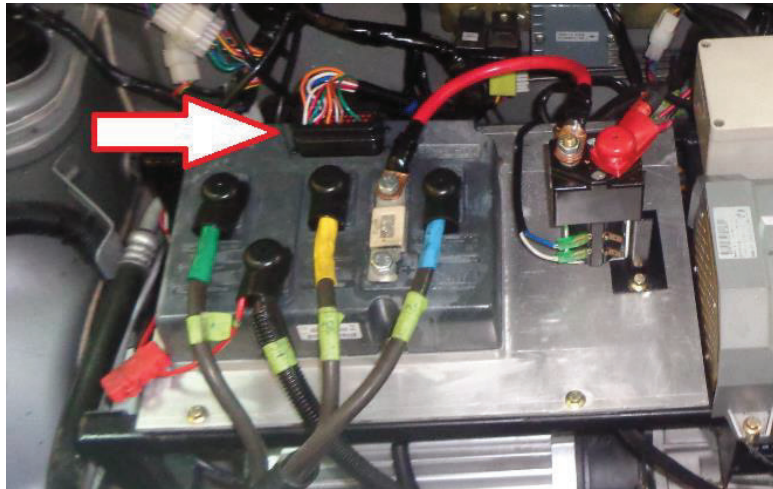


Figura 1.7. Sistema de control.  
(Fuente: Propia, 2016)

En las Figuras 1.8 y 1.9 se presenta los esquemas de un auto eléctrico que cuenta con motor eléctrico de corriente directa (DC), y de un auto eléctrico que cuenta con motor eléctrico de corriente alterna (CA), y los componentes principales para su funcionamiento, descritos anteriormente.

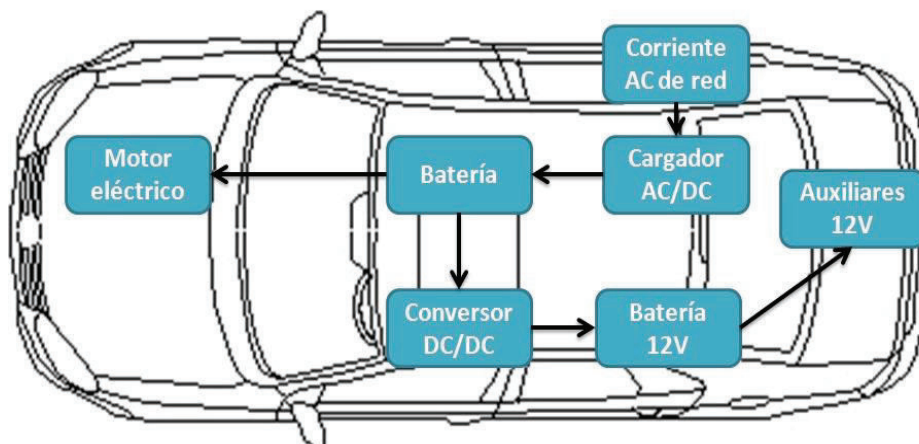


Figura 1.8. Esquema general de los componentes de un auto eléctrico con motor de corriente continua (DC). [14]  
(Fuente: Propia, 2016)



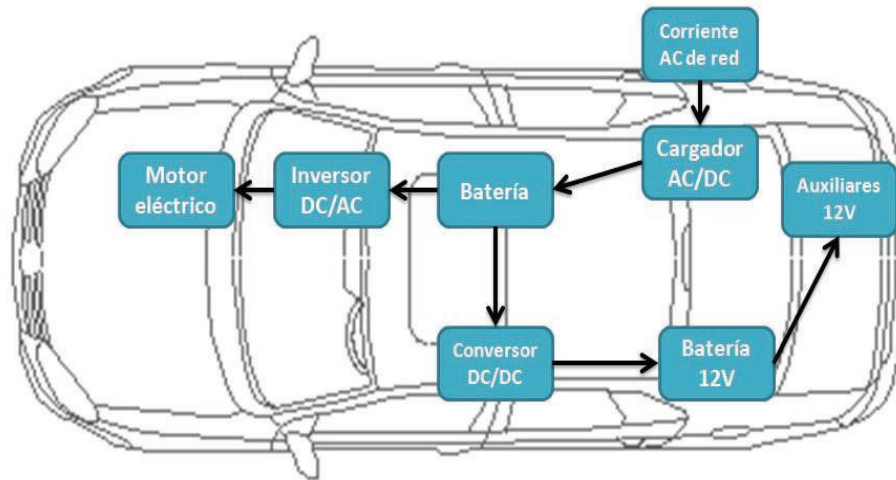


Figura 1.9. Esquema general de los componentes de un auto eléctrico con motor de corriente alterna (AC) [14]  
(Fuente: Propia, 2016)

## **2. PROTOCOLO DE PRUEBAS**

Para evaluar el desempeño energético y mecánico de un auto eléctrico se desarrollan las siguientes pruebas: autonomía, tiempo de carga del banco de baterías, determinación de la aceleración en plano, capacidad de arranque en pendiente (Startability), capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability), recuperación en plano y arranque en pendiente a varios porcentajes de carga.

### **2.1 Pruebas**

#### **2.1.1 Pruebas de evaluación del desempeño energético**

Las pruebas de desempeño energético consideradas en la presente investigación son: autonomía y tiempo de carga del banco de baterías.

La prueba de autonomía consiste en determinar el consumo neto de energía por parte del auto eléctrico con baterías de plomo ácido.

La prueba de tiempo de carga del banco de baterías tiene por objetivo determinar el nivel de voltaje y el tiempo necesario para realizar el proceso de carga del auto eléctrico.

#### **2.1.2 Pruebas de evaluación del desempeño mecánico**

El desempeño mecánico de un vehículo se ve afectado principalmente por dos parámetros cuantitativos; el peso de la carga máxima que puede transportar y la pendiente de la carretera. Las pruebas a desarrollarse son:

La prueba de determinación de la aceleración en plano, consiste en determinar el tiempo que necesita el auto eléctrico para ser llevado desde el reposo hasta su máxima velocidad en una carretera plana.

La capacidad de arranque en pendiente (Startability), consiste en determinar el grado máximo en el que el auto eléctrico puede iniciar su ascenso por una pendiente definida.

La prueba de capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability), determina el grado máximo en el que el auto puede ascender en una pendiente definida, con una longitud mínima determinada.

Con la prueba de recuperación en plano se determina el tiempo en condiciones controladas requerido para que el auto eléctrico pueda alcanzar su velocidad máxima de 85 km/h, desde su estabilización a 64 km/h en una carretera plana.

La prueba de arranque en pendiente a varios porcentajes de carga, determina la mínima carga que se requeriría para ascender un auto eléctrico en diferentes aspectos de carga.

## **2.2 Auto eléctrico y equipos**

Para realizar las pruebas experimentales es necesario un auto eléctrico de pruebas. Además, se debe contar los equipos adecuados para tomar los datos requeridos en la investigación. El auto eléctrico y los equipos utilizados en la presente investigación se enuncian a continuación.

### **2.2.1 Auto eléctrico de pruebas [15]**

Las pruebas de campo se realizaron en un solo auto. El auto eléctrico utilizado para la presente investigación tiene las siguientes especificaciones:

- Parámetros Básicos

Marca: Green Whell

Modelo: Evión 1

Año de fabricación: 2012

Peso con el banco de baterías: 1180 kg

Consumo: 11,62 kWh cada 100 km a una velocidad constante de 60 km/h

- Rangos de velocidad y conducción

Velocidad máxima: 85 kmh programable

Autonomía: 125 km con carga completa de baterías y a 60 km/h constantes

- Especificaciones Básicas:

Voltaje del banco de baterías: 72 V AGM

Motor: Asíncrono trifásico

Potencia Nominal: 7.5 kW

Potencia Pico: 22,5 kW

Controlador del motor: Inversor de corriente DSP

- Especificaciones de la batería:

Tipo: plomo – ácido

Voltaje: 72 Volt

Amperios – hora: 150 Ah (3 h) AGM libre de mantenimiento

Peso total del banco: 312 kg

Cantidad: 6 unidades

Cargador: 110 V / 220 V automático 50~60 Hz

Tipo de carga: on – board

- Seguridad:

Botón de emergencia para el banco de baterías

Función de bloqueo cuando se están cargando las baterías del auto

En la actualidad este modelo de vehículo no está siendo comercializado aún en el Ecuador, por lo que el desarrollo de la presente investigación permitirá que se puedan tomar correctivos de ser necesario para su implementación en el DMQ.



Figura 2.1. Auto eléctrico de pruebas.  
(Fuente: Propia, 2016)

## 2.2.2 Equipos

Los equipos de diagnóstico utilizados para la presente investigación son los siguientes:

### Multímetro

El multímetro, es un instrumento eléctrico portátil para medir directamente magnitudes eléctricas activas, como corrientes y potenciales o tensiones, y magnitudes pasivas,

como resistencias, capacidades y otras. Las medidas pueden realizarse para corriente continua o alterna y en varios márgenes de medida cada una.

El multímetro utilizado para esta investigación tiene las siguientes características:

Marca: PeakTech

Modelo: 2005

Escala: Multiescala

Mide: VAC, VDC, resistencia, frecuencia, etc.

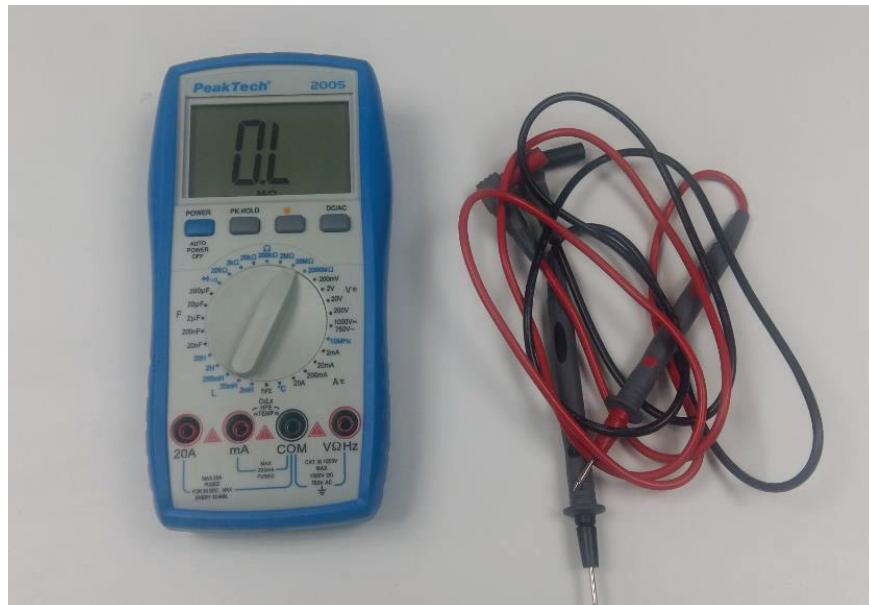


Figura 2.2. Multímetro.  
(Fuente: Propia, 2016)

### Equipo de monitoreo BMV – 702

El equipo de monitoreo BMV – 702 es un instrumento que permite medir datos eléctricos de los bancos de baterías en tiempo real, las características del equipo son las siguientes:

Marca: Victron Energy

Modelo: BMV – 702

Escala: Autoajustable

Mide: Estado de la carga, flujo de corriente, tensión, potencia, amperios – hora consumidos, autonomía restante, etc.

En la Figura 2.3 se presenta el monitor BMV – 702 utilizado para la investigación.



Figura 2.3. Monitor BMV – 702.  
(Fuente: Propia, 2016)

## G.P.S.

El GPS es un dispositivo electrónico móvil que permite recibir las señales producidas por satélites, procesa la información y calcula la posición de su ubicación, la velocidad de desplazamiento, la altitud, presión, el tiempo en movimiento, etc. Las siglas GPS significan Global Positioning System y el equipo utilizado en la investigación tiene las siguientes características:

Marca: Garmin

Modelo: Gpsmap 62 s

Frecuencia de actualización: Autoajutable

Mide: Posición, velocidad, altitud, etc.

En la Figura 2.4 se presenta el GPS utilizado para la realización de las pruebas en el auto eléctrico.



Figura 2.4. G.P.S.  
(Fuente: Propia, 2016)

### Cronómetro

Un cronómetro es un tipo de reloj que basa su funcionamiento en la electrónica digital para marcar el tiempo. Las características del cronómetro utilizado en la presente investigación, tiene las siguientes características:

Marca: Hectc fitness

Modelo: RS1030

Precisión: 0,001 segundos

En la Figura 2.5 se presenta el cronómetro utilizado para la obtención de datos de tiempo en las pruebas realizadas al auto eléctrico. Se recomienda al utilizar un cronómetro tener muy en cuenta la concentración necesaria y la precisión con que cuenta el instrumento para evitar tener errores en la obtención y manejo de los datos.



Figura 2.5. Cronómetro.  
(Fuente: Propia, 2016)

### Termómetro ambiental

Es un instrumento que permite medir la temperatura del ambiente, en este caso antes de la realización de cada prueba. El termómetro utilizado en esta investigación tiene las siguientes especificaciones:

Marca: Taylor

Modelo: Ambiental



Figura 2.6. Termómetro.  
(Fuente: Propia, 2016)



Cada una de las pruebas se desarrolla tres veces para comparar los datos en los distintos comportamientos que podría tener el auto eléctrico en su movilización y para validar los datos en caso de que se pudiera tener errores.

## 2.3 Procedimiento

A continuación, se desarrolla el procedimiento para la realización de cada una de las pruebas para la evaluación del desempeño energético y mecánico del auto eléctrico.

### 2.3.1 Prueba 1. Autonomía

Para la prueba de Autonomía se establece un ciclo combinado ciudad – carretera, a desarrollarse en una ruta. La prueba se realiza con la capacidad máxima de carga establecida por el fabricante del auto eléctrico, correspondiente a 375 kg (peso aproximado de 5 pasajeros)

Las condiciones de carga de la batería son: carga lenta con máxima carga. Para el registro de datos se instala en el auto el monitor BMV-702. En la Figura 2.7 se presenta el esquema de instalación del dispositivo BMV – 702.

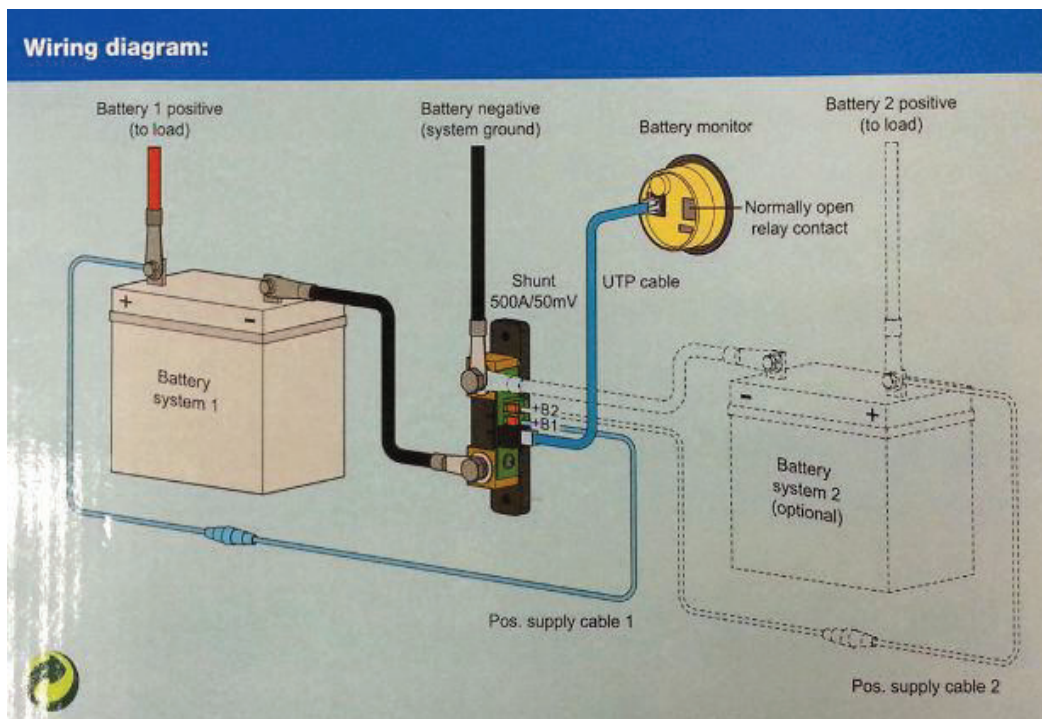


Figura 2.7. Esquema de conexión del monitor BMV - 720.  
(Fuente: Propia, 2016)

En la Figura 2.8 se aprecia la ubicación del monitor BMV – 702, dentro de los sistemas del motor del auto. En a) se aprecia el sitio determinado para la instalación del dispositivo y en b) se observa el dispositivo BMV – 702 conectado.



a)

b)

Figura 2.8. Dispositivo BMV - 720 conectado. a) Espacio determinado para la conexión. b) Conexión del dispositivo  
Fuente: (Propia, 2016)

El la Figura 2.9 se muestra el monitor BMV – 702 conectado en un lugar de fácil visualización para la toma de datos en tiempo real.



Figura 2.9. Monitor del dispositivo BMV - 720 conectado  
Fuente: (Propia, 2016)

Una vez inspeccionada la instalación, se procede a realizar un auto test de verificación y calibración del equipo e iniciar con la prueba. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Se verifica las condiciones ambientales antes de realizar la prueba. Se registra la temperatura ambiente.
2. Se revisa el estado físico del vehículo respecto al funcionamiento de sus sistemas y presión de neumáticos.
3. Se comprueba el estado de la batería registrando el porcentaje inicial de carga y la medición del voltaje.
4. Se realiza el pesaje de los ocupantes.
5. Se inicia la prueba desde el CCICEV – EPN a través de la ruta del ciclo combinado realizando un registro documental.
6. Fin de la prueba llegando al CCICEV – EPN.

#### Ruta del ciclo combinado ciudad - carretera para la prueba de autonomía

La ruta diseñada debe ser de ciclo combinado; es decir, que debe tener en su recorrido espacios que simulen un tramo de ciudad y uno de carretera o vía rápida, que tengan variaciones en las características topográficas del terreno y en el nivel de tráfico, lo que permitirá que los datos obtenidos se encuentren cercanos a la realidad del uso normal de un auto en el DMQ.

La ruta elegida para la realización de la prueba de autonomía en el ciclo combinado ciudad – carretera cuenta con una longitud de 27,95 kilómetros, partiendo desde el CCICEV – EPN [16] Las distancias tramo a tramo del ciclo combinado ciudad – carretera se detallan en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1. Distancias en el ciclo combinado ciudad – carretera.

