

Universidad Internacional del Ecuador



Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz

Trabajo de Integración Curricular

**Artículo Investigación para la obtención del Título de Ingeniera en Mecánica
Automotriz**

**ANÁLISIS DE LA AUTONOMÍA DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO, BAJO
CICLOS DE CONDUCCIÓN EFECTIVA EN CIUDAD, CARRETERA Y
COMBINADO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.**

Emilio Alejandro Albuja Bohórquez

Michael Andrés Puenguenán de la Cruz

Director: Ing. Denny Guanuche, Msc

Codirector: Ing. Gorky Reyes, Msc

Quito, junio de 2022

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado para la sociedad con interés en adquirir o conocer sobre vehículos eléctricos, así como también, para los estudiantes de Ingeniería Automotriz, cuyo uso puede ser útil como base en la investigación sobre autonomía vehicular y, por último, a la Empresa Automotores y Anexos S.A, que nos brindó su apoyo para establecer datos y conclusiones del estudio.

Emilio Albuja

DEDICATORIA

Esta investigación se la dedico a toda mi familia, amigos los cuales siempre me brindaron su apoyo inconstante durante todo el proceso enseñándome que uno debe ser perseverante para conseguir un triunfo. A mis padres por ser el pilar de mi familia y por estar a mi lado con sus palabras de aliento motivándome a terminar con lo que empecé para llegar a la cúspide que me tracé al empezar a estudiar mi ingeniería y la que hoy en día estoy terminando llena de mucha satisfacción. Además, me la dedico a mí mismo por ser constante en las metas que siempre me he propuesto por toda la entrega y dedicación que puse al realizar la presente investigación hoy me siento contento por todo lo alcanzado.

Michael Puenguenán

AGRADECIMIENTO

Extiendo un agradecimiento a mi familia y a mi novia, quienes siempre creyeron en mí y me brindaron su apoyo en cada paso que he dado para alcanzar este objetivo. Adicionalmente, agradezco a los ingenieros de la facultad, quienes nos guiaron para culminar con esta investigación para obtener el título de Ingenieros Automotrices.

Emilio Albuja

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Internacional del Ecuador y a mis Maestros quienes me han compartido los conocimientos.

Michael Puenguenán

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUCCIÓN	13
2. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. ANTECEDENTES.....	13
2.2. HIBRIDIFICACIÓN.....	14
2.3. AUTONOMÍA.....	14
2.4. VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA AUTONOMÍA.....	14
2.5. BATERÍA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO	14
2.6. TIPOS DE CARGA	15
2.7. CICLOS HOMOLOGADOS DE CONDUCCIÓN Y NORMATIVAS.....	15
3. METODOLOGÍA Y MATERIALES.....	15
3.1. VEHÍCULO	16
3.2. PROTOCOLO DE PRUEBAS	17
3.2.1. Ciclo FTP-75 o EPA	17
3.2.2. Ciclo WLTP.....	17
3.2.3. Rutas establecidas	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1. RESULTADOS.....	17
4.1.1. Prueba ciclo de conducción FTP-75 modo Eco en ciudad y carretera.....	17
4.1.2. Prueba ciclo de conducción WLTP sin modo Eco en ciudad y carretera	18
4.2. DISCUSIÓN	19
5. CONCLUSIONES	22
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23
ANEXOS	26
ANEXOS DE IMAGEN	26

ANEXOS DE TEXTO31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables controlables y no controlables.	14
Tabla 2. Variables independientes.	14
Tabla 3. Parámetros para la ecuación de autonomía teórica (AT).	14
Tabla 4. Diferentes tipos de carga para el vehículo eléctrico.	15
Tabla 5. Ciclos de conducción.	16
Tabla 6. Ficha técnica del vehículo Nissan Leaf.....	17
Tabla 7. Rutas establecidas para las pruebas.	18
Tabla 8. Resultados prueba ciclo de conducción FTP-75 ciudad modo Eco.	19
Tabla 9. Resultados prueba ciclo de conducción FTP-75 carretera modo Eco.....	19
Tabla 10. Resultados prueba de conducción WLTP ciudad y carretera sin modo Eco.	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de las baterías.	15
Figura 2. Nissan Leaf.	16
Figura 3. Ciclo de conducción FTP-75 ciudad modo Eco.	21
Figura 4. Ciclo de conducción WLTP (ciudad y carretera) sin modo Eco.	21
Figura 5. Ciclo de conducción WLTP (ciudad y carretera) sin modo Eco.	22

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Autonomía teórica.	14
--	----

ANÁLISIS DE LA AUTONOMÍA DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO, BAJO CICLOS DE CONDUCCIÓN EFECTIVA EN CIUDAD, CARRETERA Y COMBINADO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.

Emilio Alejandro Albuja Bohórquez; Michael Andrés Puenguenán de la Cruz

emalbujabo@uide.edu.ec; mapuenguenán@uide.edu.ec

RESUMEN

El vehículo eléctrico (VE), fue parte del análisis de conducción efectiva en la ciudad de Quito, con el objetivo de determinar la autonomía real bajo normas homologadas. Este proyecto pretende incentivar a la sociedad a utilización de eléctricos, de tal manera que el gobierno genere mayor facilidad de adquisición. Para esto, se realizaron tres pruebas de conducción por las rutas más transitadas en ciudad, carretera y combinado, con los ciclos FTP-75 (con modo Eco) de 17 km de trayecto con velocidad promedio de 35 km/h y una máxima de 70 km/h. Por otro lado, para el ciclo WLTP (sin modo Eco) completando 23 km de recorrido aplicando una velocidad media de 40 km/h y máxima de 90 km/h, con protocolos estándar a seguir. Los resultados demostraron que el VE representa un gran ahorro al mantener una conducción adecuada, teniendo en cuenta las variables que afectan su autonomía como son: utilizar el aire acondicionado, la temperatura ambiente, el estado del vehículo y las gradientes viales, obteniendo así, un consumo diario de un 10-15% de batería y de 17-20% de autonomía aproximadamente. A partir del presente estudio, se concluye que el VE se adapta completamente a una ciudad con mucho tráfico vehicular y con una geografía montañosa, adicionalmente, gracias al modo Eco y a la auto regeneración de la batería por el sistema de frenado, no se presenta una variabilidad significativa de la autonomía.

PALABRAS CLAVES: Autonomía, vehículo eléctrico, conducción efectiva, batería, consumo diario.

ABSTRACT

The electric vehicle was part of the analysis of effective driving in the city of Quito, with the aim of determining the real autonomy under approved standards. This project pretends to encourage society to use electricity, in such a way that the government generates greater ease of acquisition. For this, three driving tests were carried out on the busiest routes in the city, highway and combined, with the FTP-75 cycles (with Eco mode) of 17 km of travel with an average speed of 35 km/h and a maximum of 70 km/h. On the other hand, for the WLTP cycle (without Eco mode) completing 23 km of travel applying an average speed of 40 km/h and a maximum of 90 km/h, with standard protocols to follow. The results showed that the electric vehicle represents great savings by maintaining adequate driving, taking into account the variables that affect its autonomy such as: use of air conditioning, ambient temperature, the state of the vehicle and road gradients, thus obtaining, a daily consumption of 10-15% battery and approximately 17-20% autonomy. From the present study, it is concluded that the electric vehicle is completely adapted to a city with a lot of vehicular traffic and with a mountainous geography, additionally, thanks to the Eco mode and the self-regeneration of the battery by the braking system, there is no a significant variability of autonomy.

KEY WORDS: Autonomy, electric vehicle, effective driving, battery, daily consumption.