TRAMO	DISTANCIA (Km)	CICLO
CCICEV – Autopista General Rumiñahui (ingreso intercambiador)	7,43	Carretera
Avenida Simón Bolívar – Subida a Guápulo	8,87	Carretera
Subida a Guápulo – Parque La Vicentina	4,04	Ciudad
Parque La Vicentina – Hotel Quito	1,40	Ciudad
Hotel Quito – 10 de Agosto	1,83	Ciudad
10 de Agosto – Mariana de Jesús	0,81	Ciudad
Mariana de Jesús – Amazonas - Veintimilla	2,32	Ciudad
Veintimilla – CCICEV	1,25	Ciudad

(Fuente: Protocolo de pruebas. CCICEV)

La ruta combinada seleccionada se presenta en la Figura 2.10. Esta ruta contempla un tramo de ciudad y otro de carretera.

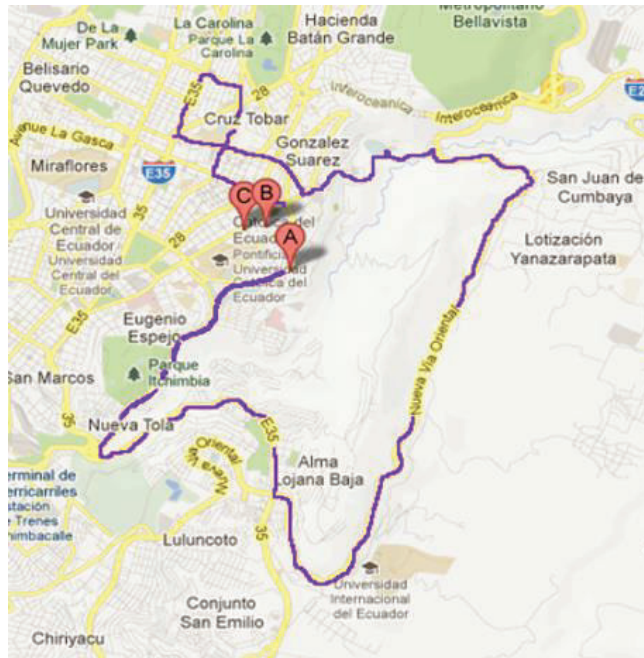


Figura 2.10. Ruta de ciclo combinado [16]  
(Fuente: Protocolo de pruebas CCICEV)

En la Figura 2.11 se muestra la sección carretera del ciclo de pruebas

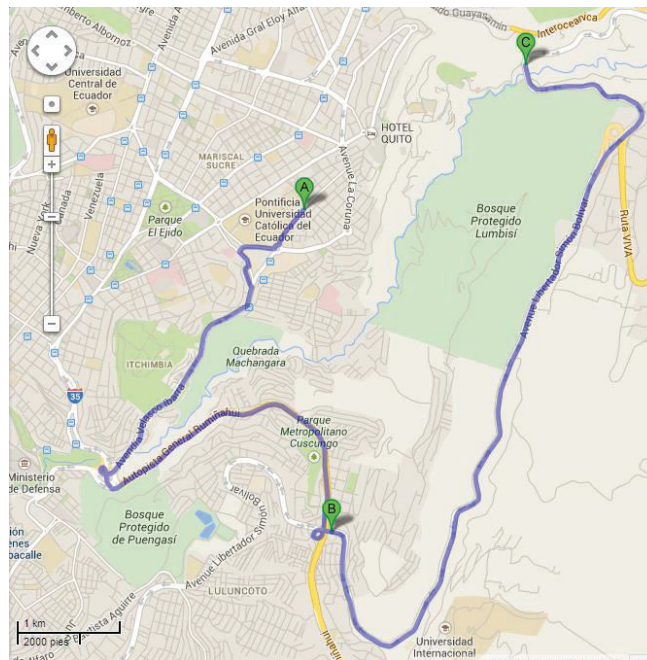


Figura 2.11. Ciclo carretera. Autopista General Rumiñahui [16]  
(Fuente: Protocolo de pruebas CCICEV)

En la Figura 2.12 se observa la sección ciudad del ciclo combinado para la prueba de autonomía.

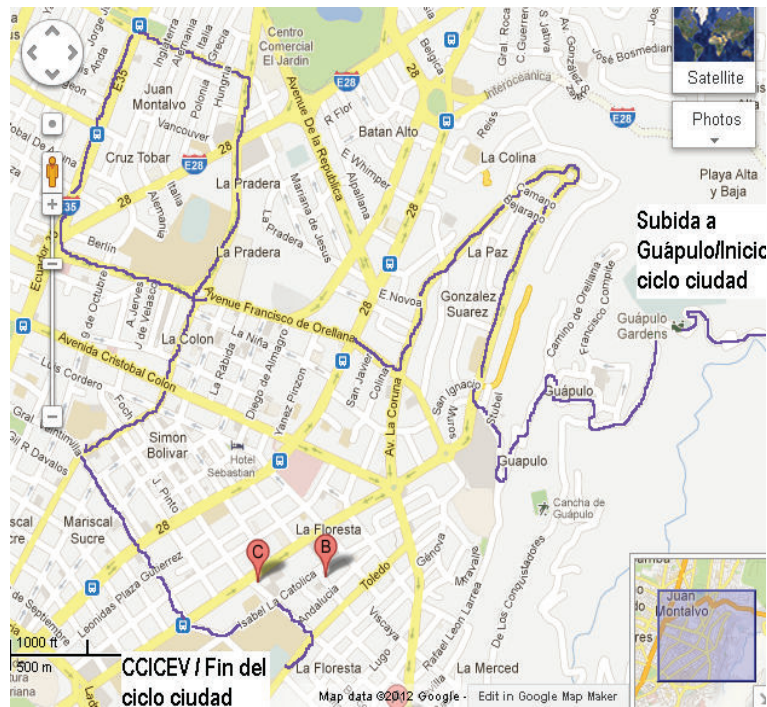


Figura 2.12. Ciclo ciudad. Guápulo – Coruña – Orellana – 10 de Agosto – Amazonas – Veintimilla – CCICEV [16]  
(Fuente: Protocolo de pruebas CCICEV)

### 2.3.2 Prueba 2. Prueba de tiempo de carga del banco de baterías

La prueba de tiempo de carga se realiza con todos los conectores que cuente el vehículo. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. El auto debe estar apagado y con las seguridades correspondientes.
2. Se verifica las condiciones ambientales antes de realizar la prueba. Se registra la temperatura ambiente.
3. Se comprueba el estado de la batería registrando el porcentaje inicial y final de carga.
4. Inicio de la prueba: Se conecta la extensión propia del vehículo con el tomacorriente, que tiene un voltaje de alimentación de 220 V, hasta que la luz del cargador sea de color verde, indicativo de carga completa. Se debe registrar el tiempo requerido para completar la carga y el voltaje con el que se inicia y finaliza la prueba; se realiza un registro documental.
5. Fin de la prueba.

### **2.2.3 Prueba 3. Determinación de la aceleración en plano**

Se necesita llevar el auto eléctrico desde el reposo hasta 85 km/h en una carretera plana. Se selecciona esta velocidad porque es la máxima que puede alcanzar el auto según especificaciones del fabricante.

Los datos recopilados corresponden a los tiempos requeridos para alcanzar 32, 64 y 85 km/h [13] La prueba se realiza con la capacidad máxima de carga establecida por el fabricante del auto eléctrico, correspondiente a 375 kg (peso aproximado de 5 pasajeros). Las condiciones de carga de la batería corresponden a carga lenta con máxima carga.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Se verifica las condiciones ambientales antes de realizar la prueba. Se registra la temperatura ambiente.
2. Se revisa el estado físico del vehículo respecto al funcionamiento de sus sistemas y presión de neumáticos.
3. Se comprueba el estado de la batería, registrando el porcentaje inicial de carga.
4. Se realiza el pesaje de los ocupantes
5. Inicio de la prueba: llevar el auto eléctrico desde el reposo (0 Km/h) hasta 85 km/h a lo largo de una carretera plana, registrando los tiempos requeridos para alcanzar 32, 64 y 85 km/h. Se realiza un registro documental.
6. Fin de la prueba.

### **2.2.4 Prueba 4. Capacidad de arranque en pendiente (Startability)**

Para la realización de la prueba de capacidad de arranque en pendiente se debe tener una inclinación de la pendiente máxima de 25%. Se selecciona esa pendiente porque se considera crítica de acuerdo a la Norma UNE26 358 [17] Los rangos de carga de prueba son:

1. 75% - 100% de carga.
2. 50% - 75% de carga
3. 25% - 50% de carga

La capacidad de carga máxima es de 375 kg (peso aproximado de 5 pasajeros). Las condiciones de carga de las baterías, corresponden a carga lenta con los porcentajes de carga requeridos. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Se selecciona una carretera con pendiente de 25%, con una longitud mínima de 1 km.
2. Se verifica las condiciones ambientales antes de realizar la prueba. Se registra la temperatura ambiente.
3. Se revisa el estado físico del vehículo respecto al funcionamiento de sus sistemas y presión de neumáticos.
4. Se comprueba el estado de la batería, registrando el porcentaje inicial de carga.
5. Se realiza el pesaje de los ocupantes
6. Inicio de la prueba: El vehículo arranca acelerando a fondo e inicia el ascenso, debe registrarse el consumo de carga (dato inicial y final), la velocidad de ascenso y el tiempo requerido para terminar el ascenso y completar la pendiente. Se realiza un registro documental.
7. Fin de la prueba.

### **2.2.5 Prueba 5. Capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability)**

Para la realización de la prueba de capacidad de ascenso en pendiente se debe tener las siguientes condiciones: inclinación de la pendiente máxima del 25%. Los rangos de carga de prueba:

1. 75% - 100% de carga.
2. 50% - 75% de carga
3. 25% - 50% de carga

La capacidad de carga máxima: 375 kg (peso aproximado de 5 pasajeros). Las condiciones de carga de las baterías corresponden a carga lenta con los porcentajes de carga requeridos. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Se selecciona una carretera con pendiente de 25% y una longitud mínima de 1 km.
2. Se verifica las condiciones ambientales antes de realizar la prueba. Se registra la temperatura ambiente.
3. Se revisa el estado físico del vehículo respecto al funcionamiento de sus sistemas y presión de neumáticos.
4. Se comprueba el estado del banco de baterías. Se registra el porcentaje inicial y final de la carga.
5. Se realiza el pesaje de los ocupantes

6. Inicio de la prueba: El vehículo inicia el ascenso, a 500 m se detienen el vehículo completamente y se arranca nuevamente con el acelerador a fondo, debe registrarse la velocidad de ascenso y el tiempo requerido para completar la pendiente. Se realiza un registro documental.
7. Fin de la prueba.

### **2.2.6 Prueba 6. Recuperación en plano**

Para realizar la prueba de recuperación en plano de debe determinar el tiempo requerido en condiciones controladas para que el auto pueda alcanzar la velocidad de 85 km/h, desde su estabilización a 64 km/h en una carretera plana [13] Esta prueba se realiza bajo las siguientes condiciones: capacidad de carga máxima de 375 kg (peso aproximado de 5 pasajeros), las condiciones de la carga de las baterías son con carga lenta y completa. El procedimiento es el siguiente:

1. Se selecciona una carretera plana, con una longitud mínima de 1 km.
2. Se verifica las condiciones ambientales antes de realizar la prueba. Se registra la temperatura ambiente.
3. Se revisa el estado físico del vehículo respecto al funcionamiento de sus sistemas y presión de neumáticos.
4. Se comprueba el estado de la batería, registrando el porcentaje inicial y final de carga.
5. Se realiza el pesaje de los ocupantes
6. Inicio de la prueba: El vehículo arranca en una vía plana estabilizando el vehículo a 64 km/h por 2 segundos, después se acelera hasta alcanzar la velocidad de 85 km/h. Se registra el tiempo requerido para llevar al auto eléctrico de 64 a 85 km/h a condiciones controladas, realizando un registro documental.
7. Fin de la prueba.

### **2.2.7 Prueba 7. Arranque en pendiente a varios porcentajes de carga**

El objetivo de esta prueba es determinar la mínima carga que se requeriría para ascender un auto eléctrico en diferentes aspectos de carga. Esta prueba se realiza con una inclinación de la pendiente de 25%, los rangos de la carga de prueba son:

1. 75% - 100% de carga
2. 50% - 75% de carga
3. 25% - 50% de carga



Además, se tiene capacidad de carga máxima correspondiente a 375 kg (peso aproximado de 5 pasajeros), las condiciones de carga de las baterías son de carga lenta a los porcentajes de carga requeridos. El procedimiento es el siguiente:

1. Se selecciona una carretera con pendiente de 25%.
2. Se verifica las condiciones ambientales antes de realizar la prueba. Se registra la temperatura ambiente.
3. Se revisa el estado físico del vehículo respecto al funcionamiento de sus sistemas y presión de neumáticos.
4. Se comprueba el estado de la batería, registrando el porcentaje inicial y final de carga.
5. Se realiza el pesaje de los ocupantes
6. Inicio de la prueba: El vehículo arranca acelerando a fondo e inicia el ascenso con un rango de carga establecido sobre la pendiente seleccionada, se detiene, apaga el vehículo y arranca acelerando a fondo hasta alcanzar una velocidad promedio de 65 km/h hasta finalizar la pendiente. Se debe registrar el tiempo requerido para completar la pendiente en condiciones controladas, realizando un registro documental.
7. Fin de la prueba.

### 3. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Luego de realizar las pruebas de autonomía, tiempo de carga de las baterías, determinación de la aceleración en plano, capacidad de arranque en pendiente, (Startability), capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability), recuperación en plano y arranque en pendiente a varios porcentajes de carga, se presentan los resultados, su análisis y discusión.

#### 3.1 Prueba de autonomía

Durante el desarrollo de la prueba de autonomía se recopilan los resultados de la prueba efectuada por 3 ocasiones, y corresponden al porcentaje de carga de las baterías, amperios-hora, voltaje, intensidad de corriente y potencia consumidos por el banco de baterías en función del tiempo. Es importante señalar que los datos se toman con un intervalo de 1 minuto.

##### 3.1.1 Carga vs. tiempo

En la Tabla 3.1 se observa el número de resultados, el tiempo en minutos y el porcentaje de carga de las baterías, tomados durante la prueba de autonomía. Estos datos fueron registrados desde el momento en que inicia el movimiento del auto eléctrico, luego de 7, 4 y 5 minutos, respectivamente, después de haberlo encendido.

Tabla 3.1. Resultados de % de carga y tiempo en la prueba de autonomía.

N°	tiempo (min)	% Carga 1	% Carga 2	% Carga 3	N°	tiempo (min)	% Carga 1	% Carga 2	% Carga 3
1	4		97,94		33	36	72,16	69,02	40,41
2	5		97,25	75,83	34	37	69,23	66,91	39,69
3	6		96,79	73,83	35	38	66,43	66,44	39,33
4	7	99,68	95,18	71,01	36	39	64,41	65,60	38,57
5	8	98,41	94,89	69,02	37	40	63,54	65,56	37,44
6	9	96,98	94,85	66,91	38	41	61,61	65,55	36,77
7	10	95,78	94,21	66,44	39	42	61,25	65,49	36,55
8	11	95,30	93,46	65,6	40	43	60,67	65,11	36,01
9	12	94,89	93,19	65,56	41	44	59,71	64,82	35,39
10	13	94,14	92,98	65,55	42	45	57,23	63,31	35,36
11	14	93,81	92,57	65,49	43	46	56,53	61,53	34,85
12	15	93,75	92,53	65,11	44	47	53,78	58,89	34,49
13	16	93,36	92,26	64,82	45	48	52,92	57,71	34,48
14	17	92,92	92,20	63,31	46	49	52,47	54,83	33,72

Tabla 3.1. Continuación

N°	tiempo (min)	% Carga 1	% Carga 2	% Carga 3	N°	tiempo (min)	% Carga 1	% Carga 2	% Carga 3
15	18	90,75	91,87	61,53	47	50	51,72	52,72	33,42
16	19	90,63	90,47	58,89	48	51	51,06	50,00	33,22
17	20	89,62	89,27	57,71	49	52	50,35	48,05	32,89
18	21	87,90	89,15	54,83	50	53	50,21	46,72	31,98
19	22	87,47	88,67	52,72	51	54	50,00	45,75	31,96
20	23	87,19	87,69	50	52	55	49,57	45,62	31,69
21	24	86,93	85,94	48,05	53	56	49,07	45,56	31,4
22	25	86,50	85,30	46,72	54	57	48,53	45,47	30,97
23	26	86,21	85,08	45,75	55	58	48,52	43,70	30,36
24	27	84,21	84,22	45,62	56	59	48,39	42,58	30,34
25	28	82,18	83,43	45,56	57	60	48,38	41,48	30,78
26	29	79,25	82,96	45,47	58	61		40,90	30,36
27	30	76,20	82,54	43,7	59	62		40,88	30,34
28	31	75,17	81,97	42,58	60	63			30,38
29	32	75,12	79,70	41,48	61	64			30,10
30	33	74,85	76,83	40,9	62	65			29,43
31	34	74,72	73,83	40,88	63	66			29,42
32	35	74,46	71,01	40,45					

(Fuente: Propia, 2016)

En la Figura 3.1 se presenta los gráficos correspondientes al comportamiento que tiene la carga de las baterías en función del tiempo para la prueba de autonomía con 99,7%, 97,9% y 75,8% de carga inicial.