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se encuentra enfocado en el análisis de la autonomía de un vehículo eléctrico (VE), misma que se halla basada en efectuar un ciclo de conducción en la ciudad de Quito, entre una ruta urbana y una extraurbana. Esta autonomía es generada por las baterías, por lo cual son uno de los principales factores que limitan el desarrollo de este tipo de vehículos. En este sentido, estudios y publicaciones del tema a tratar, muestran que en un plazo de 15 a 20 años los vehículos de gama media tendrán una autonomía de unos 300 a 400 km aproximadamente [1]. Por otro lado, una de las desventajas que deberá afrontar esta nueva tecnología será el abastecimiento de litio, mismo que se utiliza como materia prima para la fabricación de baterías, elemento químico que solo existe en pocos países como Chile, Bolivia y Afganistán, lo cual afecta al crecimiento de este modelo de energía [2].

Con la ayuda del ciclo de conducción homologado FTP-75 o EPA (Environmental Protection Agency), que tiene protocolos a seguir como la velocidad, paradas, distancia que el conductor del vehículo las debe aplicar [3], y el ciclo de conducción WLTP (The Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycles) que fue probado en investigaciones con vehículos híbridos y eléctricos [4], con diferentes rutas de manejo de largo alcance para pruebas de campo en horas pico y horas de tráfico ligero en la ciudad de Quito, y tomando en cuenta los factores medioambientales y mecánicos del VE, se ejecutará como resultado, una correlación entre las diferentes variables, en función del tiempo, velocidad y distancia recorrida para una autonomía real del vehículo.

De acuerdo a una investigación realizada en la universidad de Trieste, Italia, sobre si el poco conocimiento del VE influye al momento de su elección, se informa que uno de los obstáculos, sin duda, para la

aceptación de este tipo de autos, es el campo de prácticas y la poca infraestructura de los servicios de carga, pero, la influencia negativa por dichos factores se reduciría con el tiempo a medida que se mejore el conocimiento e información, incluida la experiencia directa de conducción de los VE [5].

Esta tecnología aún afronta varios problemas en el Ecuador, como la falta de electrolineras a nivel nacional, ya que el voltaje con el que se cuenta en la mayoría de hogares ecuatorianos es de 110 voltios (V), lo que permite que la batería se cargue de 0 al 100% en 16 horas, mientras que con una adaptación o una mejor fuente que cuente con 220 V, el tiempo se reduce a 8 horas y, en una electrolinera es de 45 minutos por 480 V [6].

El análisis que se realizará en el presente artículo a partir de las rutas establecidas para las pruebas de campo en la ciudad de Quito y los ciclos de conducción investigados, buscan comprobar que se establezca una autonomía real del VE bajo una conducción efectiva.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

El primer auto eléctrico se originó en el año de 1835, diseñado y fabricado por Sibrindus Stratingh y Cristopher Becker, en la ciudad de Groningen, Holanda [7].

Aproximadamente 50 años después, las baterías para VE se desarrollaron lo suficiente para ser implementadas en vehículos comerciales. Por tal motivo, a finales del siglo XIX, con una producción amplia de baterías recargables, los autos eléctricos incrementaron sus ventas y fabricación [8].

El CARB (California Air Resources Board), una agencia que forma parte del gobierno de los Estados Unidos para el cuidado del medio ambiente, aprobó en 1990 una ley llamada ZEV (vehículos de emisión cero), la cual forzaba a las diferentes marcas de automóviles a fabricar vehículos de cero

emisiones para ofrecer a futuros clientes en sus catálogos [9].

De tal forma que el vehículo completamente eléctrico fue el modelo EVI con una autonomía de 130 km, con esto las demás marcas como Toyota, Ford, Nissan, entre otras., empezaron con su investigación y fabricación de este tipo de autos [10].

2.2. HIBRIDIFICACIÓN

Los vehículos híbridos fueron diseñados y fabricados para solucionar dos problemas importantes para el mundo, mediante el uso de recursos tecnológicos que tratan de disminuir la contaminación ambiental y el alto consumo de combustible.

De este modo, para su funcionamiento, este tipo de automóviles utiliza un motor de combustión interna y uno eléctrico. Este sistema es autónomo, dependiendo de la circunstancia o de los diferentes factores como son la velocidad, carga de la batería, aceleración, peso de carga, entre otros., se activará cualquiera de los dos motores mencionados anteriormente [11].