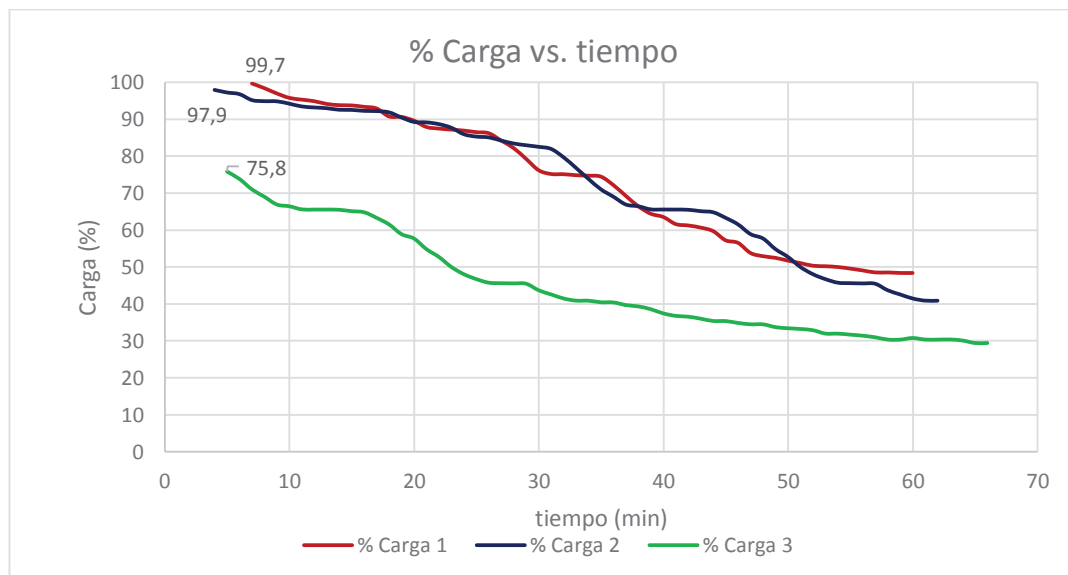


Figura 3.1. Carga vs. tiempo en la prueba de autonomía  
Fuente: (Propia, 2016)

En las gráficas correspondientes al inicio del movimiento con cargas de 99,7% y 97,9% se observa que su descarga es muy similar, pero cuando se inicia la misma trayectoria con baterías con menor carga, se observa una descarga más rápida. Por lo tanto, es conveniente iniciar un recorrido en el auto eléctrico con las baterías cargadas al máximo para obtener mayor autonomía.

### 3.1.2 Amperios-hora vs. tiempo

En la Tabla 3.2 se muestra el número de datos, el tiempo en minutos y los amperios-hora presentes en las baterías desde el inicio del movimiento del auto eléctrico. Estos datos fueron tomados durante la prueba de autonomía.

Tabla 3.2. Resultados de los amperios-hora y tiempo en la prueba de autonomía

N°	tiempo (min)	AmpHor1 (Ah)	AmpHor2 (Ah)	AmpHor3 (Ah)	N°	tiempo (min)	AmpHor1 (Ah)	AmpHor2 (Ah)	AmpHor3 (Ah)
1	4		147,24		33	36	108,85	108,44	81,48
2	5		146,31	137,83	34	37	104,53	105,61	79,61
3	6		145,70	136,78	35	38	100,40	104,98	77,79
4	7	149,46	143,54	136,14	36	39	97,48	103,85	76,83
5	8	147,59	143,15	135,57	37	40	96,17	103,81	76,80
6	9	145,50	143,10	134,81	38	41	93,30	103,79	76,09
7	10	143,77	142,23	131,77	39	42	92,76	103,71	76,03
8	11	143,01	141,23	127,91	40	43	91,96	103,20	74,82
9	12	142,46	140,86	123,89	41	44	90,55	102,81	74,22
10	13	141,36	140,59	120,12	42	45	86,88	100,78	72,97
11	14	140,87	140,03	117,44	43	46	85,78	98,39	71,09
12	15	140,77	139,98	114,61	44	47	81,74	94,85	69,98
13	16	140,19	139,62	113,98	45	48	80,48	93,27	69,62
14	17	139,49	139,54	112,85	46	49	79,87	89,41	68,72
15	18	136,35	139,09	112,81	47	50	78,72	86,58	67,70
16	19	136,17	137,22	112,79	48	51	77,72	82,93	67,65
17	20	134,60	135,61	112,71	49	52	76,74	79,70	66,79
18	21	132,14	135,45	112,20	50	53	76,53	77,48	66,21
19	22	131,46	134,81	111,81	51	54	76,20	75,88	66,18
20	23	131,10	133,49	109,78	52	55	75,55	75,67	64,92
21	24	130,71	131,14	107,39	53	56	74,76	75,56	64,42
22	25	130,08	130,29	103,85	54	57	73,98	75,41	64,10
23	26	129,65	129,99	102,27	55	58	73,96	72,48	63,54
24	27	126,65	128,83	98,41	56	59	73,77	70,61	62,04
25	28	123,63	127,78	95,58	57	60	73,75	68,79	62,01
26	29	119,30	127,14	91,93	58	61		67,83	61,57

Tabla 3.2. Continuación

N°	tiempo (min)	AmpHor1 (Ah)	AmpHor2 (Ah)	AmpHor3 (Ah)	N°	tiempo (min)	AmpHor1 (Ah)	AmpHor2 (Ah)	AmpHor3 (Ah)
27	30	114,81	126,57	88,70	59	62		66,29	61,09
28	31	113,36	125,81	86,48	60	63			60,37
29	32	113,27	122,77	84,88	61	64			60,05
30	33	112,89	118,91	84,67	62	65			59,35
31	34	112,70	114,89	84,56	63	66			59,31
32	35	112,31	111,12	84,41					

(Fuente: Propia, 2016)

En la Figura 3.2 se ilustra el comportamiento de los amperios-hora disponibles en las baterías en función del tiempo para la prueba de autonomía. Las baterías del auto eléctrico disponen de 150 Ah, de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Las pruebas se inician con 149,5 Ah, 147,2 Ah y 137,8 Ah, respectivamente.

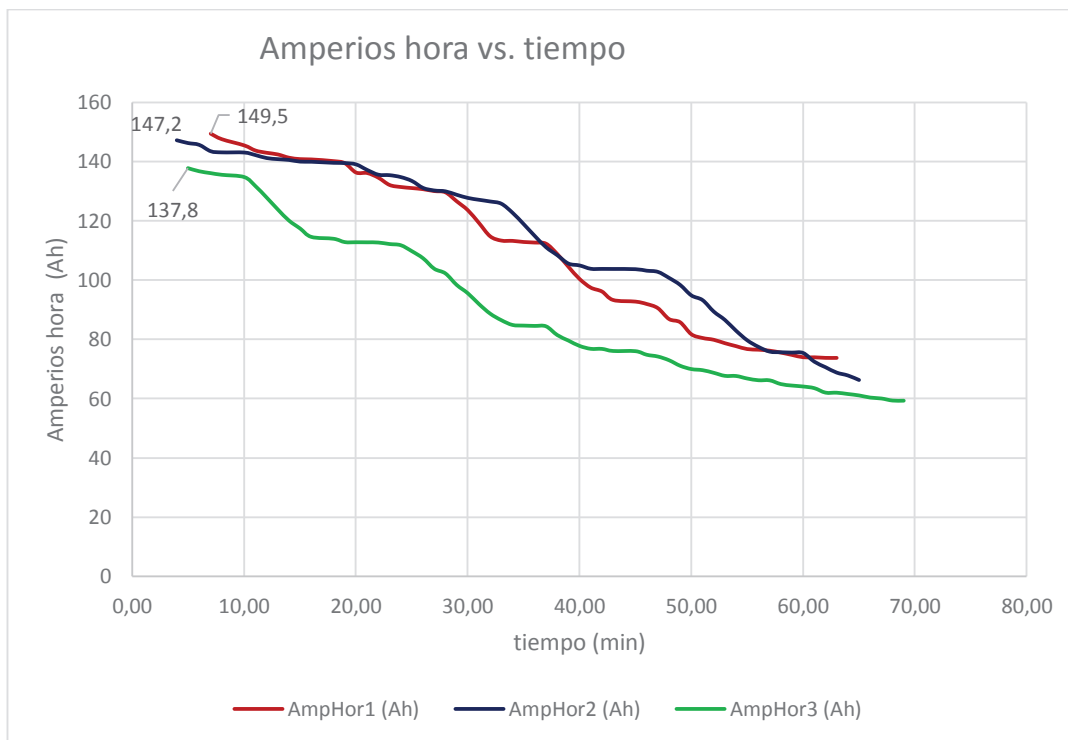


Figura 3.2. Amperios hora consumidos vs. tiempo

Fuente: (Propia, 2016)

Las curvas de consumo de amperios-hora tienen un comportamiento similar cuando se inicia con mayor carga y cuando se inicia la prueba con menor carga, el consumo de amperios-hora es más rápido.

### 3.1.3 Voltaje vs. tiempo

En la Tabla 3.3 se aprecia el número de datos, el tiempo en minutos y el voltaje que tienen las baterías durante la prueba de autonomía. Estos datos fueron registrados desde el momento en que se inicia el movimiento del auto eléctrico.

Tabla 3.3. Resultados de voltaje y tiempo en la prueba de autonomía

N°	tiempo (min)	Voltaje 1 (V)	Voltaje 2 (V)	Voltaje 3 (V)	N°	tiempo (min)	Voltaje 1 (V)	Voltaje 2 (V)	Voltaje 3 (V)
1	4		78,66		33	36	64,28	66,87	73,91
2	5		78,75	69,68	34	37	64,11	76,32	74,40
3	6		77,63	71,10	35	38	64,08	69,90	74,17
4	7	69,81	78,16	77,49	36	39	74,96	76,07	74,38
5	8	68,83	78,44	76,27	37	40	69,29	76,90	74,69
6	9	69,37	78,69	68,84	38	41	65,46	77,02	74,13
7	10	78,10	78,42	68,35	39	42	65,99	76,99	74,70
8	11	69,80	78,24	66,73	40	43	75,12	76,59	74,47
9	12	77,53	72,88	73,08	41	44	74,52	72,71	66,86
10	13	77,72	70,71	68,79	42	45	73,45	72,64	65,03
11	14	77,46	78,26	66,87	43	46	63,00	68,23	73,72
12	15	77,82	78,87	76,32	44	47	62,64	65,60	67,80
13	16	75,63	78,03	69,90	45	48	64,75	67,93	73,52
14	17	66,30	78,89	76,07	46	49	74,23	73,03	72,48
15	18	77,56	78,35	76,90	47	50	70,49	65,58	73,88
16	19	77,58	68,48	77,02	48	51	62,91	64,67	70,31
17	20	65,70	78,51	76,99	49	52	73,76	66,24	73,18
18	21	76,50	78,65	76,59	50	53	74,21	66,94	73,68
19	22	68,54	77,91	72,71	51	54	72,65	74,77	72,68
20	23	75,87	70,04	72,64	52	55	72,51	74,91	73,88
21	24	77,00	77,88	68,23	53	56	66,42	74,90	73,71
22	25	77,30	77,88	65,60	54	57	73,74	71,66	67,61
23	26	76,65	76,13	67,93	55	58	74,38	73,91	68,57
24	27	67,07	69,68	73,03	56	59	74,06	74,40	73,43
25	28	65,66	71,10	65,58	57	60	74,41	74,17	73,93
26	29	64,65	77,49	64,67	58	61		74,38	73,77
27	30	65,66	76,27	66,24	59	62		74,29	65,75
28	31	76,32	68,84	66,94	60	63			72,80
29	32	73,80	68,35	74,77	61	64			73,79
30	33	76,54	66,73	74,91	62	65			72,51
31	34	76,55	73,08	74,90	63	66			73,83
32	35	76,52	68,79	71,66					

(Fuente: Propia, 2016)

En las Figuras 3.3, 3.4 y 3.5 se presenta el comportamiento del voltaje del banco de baterías en función del tiempo, durante las pruebas de autonomía.

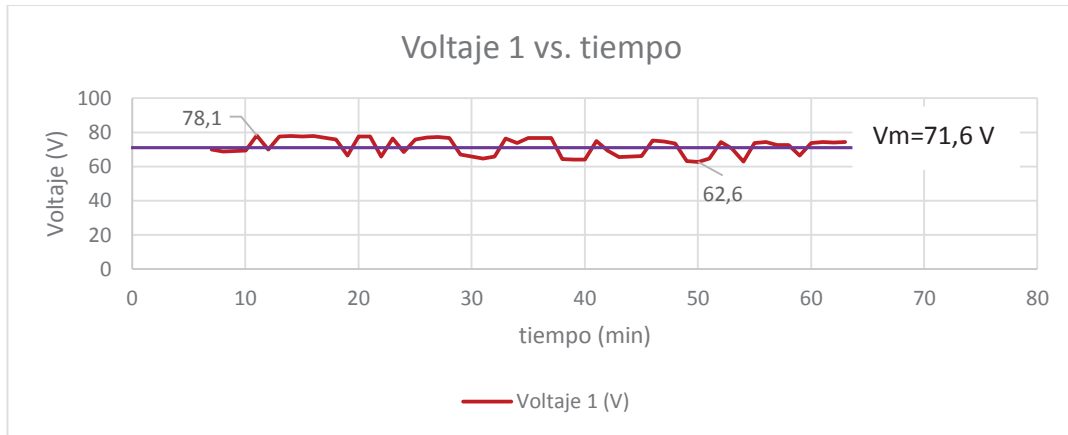


Figura 3.3. Voltaje 1 vs. tiempo en la prueba de autonomía  
Fuente: (Propia, 2016)

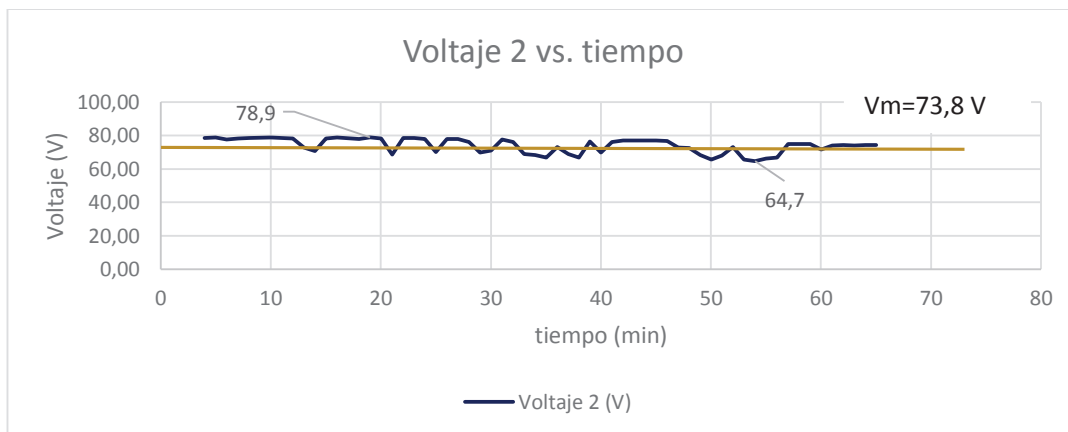


Figura 3.4. Voltaje 2 vs. tiempo  
Fuente: (Propia, 2016)

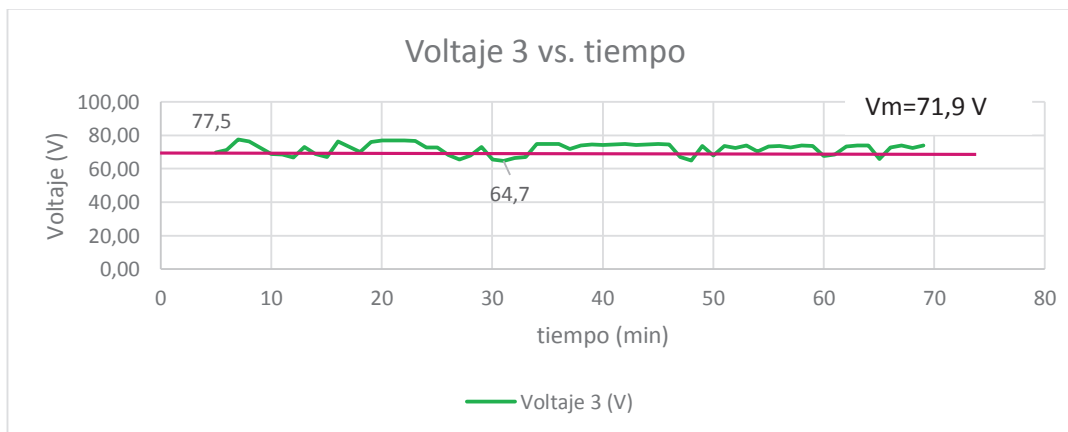


Figura 3.5. Voltaje 3 vs. tiempo  
Fuente: (Propia, 2016)

Se observa durante las pruebas de autonomía, que el voltaje permanece casi constante a medida que transcurre el tiempo.

En la Tabla 3.4, se muestra la media de voltaje, sus intervalos de variación y los resultados del voltaje estimado que se tiene en las baterías de plomo-ácido.

Tabla 3.4. Resultados de voltaje en las pruebas de autonomía

<b>Voltaje medio para cada prueba (Vm)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intervalos de variación del voltaje (V)</b>	
Prueba 1	71,6	-9	+6,5
Prueba 2	73,8	-9,1	+5,1
Prueba 3	71,9	-7,2	+5,6
<b>Voltaje medio total</b>	<b>72,4</b>	<b>-8,4</b>	<b>+5,7</b>

(Fuente: Propia, 2016)

Analizando los resultados del voltaje medio que tiene el banco de baterías en las tres pruebas desarrolladas, se determina que el auto eléctrico trabaja con un voltaje medio casi constante de 72,4 V y que es similar al voltaje según las especificaciones proporcionadas por el fabricante, correspondiente a 72 V. Además, existe un rango de variación del voltaje correspondiente a -8,4 V y +5,7 V.

### 3.1.4 Intensidad de corriente vs. tiempo

En la Tabla 3.5 se presenta el número de datos, el tiempo y la intensidad de corriente que consumen las baterías en la prueba de autonomía.

Tabla 3.5. Resultados de la intensidad de corriente y tiempo durante la prueba de autonomía

<b>N°</b>	<b>tiempo (min)</b>	<b>Intensidad 1 (A)</b>	<b>Intensidad 2 (A)</b>	<b>Intensidad 3 (A)</b>	<b>N°</b>	<b>tiempo (min)</b>	<b>Intensidad 1 (A)</b>	<b>Intensidad 2 (A)</b>	<b>Intensidad 3 (A)</b>
1	4		1,43		33	36	264,16	243,09	13,67
2	5		1,07	259,19	34	37	253,57	0,71	0,69
3	6		1,63	163,51	35	38	242,52	161,32	1,82
4	7	175,44	1,53	8,25	36	39	2,19	1,70	2,10
5	8	216,33	2,18	102,28	37	40	112,22	0,70	1,51
6	9	188,75	2,18	238,15	38	41	196,95	0,78	1,41
7	10	0,89	1,49	243,41	39	42	202,28	1,59	1,37
8	11	164,98	1,46	281,77	40	43	2,09	1,52	1,38
9	12	2,31	109,71	85,54	41	44	7,35	144,35	190,69
10	13	1,61	188,65	217,43	42	45	5,76	82,68	232,68
11	14	1,70	2,09	244,09	43	46	244,97	202,59	1,12
12	15	11,35	1,63	0,71	44	47	240,90	275,65	114,67



Tabla 3.5. Continuación

N°	tiempo (min)	Intensidad 1 (A)	Intensidad 2 (A)	Intensidad 3 (A)	N°	tiempo (min)	Intensidad 1 (A)	Intensidad 2 (A)	Intensidad 3 (A)
13	16	62,42	1,88	161,32	45	48	194,68	200,14	16,55
14	17	277,20	1,34	1,70	46	49	1,35	45,99	19,26
15	18	5,96	2,03	0,70	47	50	48,01	235,22	3,49
16	19	6,22	262,59	0,78	48	51	237,53	274,20	46,90
17	20	290,91	1,33	1,59	49	52	1,45	218,64	26,84
18	21	10,49	1,34	1,52	50	53	1,22	195,71	1,71
19	22	178,96	1,44	145,35	51	54	19,37	1,36	27,38
20	23	36,86	182,73	82,68	52	55	60,42	1,41	2,05
21	24	6,70	1,88	202,59	53	56	170,31	2,23	1,60
22	25	1,17	2,06	275,65	54	57	1,03	87,18	144,60
23	26	3,68	38,23	200,14	55	58	0,18	13,67	100,34
24	27	162,42	259,19	45,99	56	59	1,453	0,69	2,65
25	28	259,85	163,51	235,22	57	60	0,798	1,82	1,37
26	29	272,92	8,25	274,20	58	61		2,10	1,38
27	30	231,89	102,28	145,64	59	62		1,51	191,52
28	31	2,16	238,15	195,71	60	63			68,77
29	32	52,64	243,41	1,36	61	64			1,52
30	33	2,07	282,77	1,41	62	65			19,96
31	34	1,48	85,54	2,23	63	66			1,64
32	35	2,62	218,43	87,18					

(Fuente: Propia, 2016)

Las Figuras 3.6, 3.7 y 3.8 representan los valores de intensidad de corriente respecto al tiempo durante el desarrollo de las pruebas de autonomía.

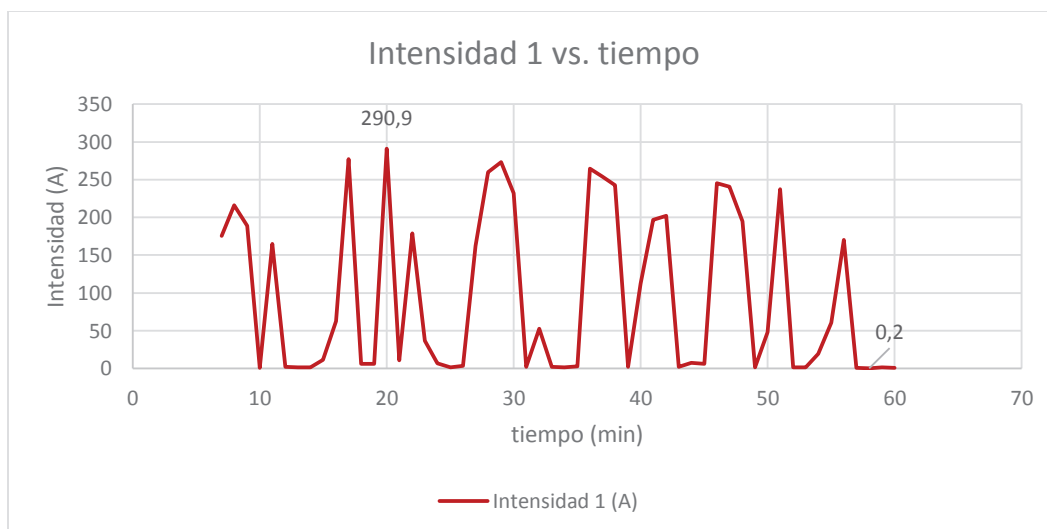


Figura 3.6. Intensidad de corriente 1 vs. tiempo  
Fuente: (Propia, 2016)

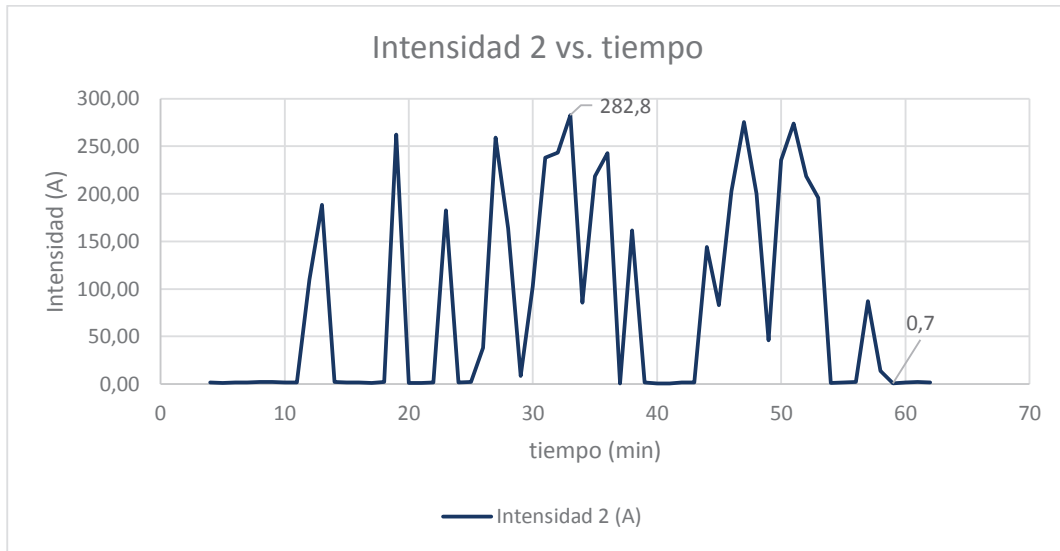


Figura 3.7. Intensidad de corriente 2 vs. tiempo  
Fuente: (Propia, 2016)

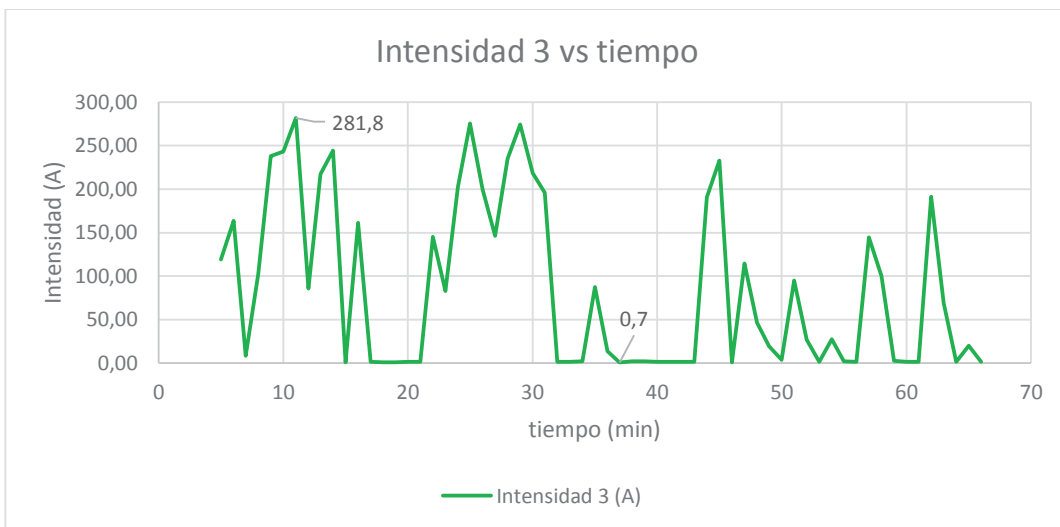


Figura 3.8. Intensidad de corriente 3 vs. tiempo  
Fuente: (Propia, 2016)

Se observa un comportamiento similar durante las pruebas de autonomía, la intensidad de corriente tiene picos altos y bajos. Los picos bajos se dan cuando existe menor consumo de carga, llegando prácticamente a un valor de 0 A y corresponde al movimiento del auto sin acelerar; y, que se presenta cuando el vehículo se detiene o cuando se encuentra descendiendo en las pendientes. Los picos altos corresponden a un mayor consumo de carga, es decir, cuando el auto transita en trayectorias planas o subidas, incrementándose el consumo de carga en las pendientes, lo que hace que la autonomía disminuya.

En la Tabla 3.6, se muestra la media de los picos altos y bajos de corriente que circula por las baterías durante las pruebas de autonomía.

Tabla 3.6. Resultados de Intensidad de corriente en las pruebas de autonomía

Intensidad	Intensidad máxima (A)	Intensidad mínima (A)
Prueba 1	290,9	0,2
Prueba 2	282,8	0,7
Prueba 3	281,8	0,7
<b>Intensidad media</b>	<b>285,2</b>	<b>0,5</b>

(Fuente: Propia, 2016)

De acuerdo a los resultados de intensidad de corriente se obtiene una media de picos altos de 285,2 A, lo que demuestra el alto consumo de carga que se da cuando el auto se encuentra en aceleración. El valor mínimo de corriente es 0,5 A correspondientes a las condiciones en las cuales no existe consumo de carga, que se da cuando el vehículo se desplaza sin aceleración.

### 3.1.5 Potencia vs. tiempo

En la Tabla 3.7 se observa el número de datos, el tiempo y la potencia consumida por las baterías durante la prueba de autonomía.

Tabla 3.7. Resultados de potencia y tiempo en la prueba de autonomía

N°	tiempo (min)	Potencia 1 (kW)	Potencia 2 (kW)	Potencia 3 (kW)	N°	tiempo (min)	Potencia 1 (kW)	Potencia 2 (kW)	Potencia 3 (kW)
1	4		0,11		33	36	16,98	16,26	1,01
2	5		0,08	8,30	34	37	16,26	0,05	0,05
3	6		0,13	11,63	35	38	15,54	11,28	0,14
4	7	12,25	0,12	0,64	36	39	0,16	0,13	0,16
5	8	14,89	0,17	7,80	37	40	7,78	0,05	0,11
6	9	13,09	0,17	16,39	38	41	12,89	0,06	0,10
7	10	0,07	0,12	16,64	39	42	13,35	0,12	0,10
8	11	11,52	0,11	18,80	40	43	0,16	0,12	0,10
9	12	0,18	8,00	6,25	41	44	0,55	10,50	12,75
10	13	0,13	13,34	14,96	42	45	0,42	6,01	15,13
11	14	0,13	0,16	16,32	43	46	15,43	13,82	0,08
12	15	0,88	0,13	0,05	44	47	15,09	18,08	7,77
13	16	4,72	0,15	11,28	45	48	12,61	13,59	3,42
14	17	18,38	0,11	0,13	46	49	0,10	3,36	1,40
15	18	0,46	0,16	0,05	47	50	3,38	15,42	0,26

Tabla 3.7. Continuación

N°	tiempo (min)	Potencia 1 (kW)	Potencia 2 (kW)	Potencia 3 (kW)	N°	tiempo (min)	Potencia 1 (kW)	Potencia 2 (kW)	Potencia 3 (kW)
16	19	0,48	17,98	0,06	48	51	14,94	17,73	6,67
17	20	19,11	0,10	0,12	49	52	0,11	14,48	1,96
18	21	0,80	0,11	0,12	50	53	0,09	13,10	0,13
19	22	12,27	0,11	10,57	51	54	1,41	0,10	1,99
20	23	2,80	12,80	6,01	52	55	4,38	0,11	0,15
21	24	0,52	0,15	13,82	53	56	11,31	0,17	0,12
22	25	0,09	0,16	18,08	54	57	0,08	6,25	9,78
23	26	0,28	2,91	13,59	55	58	0,01	1,01	6,88
24	27	10,89	18,06	10,66	56	59	0,11	0,05	0,19
25	28	17,06	11,63	15,42	57	60	0,06	0,14	0,10
26	29	17,64	0,64	17,73	58	61		0,16	0,10
27	30	15,23	7,80	14,48	59	62		0,11	12,59
28	31	0,16	16,39	13,10	60	63			5,01
29	32	3,88	16,64	0,10	61	64			0,11
30	33	0,16	18,87	0,11	62	65			1,45
31	34	0,11	6,25	0,17	63	66			0,12
32	35	0,20	15,03	6,25					

(Fuente: Propia, 2016)

En las Figuras 3.9, 3.10 y 3.11 se muestran las gráficas de la potencia en función del tiempo para las pruebas de autonomía.

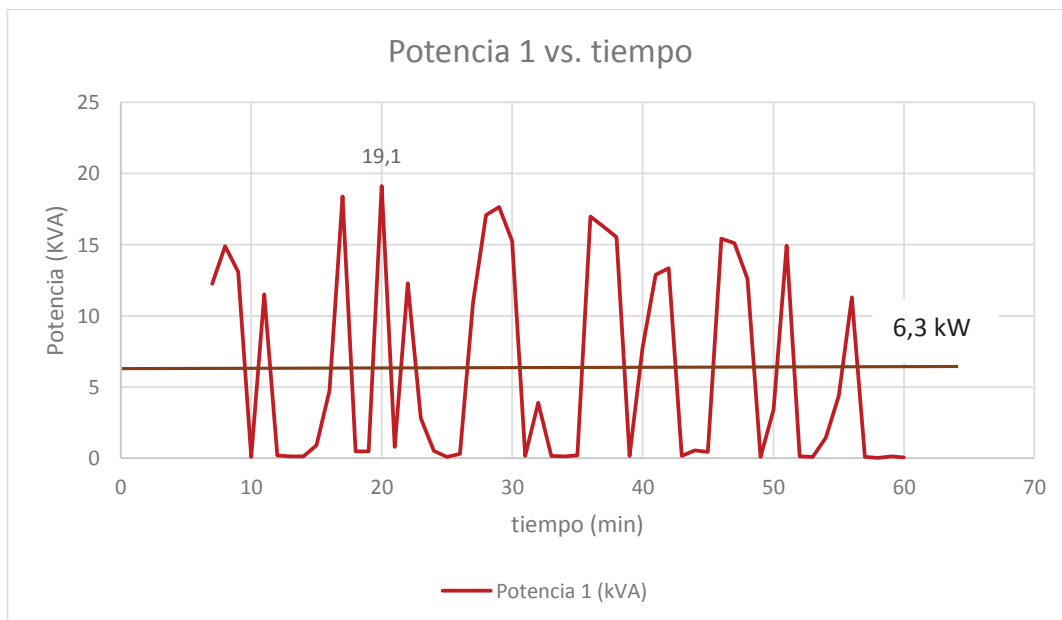


Figura 3.9. Potencia 1 vs. tiempo  
Fuente: (Propia, 2016)

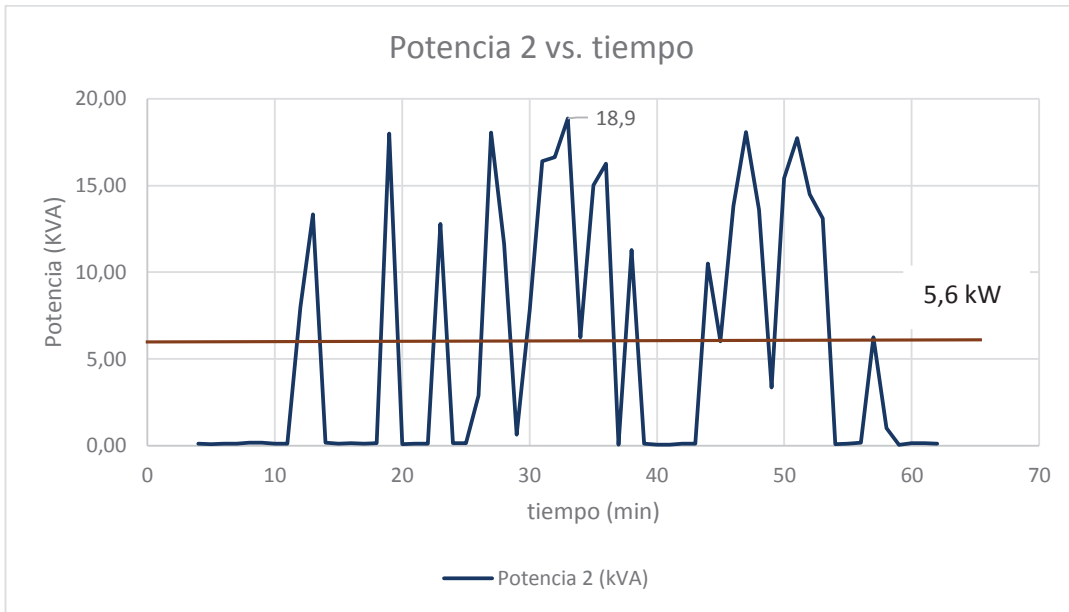


Figura 3.10. Potencia 2 vs. tiempo  
Fuente: (Propia, 2016)



Figura 3.11. Potencia 3 vs. tiempo  
Fuente: (Propia, 2016)

Las potencias obtenidas durante las pruebas de autonomía son semejantes en cuanto al comportamiento del auto eléctrico, sin que influya la carga de las baterías, lo cual indica que la potencia durante el recorrido es similar. Los valores promedio de potencia nominal y potencia pico alcanzados en las pruebas de autonomía se presentan en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Resultados de la potencia en las pruebas de autonomía

Potencia (P)	Potencia Nominal (kW)	Potencia Pico (kW)
Prueba 1	6,3	19,1
Prueba 2	5,6	18,9
Prueba 3	5,8	18,8
<b>Potencia Media</b>	<b>5,9</b>	<b>18,9</b>

(Fuente: Propia, 2016)

La potencia nominal media obtenida en las pruebas es de 5,9 kW, la potencia nominal proporcionada por el fabricante es de 7,5 kW. Por lo tanto, relacionando las dos, el auto eléctrico trabaja en la práctica a un 78,7% del valor nominal.

La potencia pico media es de 18,9 kW, la potencia pico de acuerdo al fabricante es de 22,5 kW. En consecuencia, si se relacionan, el auto eléctrico trabaja a una potencia pico del 84% con respecto a las especificaciones del fabricante, en las condiciones de topografía y tráfico del DMQ.

### 3.1.6 Determinación de la autonomía

La determinación de la autonomía del auto eléctrico se realiza en función de las pruebas de comportamiento eléctrico realizadas.

Considerando las gráficas de los amperios-hora consumidos en función del tiempo, mostradas en la Figura 3.2, se observa que la forma de la función que relaciona la variable dependiente amperios-hora (Y) con respecto a la variable independiente tiempo (X), se ajustan al de una línea recta, cuya función está descrita por la ecuación Ec. (3.1):

$$Y = a * X + b \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Donde:

X: Valores de la variable independiente (s)

Y: Valores de la variable dependiente (Ah)

a: Pendiente de la recta de mejor ajuste

b: Ordenada al origen, que representa el término independiente de la ecuación

El coeficiente a y la constante b se calculan utilizando el método de los mínimos cuadrados, obteniéndose así las funciones que relacionan las dos variables para las tres pruebas de autonomía realizadas.