2.3. AUTONOMÍA

En el campo automotriz, se denomina así a la distancia máxima que puede recorrer un vehículo sin repostar combustible o sin recargar las baterías si se trata de un automóvil eléctrico. Es así que, el elemento principal para la autonomía de un auto son la batería, el tiempo de carga y una baja densidad energética. Sin embargo, con el tiempo y uso, la capacidad de las baterías va reduciendo, ya que soporta, con frecuencia, el trabajo de las cargas y descargas rápidas, factores que influyen para alcanzar una autonomía adecuada [3].

2.4. VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA AUTONOMÍA

Las variables que influyen en la autonomía y que ayudan a la determinación de la misma son: controlables y no controlables. Para poder valorarlas, se relacionan entre sí y, de esta manera, es posible medir el grado de

relación entre variables, siempre y cuando sean cuantitativas.

Tabla 1. Variables controlables y no controlables.

Controlables	No controlables
Tiempo de recorrido	Emisividad
RPM ¹	Temperatura ambiente
Velocidad del VE ²	Humedad relativa

Fuente. [12]

¹Revoluciones por minuto

²Vehículo eléctrico

Por otro lado, las variables independientes son las más influyentes para la determinación de la autonomía, mismas que se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. Variables independientes.

Variable	Medida
Corriente de descarga	Ah ¹
Energía de descarga	kWh ²
Tiempo de operación	sec ³
Temperatura de motor	°C ⁴
Odómetro	km ⁵

Fuente. [3]

¹Ah: Amperio hora.

²kWh: Kilovatio hora.

³sec: Segundos.

⁴°C: Grados centígrados.

⁵km: Kilómetros.

A la autonomía se la considera una variable dependiente, en la cual es posible desarrollar una ecuación teórica según las variables expuestas anteriormente.

$$AT = \frac{SOC \% * (Autonomia Vacio)}{100} \quad \text{Ec. [1]}$$

Tabla 3. Parámetros para la ecuación de autonomía teórica (AT).

SOC (%)	Porcentaje de carga de batería
Autonomía en vacío	165 km carga máxima del parque de las baterías (100% de carga)

Fuente. [3]

2.5. BATERÍA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Las baterías marcan una gran importancia y diferencia al momento de adquirir un vehículo eléctrico, ya que de estas dependerá en gran medida su autonomía, precio en el

mercado, velocidad, duración y tiempo de recarga. Actualmente, la mayoría de estas baterías están fabricadas a base de litio, no obstante, existen otras diferentes a base de plomo y níquel, donde la energía que almacenan procede de una red eléctrica de un motor térmico o de los frenos regenerativos energéticos. Las prestaciones de este tipo de baterías dependen de la cantidad de celdas que estas contengan o de los elementos utilizados para su elaboración, por lo cual existen dos formas de diseñarlas: 1) empleando una gran cantidad de celdas de pequeño tamaño y poca capacidad o 2) con pocas celdas de gran tamaño y mucha capacidad; las cuales serán colocadas en serie o paralelo para un determinado voltaje y capacidad de almacenamiento [13], como se muestra en la figura 1.

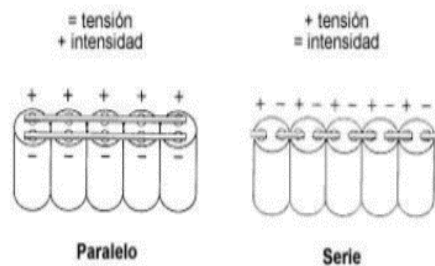


Figura 1. Distribución de las baterías.
Fuente. (Díez, 2019).

2.6. TIPOS DE CARGA

Los tipos de carga se detallan en la tabla 4. Los factores que intervienen en el tiempo de carga de los VE son:

- Capacidad de la batería.

Tabla 4. Diferentes tipos de carga para el vehículo eléctrico.