## Método de los mínimos cuadrados

Es un método estadístico que permite estimar o ajustar los parámetros del modelo de regresión; consiste en minimizar el error entre los puntos estimados en la recta y los puntos observados reales utilizados como referencia para trazarla [18] La ecuación Ec. (3.2) permite encontrar la pendiente de la recta de regresión.

$$a = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2} \quad \text{Ec. (3.2)}$$

En donde:

- a: Pendiente de la recta de estimación
- X: Valores de la variable independiente (s)
- Y: Valores de la variable dependiente (Ah)
- $\bar{X}$ : Valor promedio de los valores de la variable independiente (s)
- $\bar{Y}$ : Valor promedio de los valores de la variable dependiente (Ah)
- n: Número de pares ordenados

La ecuación Ec. (3.3) permite calcular la ordenada Y al origen de la recta de regresión, la cual es constante.

$$b = \bar{Y} - a\bar{X} \quad \text{Ec. (3.3)}$$

En donde:

- b: Ordenada Y
- a: Pendiente de la recta de estimación
- $\bar{X}$ : Valor promedio de los valores de la variable independiente (s)
- $\bar{Y}$ : Valor promedio de los valores de la variable dependiente (Ah)

En la Tabla 3.9 se presenta los valores sumatorio y promedio de las variables X, Y para la curva de amperios-hora cuando inicia con 149,5 Ah.

Tabla 3.9. Datos de regresión amperios-hora vs. tiempo en la primera prueba

N°	tiempo (min) [X]	Ah1 [Y]	XY	X^2	N°	tiempo (min) [X]	Ah1 [Y]	XY	X^2
1	7	149,46	1043,25	48,72	29	35	112,31	3928,67	1223,60
2	8	147,59	1177,74	63,68	30	36	108,85	3916,42	1294,56
3	9	145,50	1306,55	80,64	31	37	104,53	3865,56	1367,52
4	10	143,77	1434,86	99,60	32	38	100,40	3813,04	1442,48
5	11	143,01	1570,29	120,56	33	39	97,48	3799,93	1519,44
6	12	142,46	1706,62	143,52	34	40	96,17	3844,96	1598,40
7	13	141,36	1834,79	168,48	35	41	93,30	3823,56	1679,36
8	14	140,87	1969,38	195,44	36	42	92,76	3894,11	1762,32
9	15	140,77	2108,72	224,40	37	43	91,96	3952,57	1847,28
10	16	140,19	2240,30	255,36	38	44	90,55	3982,48	1934,24
11	17	139,49	2368,47	288,32	39	45	86,88	3907,91	2023,20
12	18	136,35	2451,48	323,28	40	46	85,78	3944,26	2114,16
13	19	136,17	2584,53	360,24	41	47	81,74	3840,00	2207,12
14	20	134,60	2689,27	399,20	42	48	80,48	3861,53	2302,08
15	21	132,14	2772,38	440,16	43	49	79,87	3912,08	2399,04
16	22	131,46	2889,45	483,12	44	50	78,72	3934,28	2498,00
17	23	131,10	3012,66	528,08	45	51	77,72	3962,37	2598,96
18	24	130,71	3134,45	575,04	46	52	76,74	3988,79	2701,92
19	25	130,08	3249,35	624,00	47	53	76,53	4054,56	2806,88
20	26	129,65	3368,26	674,96	48	54	76,20	4113,06	2913,84
21	27	126,65	3416,94	727,92	49	55	75,55	4153,90	3022,80
22	28	123,63	3459,20	782,88	50	56	74,76	4185,12	3133,76
23	29	119,30	3457,34	839,84	51	57	73,98	4215,27	3246,72
24	30	114,81	3442,09	898,80	52	58	73,96	4288,37	3361,68
25	31	113,36	3511,99	959,76	53	59	73,77	4350,78	3478,64
26	32	113,27	3622,47	1022,72	54	60	73,75	4423,64	3597,60
27	33	112,89	3723,08	1087,68	Sumatorio	1808	5938	177333	73647
28	34	112,70	3829,51	1154,64	Promedio	33	110	3284	1364

(Fuente: Propia, 2016)

Reemplazando los parámetros característicos a y b; en la ecuación 3.1, y definiendo la ecuación de la recta ajustada, se tiene:

$$Y = -1,26X + 151,55 \quad \text{Ec. (3.4)}$$

Si  $Y = 0$  entonces  $X = 120,28$ . Por lo tanto, el tiempo en la prueba 1 es igual a 120,28 minutos, equivalente a 2 horas.



En la Tabla 3.10 se presenta los valores sumatorio y promedio de las variables X, Y para la curva de amperios-hora cuando inicia la prueba con 147,2 Ah.

Tabla 3.10. Datos de regresión amperios-hora vs. tiempo en la segunda prueba

N°	tiempo (min) [X]	Ah [Y]	XY	X^2	N°	tiempo (min) [X]	Ah [Y]	XY	X^2
1	4	147,24	588,96	16,00	32	35	111,12	3889,03	1225,00
2	5	146,31	731,53	25,00	33	36	108,44	3903,98	1296,00
3	6	145,70	874,20	36,00	34	37	105,61	3907,57	1369,00
4	7	143,54	1004,75	49,00	35	38	104,98	3989,05	1444,00
5	8	143,15	1145,21	64,00	36	39	103,85	4050,07	1521,00
6	9	143,10	1287,86	81,00	37	40	103,81	4152,20	1600,00
7	10	142,23	1422,33	100,00	38	41	103,79	4255,19	1681,00
8	11	141,23	1553,55	121,00	39	42	103,71	4355,78	1764,00
9	12	140,86	1690,37	144,00	40	43	103,20	4437,56	1849,00
10	13	140,59	1827,64	169,00	41	44	102,81	4523,42	1936,00
11	14	140,03	1960,43	196,00	42	45	100,78	4534,97	2025,00
12	15	139,98	2099,69	225,00	43	46	98,39	4525,85	2116,00
13	16	139,62	2233,92	256,00	44	47	94,85	4458,14	2209,00
14	17	139,54	2372,21	289,00	45	48	93,27	4477,06	2304,00
15	18	139,09	2503,64	324,00	46	49	89,41	4380,85	2401,00
16	19	137,22	2607,09	361,00	47	50	86,58	4329,00	2500,00
17	20	135,61	2712,16	400,00	48	51	82,93	4229,18	2601,00
18	21	135,45	2844,47	441,00	49	52	79,70	4144,24	2704,00
19	22	134,81	2965,75	484,00	50	53	77,48	4106,65	2809,00
20	23	133,49	3070,29	529,00	51	54	75,88	4097,57	2916,00
21	24	131,14	3147,38	576,00	52	55	75,67	4161,58	3025,00
22	25	130,29	3257,15	625,00	53	56	75,56	4231,14	3136,00
23	26	129,99	3379,77	676,00	54	57	75,41	4298,60	3249,00
24	27	128,83	3478,49	729,00	55	58	72,48	4203,84	3364,00
25	28	127,78	3577,76	784,00	56	59	70,61	4166,11	3481,00
26	29	127,14	3686,94	841,00	57	60	68,79	4127,58	3600,00
27	30	126,57	3797,19	900,00	58	61	67,83	4137,39	3721,00
28	31	125,81	3900,02	961,00	59	62	66,29	4110,04	3844,00
29	32	122,77	3928,51	1024,00	Sumatorio	1947	6696	195663	81361
30	33	118,91	3924,06	1089,00	Promedio	33	113	3316	1379
31	34	114,89	3906,29	1156,00					

(Fuente: Propia, 2016)

Reemplazando los parámetros característicos a y b; en la ecuación 3.1, y definiendo la ecuación de la recta ajustada, se tiene:

$$Y = -1,423X + 159,96 \quad \text{Ec. (3.5)}$$

Si  $Y = 0$  entonces  $X = 112,41$ . Por lo tanto, el tiempo en la segunda prueba es igual a 112,41 minutos, equivalente a 1,87 horas.

En la Tabla 3.11 se muestra los valores sumatorio y promedio de las variables X, Y para la curva de amperios-hora cuando inicia con 137,8 Ah.

Tabla 3.11. Datos de regresión amperios-hora vs. tiempo en la tercera prueba

N°	tiempo (min) [X]	Ah [Y]	XY	X <sup>2</sup>	N°	tiempo (min) [X]	Ah [Y]	XY	X <sup>2</sup>
1	5	137,83	689,17	25,00	34	38	77,79	2956,13	1444,00
2	6	136,78	820,66	36,00	35	39	76,83	2996,21	1521,00
3	7	136,14	952,95	49,00	36	40	76,80	3071,96	1600,00
4	8	135,57	1084,58	64,00	37	41	76,09	3119,73	1681,00
5	9	134,81	1213,26	81,00	38	42	76,03	3193,18	1764,00
6	10	131,77	1317,66	100,00	39	43	74,82	3217,39	1849,00
7	11	127,91	1407,02	121,00	40	44	74,22	3265,77	1936,00
8	12	123,89	1486,69	144,00	41	45	72,97	3283,74	2025,00
9	13	120,12	1561,50	169,00	42	46	71,09	3270,32	2116,00
10	14	117,44	1644,22	196,00	43	47	69,98	3288,97	2209,00
11	15	114,61	1719,15	225,00	44	48	69,62	3341,66	2304,00
12	16	113,98	1823,60	256,00	45	49	68,72	3367,38	2401,00
13	17	112,85	1918,42	289,00	46	50	67,70	3384,85	2500,00
14	18	112,81	2030,49	324,00	47	51	67,65	3449,90	2601,00
15	19	112,79	2142,92	361,00	48	52	66,79	3473,29	2704,00
16	20	112,71	2254,18	400,00	49	53	66,21	3509,08	2809,00
17	21	112,20	2356,18	441,00	50	54	66,18	3573,94	2916,00
18	22	111,81	2459,71	484,00	51	55	64,92	3570,71	3025,00
19	23	109,78	2524,87	529,00	52	56	64,42	3607,52	3136,00
20	24	107,39	2577,31	576,00	53	57	64,10	3653,76	3249,00
21	25	103,85	2596,35	625,00	54	58	63,54	3685,32	3364,00
22	26	102,27	2659,07	676,00	55	59	62,04	3660,07	3481,00
23	27	98,41	2656,94	729,00	56	60	62,01	3720,42	3600,00
24	28	95,58	2676,24	784,00	57	61	61,57	3755,53	3721,00
25	29	91,93	2665,83	841,00	58	62	61,09	3787,27	3844,00
26	30	88,70	2660,91	900,00	59	63	60,37	3803,00	3969,00
27	31	86,48	2681,00	961,00	60	64	60,05	3843,46	4096,00
28	32	84,88	2716,19	1024,00	61	65	59,35	3857,95	4225,00
29	33	84,67	2793,95	1089,00	62	66	59,31	3914,66	4356,00
30	34	84,56	2874,90	1156,00	63	67	59,35	3976,65	4489,00
31	35	84,41	2954,49	1225,00	64	68	59,31	4033,28	4624,00
32	36	81,48	2933,28	1296,00	Sumatoria	2336	5671	178432	107104
33	37	79,61	2945,64	1369,00	Promedio	37	89	2788	1674

(Fuente: Propia, 2016)

Reemplazando los parámetros característicos a y b; en la ecuación 3.1, y definiendo la ecuación de la recta ajustada, se tiene:

$$Y = -1,658X + 150,36 \quad \text{Ec. (3.6)}$$

Si  $Y = 0$  entonces  $X = 90,7$ . Por lo tanto, el tiempo en la tercera prueba es igual a 90,7 minutos, equivalente a 1,51 horas.

En la Figura 3.12 se muestra las curvas de regresión para los amperios-hora en función del tiempo con los resultados obtenidos de las tres pruebas de autonomía.

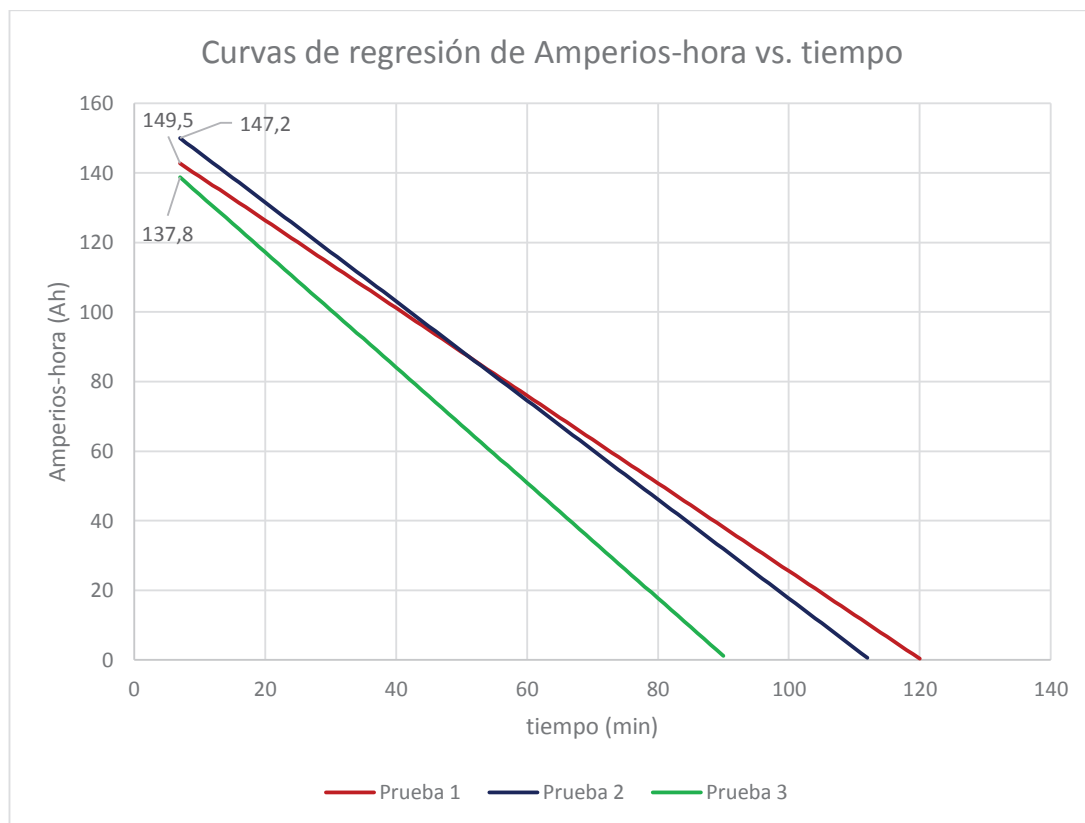


Figura 3.12. Curvas de regresión Amperios-hora vs. tiempo  
Fuente: (Propia, 2016)

Se determina que en las dos primeras pruebas realizadas, inicialmente con 149,5 Ah y 147,2 Ah, su comportamiento es similar, mientras que la tercera prueba tiene un consumo más rápido de los amperios-hora disponibles en las baterías, por lo tanto, se reduce la autonomía.

En la Tabla 3.12 se muestra los resultados de la autonomía para las tres pruebas desarrolladas.

Tabla 3.12. Resultados de la prueba de autonomía en horas.

<b>Prueba 1</b>	<b>Amperios-hora de inicio (Ah)</b>	<b>Autonomía (h)</b>
Prueba 1	149,5	2
Prueba 2	147,2	1,87
Prueba 3	137,8	1,51
<b>Autonomía</b>		<b>1,8</b>

(Fuente: Propia, 2016)

La autonomía estimada para el auto eléctrico corresponde a 1,8 horas para las condiciones topográficas y de tráfico del DMQ.

Para determinar la autonomía en kilómetros es necesario calcular la velocidad promedio con que el auto eléctrico se desplazó en la ruta de pruebas. En la Tabla 3.13 se presenta los tramos recorridos en la ruta, las distancias, el tiempo empleado en cada tramo y la velocidad promedio del auto eléctrico en la prueba de autonomía.

Tabla 3.13. Velocidad promedio del auto eléctrico en la prueba de autonomía.

Tramo	Distancia (km)	Ciclo	Distancia acumulada (km)	Horario de recorrido	Tiempo (h)	Velocidad media (km/h)
CCICEV – Autopista General Rumiñahui (ingreso intercambiador)	7,43	Carretera	16,3	9h09 A	0,23	70,9
Avenida Simón Bolívar – Subida a Guápulo	8,87	Carretera		9h23		
Subida a Guápulo – Parque La Vicentina	4,04	Ciudad	4,04	9h23 A	0,25	16,2
Parque La Vicentina – Hotel Quito	1,40	Ciudad	7,61	9h38 a 10h09	0,52	14,6
Hotel Quito – 10 de Agosto	1,83	Ciudad				
10 de Agosto – Mariana de Jesús	0,81	Ciudad				
Mariana de Jesús – Amazonas - Veintimilla	2,32	Ciudad				
Veintimilla – CCICEV	1,25	Ciudad				
<b>Total recorrido</b>	<b>27,95</b>		<b>Velocidad promedio</b>			<b>33,9</b>

(Fuente: Propia, 2016)

La velocidad promedio con que se desplazó el auto eléctrico en la ruta combinada durante la prueba de autonomía fue de 33,9 km/h.

Realizando el producto entre la autonomía del auto eléctrico en horas y su velocidad promedio, se determina que la autonomía de este auto es de 61 km para las condiciones topográficas y de tráfico del DMQ.

### 3.2 Prueba de tiempo de carga

Los resultados de la prueba de tiempo de carga se presentan en la Tabla 3.14, observándose la carga, el tiempo necesario para la recarga completa y el voltaje después de este proceso.

Tabla 3.14. Resultados de tiempo de carga de las baterías

N°	% Carga		Tiempo (h)	Voltaje (V)	
	Inicio	Final		Inicio	Final
1	8	100	7,63	56	81,1
2	7	99	7,85	58	79,2
3	10	100	7,88	53	79,8
4	8	100	7,81	54	80,01
5	11	100	7,8	55	81,34

(Fuente: Propia, 2016)

En la Figura 3.13 se tiene la gráfica del tiempo requerido para cargar el banco de baterías de plomo ácido para llegar a un valor final del 100% y un voltaje de 80 V, aproximadamente.

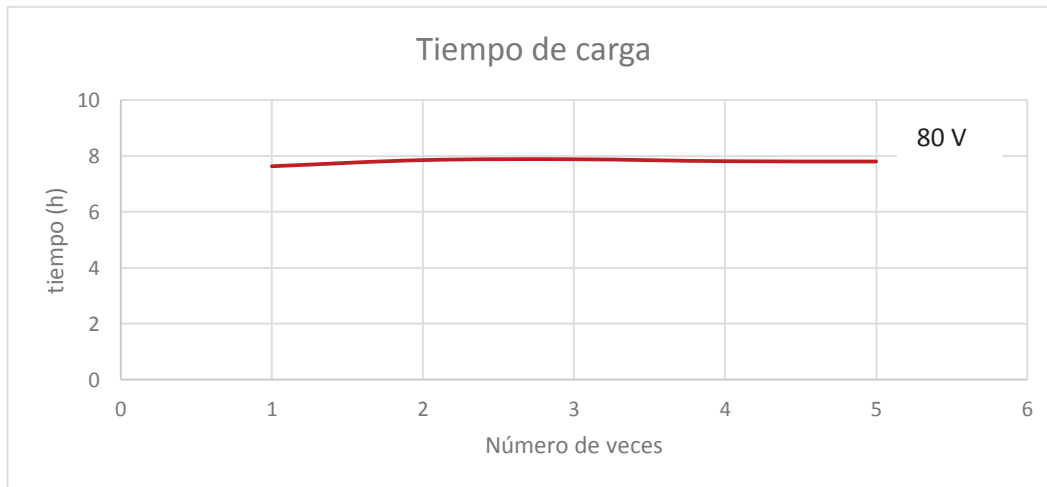


Figura 3.13. Tiempo de carga del banco de baterías  
Fuente: (Propia, 2016)

El tiempo medio necesario para cargar el banco de baterías de plomo ácido al 100% corresponde a un valor constante de 7,73 horas, obteniéndose un voltaje de 80 V, aproximadamente.

### 3.3 Prueba de determinación de la aceleración en plano

Los resultados obtenidos de la prueba de aceleración en plano se registran en la Tabla 3.15, la misma que contiene el porcentaje de carga del banco de baterías, y los tiempos requeridos para que el auto de pruebas llegue de 0 a 32, de 0 a 64 y de 0 a 85 km/h, respectivamente.

Tabla 3.15. Resultados de la prueba de aceleración en plano

N°	% Carga	Tiempo (t) en segundos para llegar de:		
		0 - 32 (km/h)	0 - 64 (km/h)	0 - 85 (km/h)
1	86	8	29	85
2	78	12	33	101
3	30	13	34	103
4	22	14	36	105

(Fuente: Propia, 2016)

En la Figura 3.14, se observa las gráficas que representan el tiempo en función de la velocidad para las cargas de 86%, 78% 30% y 22%.



Figura 3.14. Tiempo vs. % de carga  
Fuente: (Propia, 2016)

Cuando un auto eléctrico se encuentra totalmente cargado, como es de esperarse llega a los niveles de velocidad más rápidamente, por lo tanto, se recomienda que el auto inicie su movimiento a plena carga

### 3.4 Prueba de capacidad de arranque en pendiente (Startability)

Durante la prueba de capacidad de arranque en pendiente se recopilan los resultados de la carga de las baterías inicial y final, la velocidad de ascenso del auto eléctrico en una pendiente del 25% con un peso de 375 kg y el tiempo necesario para cubrir la longitud aproximada de 1 km. Esta información se presenta en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16. Resultados de la prueba de capacidad de arranque en pendiente(Startability)

% Carga	PESO	375 KILOGRAMOS	
75 - 100%	INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE	25%	
	CONSUMO DE CARGA (%)	INICIO	FINAL
		91	88,6
	VELOCIDAD DE ASCENSO (km/h)	39,7	
	TIEMPO (segundos)	91	
LONGITUD RECORRIDA (m)	998		
% Carga	PESO	375 KILOGRAMOS	
50 - 75%	INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE	25%	
	CONSUMO DE CARGA (%)	INICIO	FINAL
		53,7	49,7
	VELOCIDAD DE ASCENSO (km/h)	38,1	
	TIEMPO (segundos)	98	
LONGITUD RECORRIDA (m)	933		
% Carga	PESO	375 KILOGRAMOS	
25 - 50%	INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE	25%	
	CONSUMO DE CARGA (%)	INICIO	FINAL
		39	34,8
	VELOCIDAD DE ASCENSO (km/h)	34,1	
	TIEMPO (segundos)	104	
LONGITUD RECORRIDA (m)	994		

(Fuente: Propia, 2016)

En la Figura 3.15 se observa la velocidad de ascenso luego del arranque vs. el tiempo necesario para que el auto eléctrico pueda terminar la pendiente, con diferentes condiciones de carga.

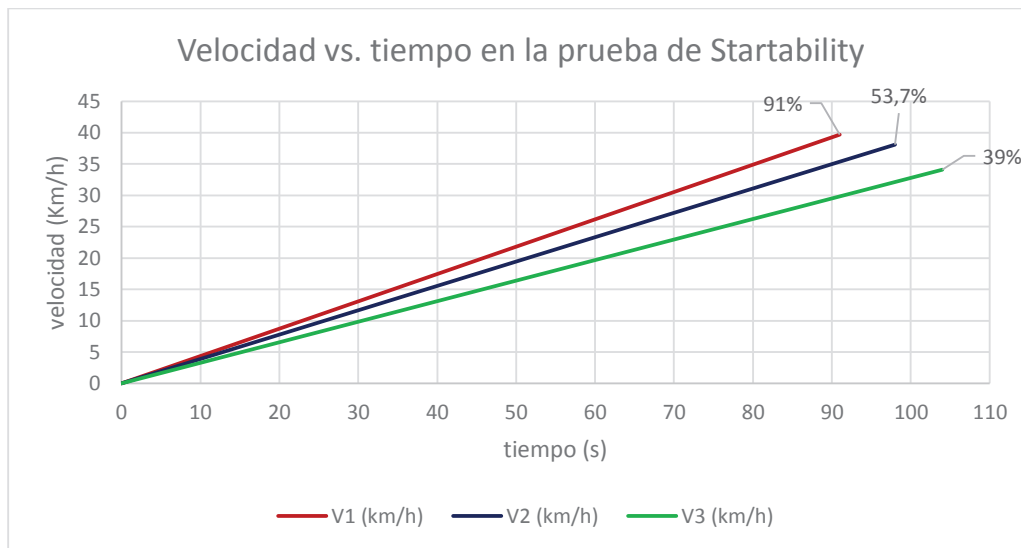


Figura 3.15. Velocidad vs. tiempo en la prueba de Startability  
Fuente: (Propia, 2016)

Se observa que el vehículo puede vencer la pendiente con la carga de prueba de 39%, sin embargo, la velocidad de subida es menor que cuando se arranca con mayor carga. Además, el tiempo para cubrir la longitud determinada es mayor a medida que disminuye la carga. Por lo tanto, con la descarga de las baterías se pierde prestaciones en el vehículo respecto a la velocidad de ascenso.

### 3.5 Prueba de capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability)

En la Tabla 3.17 se presentan los resultados de la carga de las baterías inicial y final, la velocidad de ascenso del auto eléctrico en una pendiente del 25% con un peso de 375 kg y el tiempo necesario para cubrir la longitud aproximada de 1 km, durante la prueba de capacidad de ascenso en pendiente.

Tabla 3.17. Resultados de la prueba de capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability)

% Carga	PESO	375 KILOGRAMOS	
75 -100%	INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE	25%	
	CONSUMO DE CARGA	INICIO	FINAL
		85,9	79,2
	VELOCIDAD DE ASCENSO (km/h)	44,5	
	Tiempo (segundos) 500m	60	
	TIEMPO (segundos)	111	
LONGITUD RECORRIDA (m)	1090		



Tabla 3.9. Continuación

% Carga	PESO	375 KILOGRAMOS	
50 -75%	INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE	25%	
	CONSUMO DE CARGA	INICIO	FINAL
		68,2	61,3
	VELOCIDAD DE ASCENSO (km/h)	33,6	
	Tiempo (segundos) 500m	76	
	TIEMPO (segundos)	160	
LONGITUD RECORRIDA (m)	1070		
% Carga	PESO	375 KILOGRAMOS	
25 -50%	INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE	25%	
	CONSUMO DE CARGA	INICIO	FINAL
		47,9	40,9
	VELOCIDAD DE ASCENSO (km/h)	22,4	
	Tiempo (segundos) 500m	85	
	TIEMPO (segundos)	170	
LONGITUD RECORRIDA (m)	1160		

(Fuente: Propia, 2016)

En la Figura 3.16 se observa la velocidad de ascenso del auto eléctrico en las diferentes condiciones de carga inicial vs el tiempo necesario para efectuar la prueba.

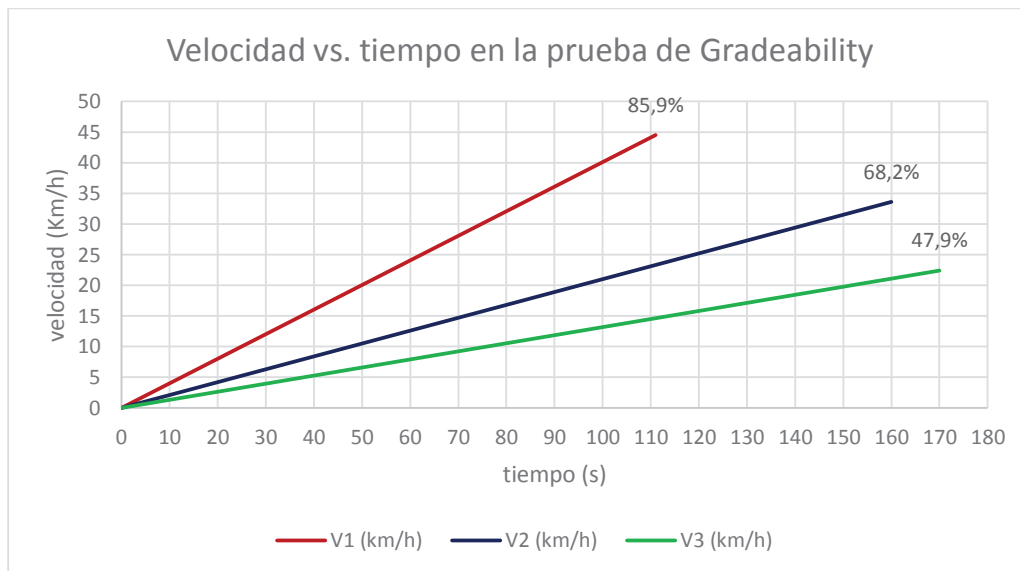


Figura 3.16. Velocidad vs. tiempo en la prueba de Gradeability

Fuente: (Propia, 2016)

El auto eléctrico asciende en pendiente con menor velocidad a medida que la carga inicial de las baterías es menor, y aumenta el tiempo de traslado. En consecuencia,

pierde prestaciones a medida que disminuye la carga de las baterías, dificultando la satisfacción de las necesidades del usuario.

### 3.6 Prueba de recuperación en plano

En la Tabla 3.18 se presentan los resultados obtenidos en la prueba de recuperación en plano. Se observa la carga al inicio y final y el tiempo requerido por el auto eléctrico para llegar de 64 a 85 km/h en una carretera plana.

Tabla 3.18. Resultados de la prueba de recuperación en plano

N°	% Carga		Tiempo (t) en segundos para llegar de 64 a 85 (km/h)
	Inicio	Fin	
1	86,1	85,2	27
2	80,1	78,2	38
3	58,1	55,4	42
4	55,1	52,9	49
5	24,7	21,9	53

(Fuente: Propia, 2016)

En la Figura 3.17 se observa las gráficas de la velocidad vs. el tiempo necesario para que el auto eléctrico llegue de 64 km/h a 85 km/h con diferentes cargas iniciales.

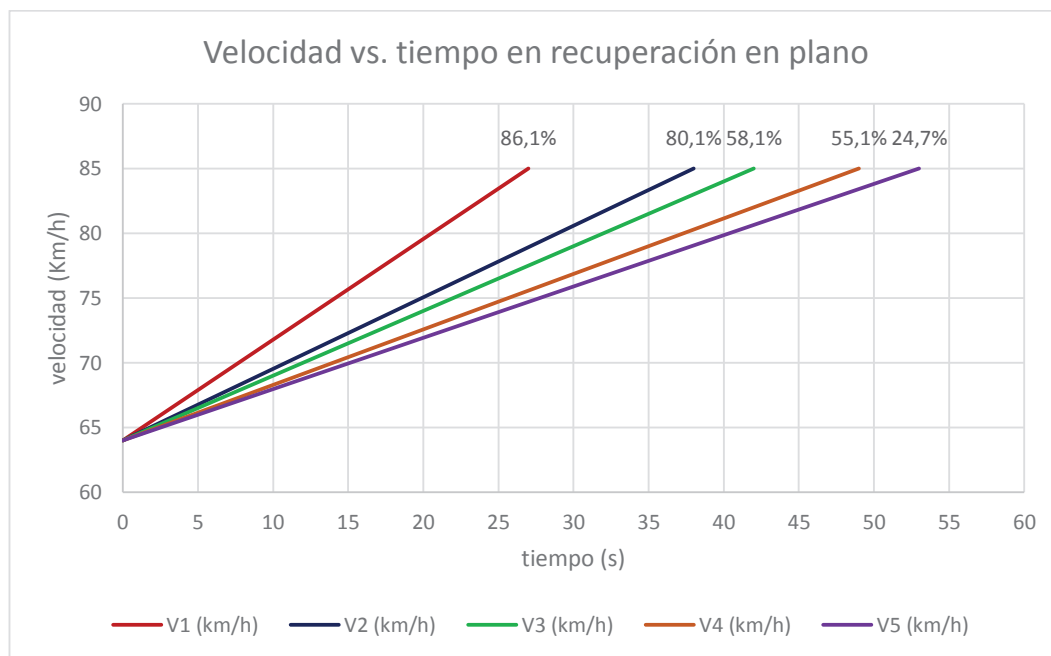


Figura 3.17. Velocidad vs. tiempo en recuperación en plano

Fuente: (Propia, 2016)

Se observa que el tiempo que necesita el auto eléctrico para llegar a su máxima velocidad es mayor a medida que las baterías tienen menor carga. Con esto, se demuestra que, con la disminución de la carga, también se reducen las prestaciones del auto, sin importar que su movilización sea en carretera plana.

### 3.7 Prueba de arranque en pendiente a varios porcentajes de carga

En la Tabla 3.19 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de arranque en pendiente a varios porcentajes de carga. Se recopila la carga al inicio y final de la prueba, la velocidad y el tiempo requerido para completar la pendiente del 25% con un peso de 375 kg.

Tabla 3.19. Resultados de la prueba de arranque en pendiente a varios porcentajes de carga

% CARGA	PESO	375 KILOGRAMOS	
75% - 100%	INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE	25%	
	CONSUMO DE CARGA	INICIO	FINAL
		78	73,5
	VELOCIDAD DE ASCENSO (km/h)	65/39	
	TIEMPO (segundos)	110	
	LONGITUD RECORRIDA (m)	981	
50% - 75%	INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE	25%	
	CONSUMO DE CARGA	INICIO	FINAL
		65,2	59,3
	VELOCIDAD DE ASCENSO (km/h)	65/32,7	
	TIEMPO (segundos)	118	
	LONGITUD RECORRIDA (m)	1004	
25% - 50%	INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE	25%	
	CONSUMO DE CARGA	INICIO	FINAL
		45,4	41,6
	VELOCIDAD DE ASCENSO (km/h)	65/29,7	
	TIEMPO (segundos)	131	
	LONGITUD RECORRIDA (m)	998	

(Fuente: Propia, 2016)

En la Figura 3.18 se observa la velocidad vs. el tiempo para efectuar la prueba. Además, se presenta el porcentaje de carga con que inicia la prueba y la velocidad obtenida.

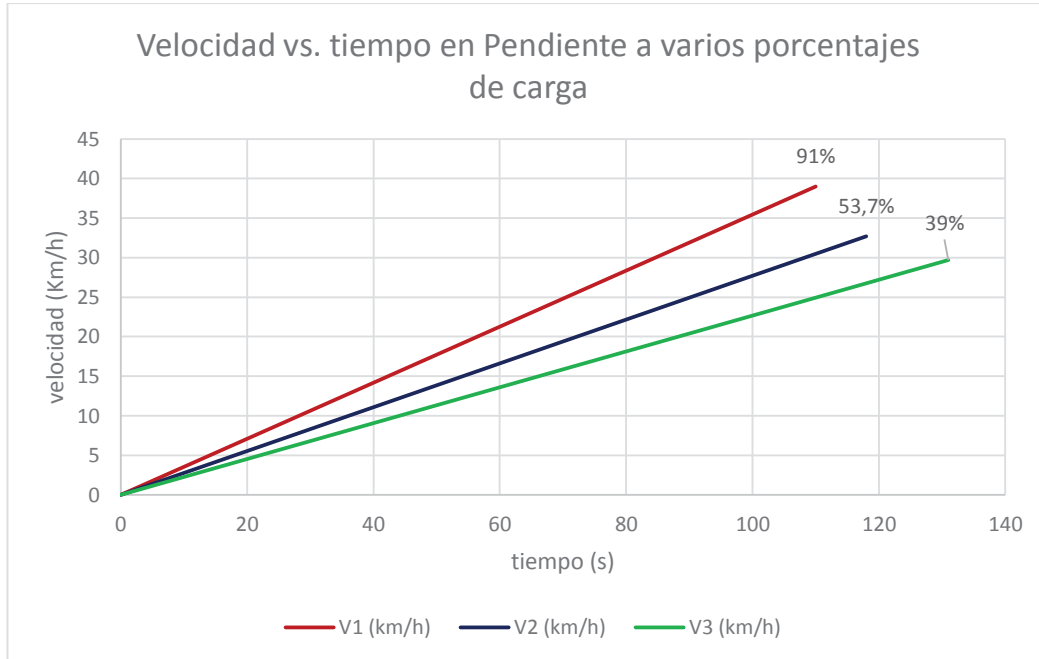


Figura 3.18. Velocidad vs. tiempo en pendiente a varios porcentajes de carga  
Fuente: (Propia, 2016)

Se muestra que en ninguna de las condiciones de carga con que se realizó la prueba, se pudo llegar a la velocidad de 65 km/h requerida para determinar el arranque en pendiente de este auto eléctrico. Sin embargo, cabe indicar que la máxima velocidad de ascenso que se pudo conseguir en la pendiente a varios porcentajes de carga es de 39 km/h. Además, conforme se reduce la carga, se aprecia que las prestaciones del auto eléctrico disminuyen, porque disminuye la velocidad y aumenta el tiempo de traslado.