Carga	Lugar	Tiempo	Potencia y tipo de corriente
Lenta	Hogar	6 a 8 h	3.5 a 22 KW (monofásica)
Semi rápida	Parqueadero publico/privado	3 a 4 h	3.5 a 11 KW (trifásica)
Rápida	Electrolinera	30 min a 1h	43 a 150 KW (continua)

Fuente. [14]

3. METODOLOGÍA Y MATERIALES

El presente proyecto se llevó a cabo en la ciudad de Quito, Ecuador. Para llevar a cabo este trabajo se realizó una investigación analítica que utilizó los métodos de

- Tipo de cargador que utilice el vehículo.
- Tipo de corriente (monofásica o trifásica) [14].

2.7. CICLOS HOMOLOGADOS DE CONDUCCIÓN Y NORMATIVAS

Los ciclos de conducción son una variedad de datos de velocidad en relación el tiempo de recorrido. Algunos autores los utilizan para representar patrones de manejo real en una región o ciudad determinada. Para que estos ciclos de conducción sean homologados, se intenta emular mediante pruebas de manejo al volante de los usuarios en laboratorios, tanto en rutas urbanas e interurbanas, a través de diferentes velocidades. La razón por la cual los ciclos de conducción son utilizados por los fabricantes de vehículos a nivel mundial, es para evaluar el consumo de combustible y la cantidad de emisiones que se generan, de tal forma que cumplan con las leyes de contaminación de cada país [15].

Actualmente existen varios ciclos de conducción para vehículos a gasolina, diésel, híbridos y eléctricos. Estos varían dependiendo la región donde se apliquen, cabe destacar que Estados Unidos (EE.UU.), la Unión Europea (UE) y Japón son los grandes fabricantes de autos mundialmente y en cada uno de estos lugares se han desarrollado ciclos de conducción para la venta de sus vehículos, tal como se muestra en la tabla 5.

inducción y deducción, dado que se ha determinado que a medida que se ejecute una mayor cantidad de pruebas, las bases de datos obtenidas tendrán una mayor tasa de confiabilidad tras finalizar el proceso experimental, determinando los resultados

de forma cuantitativa. Al inicio del proyecto se realizó una investigación para obtener información acerca de los suministros de energía de los cuales se abastece el vehículo

y, de esta manera, evidenciar su funcionamiento a un nivel de operación máximo.

Tabla 5. Ciclos de conducción.

Lugar	Nombre	Distancia (km)	Tiempo (s)	Velocidad media (km/h)	Velocidad máxima (km/h)
UE, ciclos utilizados para vehículos y autobuses ligeros y pesados	ECE 15	0.995	195	18.4	50.07
	Ciclo de conducción extra urbano (EUDC)	6.955	400	62.6	120.09
	EUDC para vehículos de baja potencia	6.609	400	59.5	90.09
	ECEV15 + EUDC	11.017	1,22	32.5	120.09
	Nuevo ciclo de conducción europea (NEDC)	11.017	1.180	33.6	120.09
EE. UU., ciclos utilizados para la aprobación de vehículos y autobuses ligeros y pesados	FTP-72 o UDDS	11.997	1.369	31.6	91.15
	FTP-75	17.787	1.874	34.2	91.15
	EPA Ciclo Nueva York (NYCC)	1.903	598	11.5	44.45
	EPA prueba de economía de combustible en carretera (HWFET)	16.503	765	77.7	96.32
	IM240	3.154	240	47.3	91.18
	California LA92				
	Horario de conducción por dinamómetro	15.802	1.435	39.6	107.35
	UDDS Ciclo de trabajo pesado	8.932	1.060	30.3	93.36
	US06 FTP Suplementario	12.894	596	77.9	128.91
	SC03 FTP Suplementario	5.766	596	34.8	88.07
Japón, ciclos utilizados solo para la homologación de vehículos ligeros	JP Modo 10	0.663	135	17.7	40.09
	JP Modo 10-15 (modo 3x10 + modo 1x15)	4.165	660	22.7	70.09
	Nuevo modo transitorio japonés (JE05)	13.897	1.829	27.4	87.49

Fuente. [14]

Siglas en el idioma de origen (inglés).