### 3.8 Costos de operación y mantenimiento

Para el desarrollo del estudio de costos de operación y mantenimiento se considera varios parámetros que sirvan de referencia para determinar la viabilidad de utilización del auto eléctrico en el DMQ. Los parámetros considerados son los siguientes:

- Costo del consumo energético de acuerdo al fabricante
- Costo del consumo energético de acuerdo a la autonomía real
- Costo de mantenimiento

### 3.8.1 Costo del consumo energético de acuerdo al fabricante

El costo de consumo energético se analiza de acuerdo a las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante del auto eléctrico de prueba y a las de un auto con motor de combustión interna de características similares, tanto a gasolina como a diésel.

### 3.8.2 Auto eléctrico (AE) vs motor de combustión interna (MCI)

En la Tabla 3.20, se presenta un estudio de costos sobre la base del consumo energético en un recorrido de 100 km para el auto eléctrico de pruebas, un vehículo Chevrolet Spark a gasolina y un Hyundai I30 a diésel. Los resultados finales se reflejan en dólares por cada 100 km.

Tabla 3.20. Costo del consumo energético por cada 100 km según datos del fabricante

	AUTO ELECTRICO (AE)	VEHICULO DE MOTOR DE COMBUSTION INTERNA A GASOLINA (VMCIG)	VEHICULO DE MOTOR DE COMBUSTION INTERNA A DIESEL (VMCID)
COSTOS SEGÚN DATOS DEL FABRICANTE CADA 100 km	11,62 kWh / 100 km, dato del fabricante Costo por kWh: \$ 0,08. dato Empresa Eléctrica Quito	40 km / Galón, dato del fabricante 2,5 Galones / 100 km Costo galón súper: \$ 2,04; Precio oficial	43 km / Galón, dato del fabricante 2,33 Galones / 100 km Costo galón de diésel: \$1,03; Precio oficial
RESULTADOS	\$ 0,93 / 100 km	\$ 5,10 / 100 km	\$ 2,40 / 100 km

(Fuente: Propia, 2016)

La Figura 3.19 muestra los resultados del costo energético según datos del fabricante por cada 100 km de recorrido para el vehículo eléctrico, el VMCIG y el VMCID.

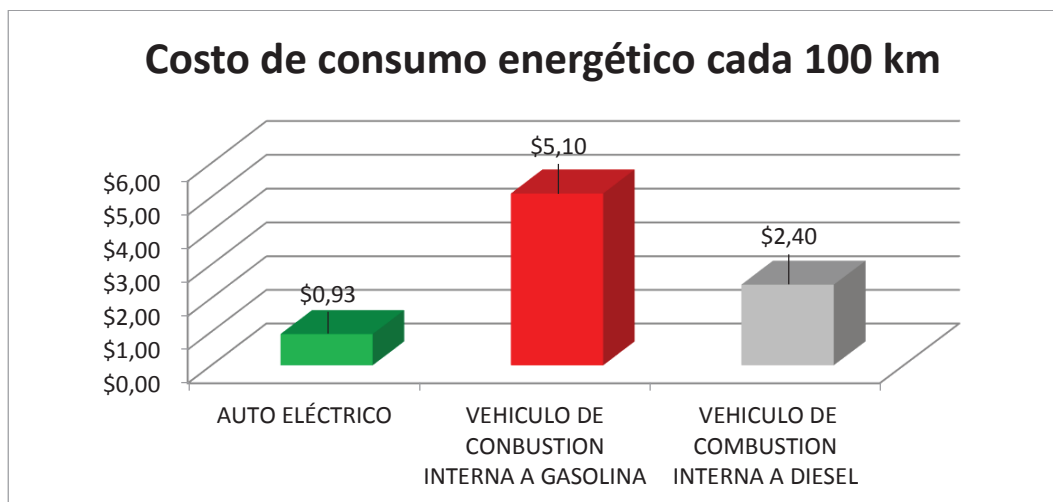


Figura 3.19. Costo de consumo energético según fabricante cada 100 km  
Fuente: (Propia, 2016)

### 3.8.3 Costo de consumo energético de acuerdo a la autonomía real

El costo de consumo energético se analiza de acuerdo a la autonomía real calculada, que es de 61 km, en base a una potencia pico de 18,9 kW que el auto eléctrico consume en la ruta de prueba, realizado en un tiempo de 1,62 horas; dando como resultado un consumo de 10,5 kWh en 61 km.

En la Tabla 3.21, se presenta un estudio de costos sobre la base del consumo energético con autonomía real en un recorrido de 61 km para el auto eléctrico y los de comparación.

Tabla 3.21. Costo del consumo energético por cada 100 km según resultados de autonomía

	AUTO ELECTRICO (AE)	VEHICULO DE MOTOR DE COMBUSTION INTERNA A GASOLINA (VMCIG)	VEHICULO DE MOTOR DE COMBUSTION INTERNA A DIESEL (VMCID)
COSTOS SEGÚN DATOS DE AUTONOMIA CADA 100 km	10,5 kWh / 61 km, datos de autonomía Costo por kWh: \$ 0,08. dato Empresa Eléctrica Quito	40 km / Galón, dato del fabricante 2,5 Galones / 100 km Costo galón súper: \$ 2,04; Precio oficial	43 km / Galón, dato del fabricante 2,33 Galones / 100 km Costo galón de diésel: \$1,03; Precio oficial
RESULTADOS	\$ 0,84 / 61 km \$1,38/100 km	\$ 5,10 / 100 km	\$ 2,40 / 100 km

(Fuente: Propia, 2016)

En la Figura 3.20 se observa los resultados del costo energético con una autonomía real por cada 100 km de recorrido para el vehículo eléctrico, el VMCIG y el VMCID.

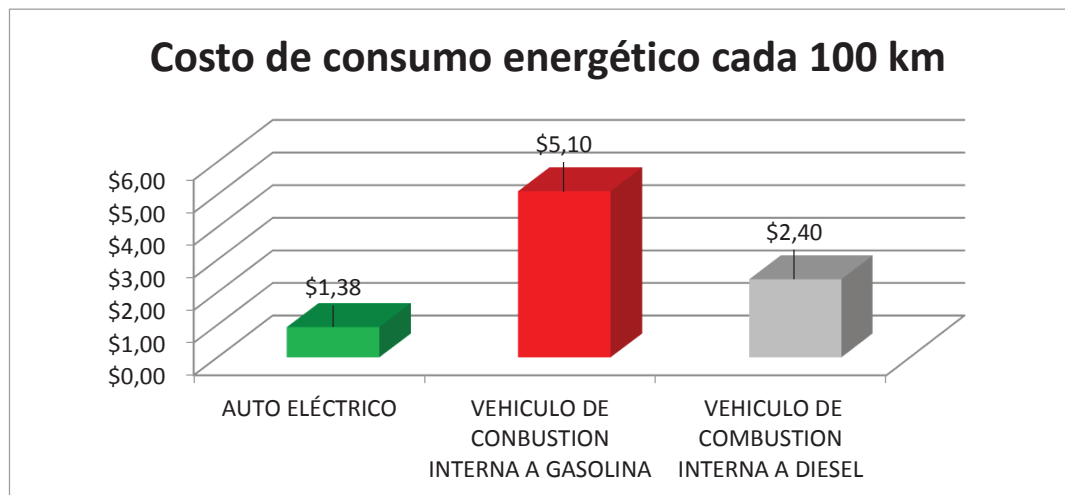


Figura 3.20. Costo de consumo energético de acuerdo a la autonomía real cada 100 km  
Fuente: (Propia, 2016)

Se observa que el menor costo de consumo energético por cada 100 km de recorrido le corresponde al vehículo eléctrico, con valor de \$1,38, obteniéndose un ahorro de \$3,72 con respecto al motor a gasolina y \$ 1,02 al motor diésel.

### 3.8.4 Costo de mantenimiento

El costo de mantenimiento se considera para un periodo de 100.000 km porque es el kilometraje que los fabricantes de automóviles brindan como garantía.

El mantenimiento que se realiza en estos vehículos es de tipo preventivo, considerando que un mantenimiento correctivo generalmente no se presenta antes de los 100.000 km, la descripción del mantenimiento se presenta en el Anexo C. Por lo tanto, el mantenimiento correctivo no tendría influencia en los costos que se están determinando en este estudio.

En la Tabla 3.22 se muestra el detalle de los costos de mantenimiento de los tres tipos de autos, desarrollado para 100000 km.

Tabla 3.22. Costo de mantenimiento para un periodo de 100.000 km cada 5000 km

COSTO KILOMETROS	DOLARES		
	AE	VMCIG	VMCID
5000	10	65	105
10000	10	106	146
15000	10	65	105
20000	35	158	198
25000	10	83	123
30000	10	191	231
35000	10	65	105
40000	10	260	300
45000	10	65	105
50000	965	430	510
55000	10	65	105
60000	35	385	425
65000	10	65	105
70000	10	106	146
75000	10	80	120
80000	10	260	300
85000	10	65	105
90000	10	191	231
95000	10	65	105
100000	965	430	510
<b>COSTO DE MANTENIMIENTO</b>	2160	3200	4080

Fuente: (Propia, 2016)

En la Tabla 3.23 se presentan los datos referentes a los costos de mantenimiento del auto eléctrico y de los vehículos referenciales.

Tabla 3.23. Costo de mantenimiento para un periodo de 100.000 km

	AUTO ELECTRICO (AE)	VEHICULO DE MOTOR DE COMBUSTION INTERNA A GASOLINA (VMCIG)	VEHICULO DE MOTOR DE COMBUSTION INTERNA A DIESEL (VMCID)
REPUESTOS Y MANTENIMEINTO	Mantenimiento cada 100000 km (cambio de baterías cada 50000 km) y mantenimientos preventivos	Mantenimiento cada 5000 km (filtros, cambios de aceite, bujías, bandas, afinamientos)	Mantenimiento cada 5000 km (filtros, cambios de aceite, bandas, afinamientos)
GALONES UTILIZADOS DE ACEITE	0 GALONES	20 GALONES	25 GALONES
COSTOS	\$ 2160	\$ 3200	\$ 4080

(Fuente: Propia, 2016)

En la Figura 3.21 se muestra los resultados del costo de mantenimiento por cada 100.000 km de recorrido para el vehículo eléctrico, el VMCIG y el VMCID.

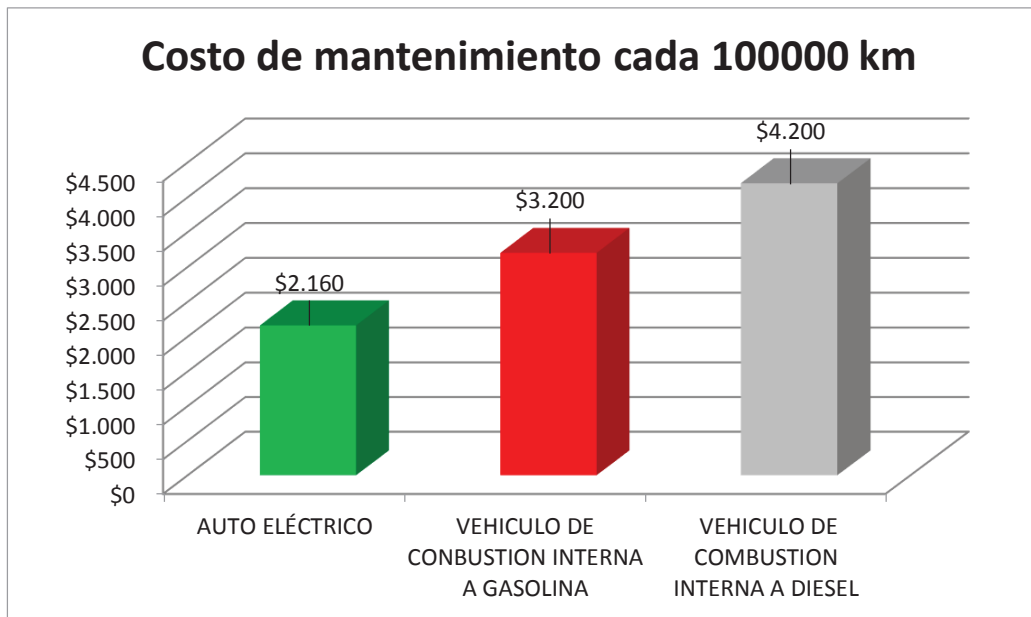


Figura 3.21. Costos de mantenimiento cada 100.000 km  
Fuente: (Propia, 2016)



Se observa que los costos de mantenimiento en el auto eléctrico son inferiores a pesar que el banco de baterías de plomo ácido debe ser reposicionado cada 50.000 km.

Es importante señalar que los vehículos de combustión interna tienen mayor contaminación ambiental y sus costos de mantenimiento son mayores considerablemente.

### 3.8.5 Análisis de costos totales de operación y mantenimiento en 100.000 km

Para calcular el costo total de los vehículos se debe sumar los costos de consumo energético con una autonomía real más los costos de mantenimiento, en este caso referenciados a 100.000 km.

En la Tabla 3.21, se tiene los costos de consumo energético con una autonomía real en dólares por cada 100 km. Por lo tanto, para 100.000 km se presentan en la Tabla 3.24, con los costos totales.

Tabla 3.24. Costo total de operación y mantenimiento para un periodo de 100.000 km

	AUTO ELECTRICO (AE)	VEHICULO DE MOTOR DE COMBUSTION INTERNA A GASOLIONA (VMCIG)	VEHICULO DE MOTOR DE COMBUSTION INTERNA A DIESEL (VMCID)
Costos de consumo energético	\$ 1380	\$ 5100	\$ 2400
Costos de mantenimiento	\$ 2160	\$ 3200	\$ 4080
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 3540</b>	<b>\$ 8300</b>	<b>\$ 6480</b>

(Fuente: Propia, 2016)

En la Figura 3.22 se presenta los resultados del costo total por cada 100000 km de recorrido para el auto eléctrico, el VMCIG y el VMCID.

Los costos totales representan los costos de consumo energético y los costos de mantenimiento preventivo de los tres autos considerados para la presente investigación.

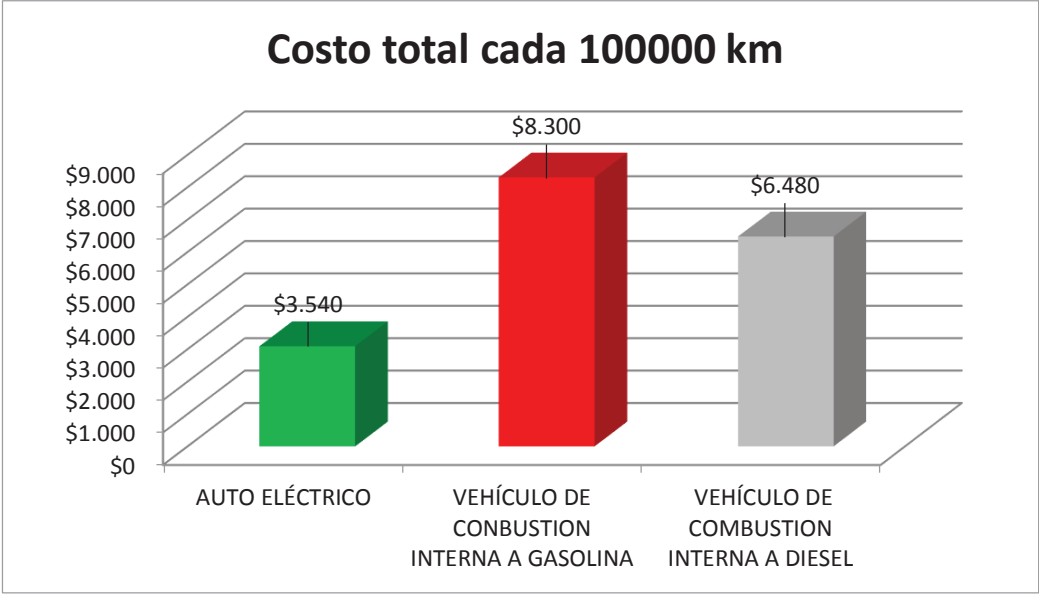


Figura 3.22. Costos totales de operación y mantenimiento cada 100.000 Km  
Fuente: (Propia, 2016)

Se determina que el costo de operación y mantenimiento del auto eléctrico es menor que para los vehículos de combustión interna sea a gasolina o diésel. Además, el ahorro de los costos de un auto eléctrico respecto a uno de gasolina es de 57,35% y respecto a uno diésel el ahorro es de 45,37%. En consecuencia, el uso de este auto eléctrico en el DMQ es económicamente viable.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 Conclusiones**

Luego del análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de desempeño energético y mecánico, y del estudio de costos de operación y mantenimiento, se puede concluir lo siguiente:

- Se cumplió con el objetivo general de la investigación ya que se logró determinar la factibilidad del uso de un auto eléctrico con baterías de plomo-ácido en el DMQ. Para esto, se caracterizó los parámetros cuantitativos del desempeño energético y mecánico del auto, se llevaron a cabo las pruebas técnicas y se realizó el estudio de costos de operación y mantenimiento, lo que permitió establecer dicha factibilidad.
- Existen parámetros eléctricos que afectan la autonomía del auto debido a la topografía del terreno del DMQ, tal es así que, aunque el voltaje en las baterías es casi constante, la intensidad de corriente necesaria para brindar la potencia adecuada al motor es muy alta, presentándose picos que llegan aproximadamente a los 300 A disminuyendo las prestaciones del vehículo.
- La autonomía real de este auto eléctrico es de 61 km, que corresponde al 48,8% con respecto al valor proporcionado por el fabricante, esta disminución es provocado por la topografía del DMQ.
- Las pruebas mecánicas realizadas demuestran que las prestaciones de este auto son limitadas para el DMQ, pues a medida que disminuye su porcentaje de carga, el auto eléctrico disminuye su velocidad, lo que afecta a la normal movilidad y circulación vehicular.
- Sobre la base del estudio de costos de operación y mantenimiento, se concluye que el uso de este auto es económicamente factible en relación con vehículos con motor de combustión interna a gasolina o diésel, debido a que se obtiene un ahorro del 57,35% y del 45,37% respectivamente.

### **4.2 Recomendaciones**

- El proceso de recarga de este auto corresponde a 8 horas, por lo tanto, se recomienda que se realice durante la noche, especialmente cuando se producen los

valles de consumo de energía en los hogares, de esta manera se puede obtener el auto operativo para su uso al día siguiente.

- Dada la baja autonomía que posee este auto eléctrico, se recomienda su utilización en recorridos cortos, por ejemplo: turismo dentro de la ciudad, reparto sectorizado de encomiendas, usuarios del sector público, taxi para uso en el centro-norte de la ciudad, en donde su consumo energético no sea excesivo.
- Se recomienda la instalación de puntos de recarga de autos eléctricos en parqueaderos privados, estacionamientos en el sector público, centros comerciales, y sitios en donde los vehículos permanecen estacionados durante la jornada laboral; además, de electrolineras en sectores estratégicos de la ciudad.
- Luego del estudio realizado y considerando que las baterías plomo ácido brindan una autonomía de 61 km en el DMQ, se recomienda la utilización de baterías ion litio que tienen mejores características como: menor peso, elevada capacidad energética y resistencia a la descarga, propiedades que contribuyen a conseguir una mayor autonomía en el auto eléctrico.

## Referencias Bibliográficas

- [1] S. N. d. P. y. desarrollo, «Plan Nacional del Buen Vivir,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.buenvivir.gob.ec/objetivo-11.-asegurar-la-soberania-y-eficiencia-de-los-sectores-estrategicos-para-la-transformacion-industrial-y-tecnologica>. [Último acceso: 12 05 2016].
- [2] J. Costas, «Motor pasión,» 7 Mayo 2010. [En línea]. Available: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-de-los-coches-electricos>. [Último acceso: 12 Mayo 2016].
- [3] J. Fiestas, «Coches eléctricos beneficio y comodidad,» 07 Agosto 2013. [En línea]. Available: <http://josecarlosfiestasquerebalu.blogspot.com/2013/08/tecnologia.html>. [Último acceso: 01 06 2016].
- [4] D. Holdings, «Autos eléctricos,» 11 Marzo 2014. [En línea]. [Último acceso: 16 Mayo 2106].
- [5] D. Terrones, «Innovaciones Tecnológicas,» 18 Mayo 2016. [En línea]. [Último acceso: 20 Mayo 2016].
- [6] C. Flores, «Cepea Noche,» 26 Febrero 2016. [En línea]. Available: <http://cepeanoche.blogspot.com/>. [Último acceso: 12 Junio 2016].
- [7] Victron, Energy, «<https://www.victronenergy.com/es/support-and-downloads/software>,» 16 febrero 2015. [En línea]. Available: <https://www.victronenergy.com/es/support-and-downloads/software>. [Último acceso: 05 Enero 2016].
- [8] Enchufing, «Soluciones de recarga,» Recarga de vehículos eléctricos, 2016. [En línea]. Available: <http://www.enchufing.com/>. [Último acceso: 15 Junio 2016].
- [9] BMW, «BMW i,» Distribuidora BMW, 2016. [En línea]. Available: <http://www.bmw.cl/es/all-models/bmw-i/i3/2016/range-charging.html>. [Último acceso: 25 Junio 2016].
- [10] Renault, «Corriente eléctrica,» Renault, 28 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <http://corrienteelectrica.renault.es/ahorra-regenera-energia-coche-electrico/>. [Último acceso: 13 Octubre 2016].
- [11] Endesa, «Vehículo eléctrico,» Endesa, 2013. [En línea]. Available: <http://www.endesavehiculoelectrico.com/vehiculo-electrico/recarga/tipos>. [Último acceso: 11 Agosto 2016].
- [12] Nissan, «Autonomía y recarga,» Nissan Leaf, 2016. [En línea]. Available: [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:DWCK2\\_INDJgJ:https://www.nissan.es/vehiculos/nuevos-vehiculos/leaf/autonomia.html+&cd=4&hl=es&ct=clnk&gl=ec](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:DWCK2_INDJgJ:https://www.nissan.es/vehiculos/nuevos-vehiculos/leaf/autonomia.html+&cd=4&hl=es&ct=clnk&gl=ec). [Último acceso: 15 Agosto 2016].

- [13] Ministerio Coordinador de producción, Empleo y Competitividad, «Vehículos eléctricos en el Ecuador,» Quito.
- [14] Endesa, «Componentes principales del auto eléctrico,» Endesa Educa, 2014. [En línea]. Available: [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico#componentes](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico#componentes). [Último acceso: 12 Agosto 2016].
- [15] Ambacar, «Informe final Vehículos eléctricos Green Whell,» Quito, 2012.
- [16] CCICEV, «Protocolo de pruebas autos eléctricos Quito,» Quito.
- [17] IRANOR, «Prueba de arrancabilidad en pendiente: norma española: UNE 26-358-81,» Instituto Nacional de Racionalización y Normalización, 1981.
- [18] D. R. Anderson, D. J. Sweeney y T. A. Williams, Estadística para Administración y Economía, International Thomson, 2001.

## **Anexos**

### **ANEXO A**

#### **FORMATOS PARA LA RECOPIACIÓN DE DATOS**

Para la recopilación de datos a efectuarse en cada una de las pruebas de campo, se diseñan los formatos siguientes:

Formato F1. Verificación previa de los sistemas del vehículo

<b>a) CONDICIONES AMBIENTALES</b>				
Temperatura ambiente °C				
<b>b) REVISIÓN FÍSICA DEL VEHÍCULO</b>				
Presión neumáticos (Psi)	D RH	D LH	T RH	T LH
Sistemas del vehículo	OK	NO	OBSERVACIÓN	
LUCES BAJAS DELANTERAS				
LUCES MEDIAS DELANTERAS				
LUCES ALTAS				
DIRECCIONALES DELANTEROS				
DIRECCIONALES TRASEROS				
LUCES STOP				
LUCES DE RETRO				
PLUMAS				
BLOQUEO DEL MOTOR ELÉCTRICO				
BATERÍA AUXILIAR 12V				
SISTEMA DE FRENOS				
SISTEMA DE PROPULSIÓN				
SISTEMA DE CARGA				
<b>c) ESTADO DE LA BATERIA</b>				
Porcentaje inicial de carga (%)				
Medición del voltaje (V)				
<b>d) PESO DE OCUPANTES (Kg)</b>				

NOTA:

D RH DELANTERO LADO DERECHO  
D LH DELANTERO LADO IZQUIERDA  
T RH TRASERO LADO DERECHO  
T LH TRASERO LADO IZQUIERDA

(Fuente: Propia, 2016)

Formato F2. Prueba de autonomía

N°	Voltaje (V)	Intensidad de corriente (A)	Amperios hora consumidos(Ah)	% de carga
1				
2				
3				
4				
5				

(Fuente: Propia, 2016)



Formato F3. Prueba de tiempo de carga

N°	% Carga	Tiempo (h)	Voltaje (V)
1			
2			
3			
4			
5			

(Fuente: Propia, 2016)

Formato F4. Prueba de aceleración en plano

N°	% Carga	Tiempo (t) en segundos para llegar de		
		0 - 32 (Km/h)	0 - 64 (Km/h)	0 - 85 (Km/h)
1				
2				
3				
4				

(Fuente: Propia, 2016)

Formato F5. Prueba de capacidad de arranque en pendiente (Startability)

% Carga	PESO		
	INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE		
	CONSUMO DE CARGA (%)	INICIO	FINAL
	VELOCIDAD DE ASCENSO (Km/h)		
	TIEMPO (minutos)		
	LONGITUD RECORRIDA (m)		

(Fuente: Propia, 2016)

Formato F6. Prueba de capacidad de ascenso en pendiente (Gradeability)

% Carga	PESO		
	INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE		
	CONSUMO DE CARGA	INICIO	FINAL
	VELOCIDAD DE ASCENSO (Km/h)		
	Tiempo (minutos) 500m		
	TIEMPO (minutos)		
LONGITUD RECORRIDA (m)			

(Fuente: Propia, 2016)

Formato F7. Prueba de recuperación en plano

N°	% Carga		Tiempo (t) en segundos para llegar de 64 a 85 (Km/h)
	Inicio	Fin	
1			
2			
3			
4			
5			

(Fuente: Propia, 2016)

Formato F8. Prueba de pendiente a varios porcentajes de carga

% CARGA	PESO		
	INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE		
	CONSUMO DE CARGA	INICIO	FINAL
	VELOCIDAD DE ASCENSO (Km/h)		
	TIEMPO (minutos)		
	LONGITUD RECORRIDA (m)		

(Fuente: Propia, 2016)

**ANEXO B**

**FACTURA PROFORMA DE COMPRA DEL MONITOR DE  
BATERÍAS BMV 702**

En la Figura A1 se muestra la factura de compra del Monitor BMV – 702, utilizado para la recopilación de datos en la prueba de autonomía.

www.renova-energia.com

**FACTURA PROFORMA**

Fecha: lunes, 03 de agosto de 2015

Proforma: **RNV - OFER - 6345 - 03/08/15**

**RENOVAENERGIA S.A.**  
RUC: 1792187567061

CLIENTE: Demelio Arango  
RUC:  
DIRECCIÓN: Guayaquil Ecuador

Paseo Sánchez Molo OE1-37 y Av. Geto Plaza Leaso  
Quito - Ecuador  
Teléfonos: (593 2) 3403643, (593 2) 2417863 Ext. 101 y 102  
Celulares: (593 9) 87000710, (593 9) 87693688  
e-mail: info@renova-energia.com  
www.renova-energia.com

TELÉFONO:  
CELULAR: gprinceps26@hotmail.com  
E-MAIL:  
WEB:  
CLIENTE:

**OFERTA ECONÓMICA**

Equipos	Código y Modelo	Q	Precio Unitario	Precio Unitario incluido IVA	SUBTOTAL	TOTAL (IVA)
Monitores	MC008 Victron Energy Battery Monitor BMV-700R BAMB10700100, 0, 0	1	1.335,60 \$	1.495,87 \$	1.335,60 \$	1.495,87 \$
	MC008 Victron Energy Color Control GX Retail BFP000200100R, 0, 0	1	900,24 \$	1.008,27 \$	900,24 \$	1.008,27 \$

<b>DOS MIL QUINIENTOS CUATRO CON 4/100</b>	Subtotal:	2.235,84 \$
DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMÉRICA	IVA:	2.504,14 \$
INCLUYE IMPUESTO AL VALOR AGREGADO IVA	Desc. 19% Subtotal IVA 12%:	223,58 \$
	12%:	2.012,26 \$
	Subtotal IVA 0%:	0,00 \$
	IVA 12%:	341,47 \$
	<b>Total:</b>	<b>2.253,73 \$</b>

**CONDICIONES DE OFERTA**  
Esta oferta tiene condición de precio de distribución en: **QUITO**

**DISPONIBILIDAD**  
La disponibilidad para la entrega de los equipos ofertados es de: 15 días calendario contados a partir de la aceptación de la oferta y sus

**Importante:**  
La vigencia de la oferta está sujeta a la disponibilidad de los equipos en stock; previo a la compra el cliente deberá consultar la existencia

**VALIDEZ**  
La validez de la presente oferta es de 15 días calendario contados a partir de la fecha de emisión de la proforma.

**Importante:**

SOLUCIONES ENERGÉTICAS RENOVABLES

Figura B1. Factura de compra del monitor BMV - 702  
Fuente: (Propia, 2016)

## **ANEXO C**

### **TABLA DE MANTENIMIENTO COMPARATIVO ENTRE EL AUTO ELÉCTRICO Y MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**

INTERVALOS(1000Km)	Cada 5000 Km		10/30/70/90		50000 Km		20/60		40/80		100000 Km	
	AE	VMCIE	VMCIE	VMCIE	AE	VMCIE	VMCIE	VMCIE	AE	VMCIE	VMCIE	VMCIE
R		x	x	x		x		x		x		x
E		x	x	x		x		x		x		x
E								x		x		x
M			x	x		x		x		x		x
P								x		x		x
L												
A										x		
Z										x		
S												x
												x
												x
INTERVALOS(1000Km)	Cada 5000 Km		10/30/70/90		50000 Km		20/60		40/80		100000 Km	
CONTENIDO DE MANTENIMIENTO	AE	VMCIE	VMCIE	VMCIE	AE	VMCIE	VMCIE	VMCIE	AE	VMCIE	VMCIE	VMCIE
Frenos[Neumaticos, discos, tambor]	x	x	x	x		x		x		x		x
Luces y señales	x	x	x	x		x		x		x		x
Agua limpia vidrios	x	x	x	x		x		x		x		x
Cerraduras y eleva vidrios	x	x	x	x		x		x		x		x
Sistema de escape								x		x		x
Ejes delanteros y traseros	x	x	x	x		x		x		x		x
Correas, mangueras y tuberías	x	x	x	x		x		x		x		x
Soprote de carrocería	x	x	x	x		x		x		x		x
Carga de batería 12v	x	x	x	x		x		x		x		x
Presión de aire neumáticos	x	x	x	x		x		x		x		x
Carga banco de baterías	x											x
Cargador del banco de baterías	x											x
Alineacion Balanceo												x

Figura C1. Tabla de mantenimiento comparativa  
Fuente: (Propia, 2016)

## **ANEXO D**

### **PRESENTACIÓN DEL PROYECTO A LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN**



Figura D1. Presentación del proyecto a la prensa  
Fuente: (Propia, 2016)



Figura D2. Presentación del proyecto a la prensa  
Fuente: (Propia, 2016)



## **ANEXO E**

### **PROCESO DE RECARGA DEL AUTO ELÉCTRICO DE PRUEBAS**



Figura E1. Auto eléctrico en recarga  
Fuente: (Propia, 2016)



Figura E2. Auto eléctrico en recarga con el único conector disponible  
Fuente: (Propia, 2016)

## **ANEXO F**

### **VERIFICACIÓN PREVIA DE LOS SISTEMAS DEL VEHÍCULO ANTES DEL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS**

Formato 2.1. Verificación previa de los sistemas de Ampliar (Ctrl+0)

*Prueba 1 Autonomía.*

**a) CONDICIONES AMBIENTALES**

Temperatura ambiente °C	17
-------------------------	----

**b) REVISIÓN FÍSICA DEL VEHÍCULO**

Presión neumáticos (Psi)	D RH	D LH	T RH	T LH
	30	29	30	30
Sistemas del vehículo	OK	NO	OBSERVACIÓN	
LUCES BAJAS DELANTERAS	✓			
LUCES MEDIAS DELANTERAS	✓			
LUCES ALTAS	✓			
DIRECCIONALES DELANTEROS	✓			
DIRECCIONALES TRASEROS	✓			
LUCES STOP	✓			
LUCES DE RETRO	✓			
PLUMAS	✓			
BLOQUEO DEL MOTOR ELÉCTRICO	✓			
BATERÍA AUXILIAR 12V		✓	<i>Se sobrecarga</i>	
SISTEMA DE FRENOS		✓	<i>Se endurece.</i>	
SISTEMA DE PROPULSIÓN	✓			
SISTEMA DE CARGA		✓	<i>Se dispara al recargar</i>	

**c) ESTADO DE LA BATERIA**

Porcentaje inicial de carga (%)	99,68	48,38
Medición del voltaje (V)	69,81	74,41

**d) PESO DE OCUPANTES (Kg)**

	375
--	-----

NOTA:

D RH DELANTERO LADO DERECHO  
D LH DELANTERO LADO IZQUIERDA  
T RH TRASERO LADO DERECHO  
T LH TRASERO LADO IZQUIERDA

Figura F1. Verificación de los sistemas del auto eléctrico en la primera prueba de autonomía  
Fuente: (Propia, 2016)

Formato 2.1. Verificación previa de los sistemas del vehículo

*Prueba 2  
Autonomía*

**a) CONDICIONES AMBIENTALES**

Temperatura ambiente °C	20
-------------------------	----

**b) REVISIÓN FÍSICA DEL VEHÍCULO**

Presión neumáticos (Psi)	D RH	D LH	T RH	T LH
	30	30	30	29
Sistemas del vehículo	OK	NO	OBSERVACIÓN	
LUCES BAJAS DELANTERAS	✓			
LUCES MEDIAS DELANTERAS	✓			
LUCES ALTAS	✓			
DIRECCIONALES DELANTEROS	✓			
DIRECCIONALES TRASEROS	✓			
LUCES STOP	✓			
LUCES DE RETRO	✓			
PLUMAS	✓			
BLOQUEO DEL MOTOR ELÉCTRICO	✓			
BATERÍA AUXILIAR 12V	✓			
SISTEMA DE FRENOS		x	<i>Se limpia</i>	
SISTEMA DE PROPULSIÓN	✓			
SISTEMA DE CARGA		✓	<i>Se recalienta</i>	

**c) ESTADO DE LA BATERIA**

Porcentaje inicial de carga (%)	97,94	40,88
Medición del voltaje (V)	78,66	74,29

**d) PESO DE OCUPANTES (Kg)**

	375
--	-----

NOTA:

D RH DELANTERO LADO DERECHO  
D LH DELANTERO LADO IZQUIERDA  
T RH TRASERO LADO DERECHO  
T LH TRASERO LADO IZQUIERDA

Figura F2. Verificación de los sistemas del auto eléctrico en la segunda prueba de autonomía  
Fuente: (Propia, 2016)

Formato 2.1. Verificación previa de los sistemas del vehículo

*Prueba 3  
Autonomía*

a) **CONDICIONES AMBIENTALES**

Temperatura ambiente °C	18
-------------------------	----

b) **REVISIÓN FÍSICA DEL VEHÍCULO**

Presión neumáticos (Psi)	D RH	D LH	T RH	T LH
	30	30	30	30
Sistemas del vehículo	OK	NO	OBSERVACIÓN	
LUCES BAJAS DELANTERAS	✓			
LUCES MEDIAS DELANTERAS	✓			
LUCES ALTAS	✓			
DIRECCIONALES DELANTEROS	✓			
DIRECCIONALES TRASEROS	✓			
LUCES STOP	✓			
LUCES DE RETRO	✓			
PLUMAS	✓			
BLOQUEO DEL MOTOR ELÉCTRICO	✓			
BATERÍA AUXILIAR 12V	✓			
SISTEMA DE FRENOS		✓	<i>Se endurece</i>	
SISTEMA DE PROPULSIÓN	✓			
SISTEMA DE CARGA		✓	<i>Se recalienta al cargarla</i>	

c) **ESTADO DE LA BATERIA**

Porcentaje inicial de carga (%)	75,83	29A2
Medición del voltaje (V)	69,68	73,93

d) **PESO DE OCUPANTES (Kg)**

	375
--	-----

NOTA:

D RH DELANTERO LADO DERECHO  
D LH DELANTERO LADO IZQUIERDA  
T RH TRASERO LADO DERECHO  
T LH TRASERO LADO IZQUIERDA

Figura F3. Verificación de los sistemas del auto eléctrico en la tercera prueba de autonomía  
Fuente: (Propia, 2016)