3.1. VEHÍCULO

Para las pruebas de campo se eligió un automóvil 100% eléctrico, como es el modelo Nissan Leaf (figura 2), ya que cuenta con sistemas de conducción muy avanzados y, a nivel mundial, es uno de los autos eléctricos más vendidos [16]. Sus características se detallan en la tabla 6.



Figura 2. Nissan Leaf.

Fuente. (Albuja & Puenguenan, 2022).

Tabla 6. Ficha técnica del vehículo Nissan Leaf.

Marca	Nissan
Modelo	Leaf
Potencia	147 hp
Autonomía	280 km
Tipo de batería	40 kwh ion litio laminada
Peso en vacío (min/máx)	1,544/1,595 (kg)

Fuente. [16]

3.2. PROTOCOLO DE PRUEBAS

La medición se realizó en dos ciclos: urbano y extraurbano.

3.2.1. Ciclo FTP-75 o EPA

El ciclo urbano se ejecutará en tres partes: 1) arranque en frío; 2) fase transitoria y; 3) arranque en caliente, cuyos máximos picos serán de 88 km/h y el promedio de velocidad será de 34 km/h. Para esta fase se debe tomar en cuenta la distancia de recorrido estipulada de 17 km/h y una duración de 32 minutos, iniciando con una carga completa de la batería.

La fase extraurbana iniciará con el motor caliente y, a los 13 minutos de conducción se ejecutarán aceleraciones y deceleraciones donde no se sobrepase una velocidad de 95 km/h, simulando lo más posible a una conducción por autopista y carretera interurbana.

Un factor a tomar en cuenta en esta fase será el no mantener encendidos sistemas innecesarios como luces, aire acondicionado o calefacción, radio, etc. Además, las pruebas de conducción se ejecutarán bajo condiciones climáticas ideales, sin lluvia de por medio [3].

3.2.2. Ciclo WLTP

Este ciclo de conducción será más prometedor y realista que el NEDC, utilizado antiguamente para autos eléctricos e híbridos en Europa.

La idea es simular una conducción en carretera, ciudad y autopista, con una duración aproximada de 30 min para cada

una y una distancia de 23 km. Estará conformada por cuatro fases: baja, media, alta y muy alta velocidad, todo esto, a temperatura constante. La velocidad máxima será 131 km/h, con una media de 46.5 km/h. Al inicio de la prueba, la batería del auto deberá estar cargada por completo y, una vez que finalice, se deberá conectar el cargador, equipado con un contador eléctrico que medirá la cantidad de corriente total y, a la par, detectará las pérdidas de energía al momento de su carga. Por último, el resultado de la medición será dividido para la distancia que se recorrió en la prueba y, de esta forma, se obtendrá su autonomía [17].

3.2.3. Rutas establecidas

Se tomó en cuenta diferentes rutas urbanas, extraurbanas y combinadas, dentro de la ciudad de Quito, en las cuales existe mayor flujo vehicular, en horas pico de la mañana, entre las 8:00 a 11:00 am, donde se evidencia una movilización automovilística aumentada, debido a que los ciudadanos se trasladan a su lugar de trabajo o estudio y, en horas de tráfico moderado, entre las 12:00 a 14:00 pm. Para las pruebas de campo se considerarán todas las variables detalladas en la tabla 1 y 2, para toma de datos y cálculo de la autonomía final. En la tabla 7 se especifican las rutas de prueba.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Prueba ciclo de conducción FTP-75 modo Eco en ciudad y carretera

En las figuras 3 y 4 se presenta la variación de la autonomía vs. el kilometraje y la carga de la batería del VE con el ciclo de conducción FTP-75. Para el análisis se tomaron en cuenta dos rutas de prueba, una en ciudad y otra en carretera, con modo Eco y tecnología E-pedal, que corresponde a un sistema de regeneración que capta energía al momento de frenar, dicha energía recarga la batería ofreciendo un rendimiento optimizado, ahorro energético incrementado

y menor desgaste. En este sentido, en ambas pruebas se completó un recorrido de 17 km de distancia, una autonomía inicial de 238 km, una carga inicial de 99% de batería y una temperatura ambiente de 16° centígrados, aprovechando las ventajas tecnológicas de conducción que brinda el vehículo Nissan Leaf. Para la prueba de conducción en ciudad, se tomó en cuenta una velocidad promedio de 35 km/h y una máxima de 70 km/h, como indica la tabla 8, donde se puede observar que la autonomía disminuyó al aumentar el kilometraje de recorrido, pero no en una gran cantidad, ya que la tecnología Eco ahorra la carga energética mientras se transitó en el tráfico pesado de la ciudad de Quito. Es importante señalar que en algunos puntos se puede observar que a medida que la carga de la batería baja, se perjudica el mantenimiento estable de la autonomía, lo cual se atribuye a que las rutas en el centro citadino poseen una gran cantidad de pendientes, por lo que se requiere un mayor torque y, por lo tanto, mayor fuerza del VE.

Para el análisis en el tramo de carretera, se condujo a una velocidad promedio de 50 km/h y una máxima de 80 km/h. Como muestra la base de datos de la tabla 9, la autonomía es directamente proporcional al desgaste de la batería, de este modo, como se observa en algunos puntos, la carga se mantuvo dentro de un mismo rango, esto se produce por una desaceleración del vehículo y, gracias a la tecnología del sistema de frenos, la batería se recarga y la autonomía se mantiene. En otros puntos se muestra una autonomía igual o superior al porcentaje de carga de la batería, ya sea por el descenso a través de la vía o por maniobras bruscas realizadas en el tráfico de Quito. De tal manera, se observa que, completando los 17 km de recorrido en ciudad y carretera dentro de la ciudad, se genera una descarga aproximada de 7% de la batería y su autonomía alcanza un 17% de disminución, además un consumo diario alrededor del 12% de batería y un 14% entre ida y vuelta tomando la misma ruta.

Tabla 7. Rutas establecidas para las pruebas.

Ciclo de conducción	Ruta de inicio	Ruta final	Avenidas y calles recorridas	Kilómetros
FTP-75 o EPA (urbano)	Av. de los Granados	Av. Teniente Hugo Ortiz	Av. 6 de diciembre, Av. 10 de Agosto, Av. Pedro Vicente Maldonado, Av. Alonso de Angulo, Av. Rodrigo de Chávez.	17 km
FTP-75 o EPA (extraurbano)	Av. de los Granados	Av. Simón Bolívar, Universidad Internacional del Ecuador	Av. Rodrigo de Chávez, Av. Jaime del Castillo, Av. Velasco Ibarra, Av. Simón Bolívar.	17 km
WLTP (combinado)	Av. Teniente Hugo Ortiz	Av. Simón Bolívar, Cementerio Camposanto Monteolivo	Av. 6 de diciembre	23 km

Fuente. (Albuja & Puenguenan, 2022).

4.1.2. Prueba ciclo de conducción WLTP sin modo Eco en ciudad y carretera

En la tabla 10 y figura 5, se muestra la variación de la autonomía del VE con el

ciclo de conducción WTPL sin modo Eco con aire acondicionado encendido, en una ruta de ciudad y carretera. Para esto, se inició con una autonomía de 228 km de distancia, más baja que las anteriores pruebas, una

carga inicial de 99% de batería y una temperatura ambiente de 16° centígrados, al igual que la prueba previa. Sin embargo, en este caso, cuando se desactivó el modo económico del vehículo, la conducción combinada continuó disminuyendo la autonomía y la carga, a lo largo de 13 km de recorrido, hasta pasar los tramos de la vía con pendientes, realizando aceleraciones y desaceleraciones en un tráfico normal y una velocidad máxima de 90 km/h y mínima de 40km/h y, una vez que se tomaron bajadas en carretera, donde se tuvo que presionar el pedal del freno, se pudo determinar que tanto la autonomía se recuperó un 11% gracias a su auto regeneración de batería por el sistema de frenado. De igual manera, se observó que, completando los 23 km de conducción, la batería presentaba una descarga de 10%, mientras que su autonomía llegaba a 19% de disminución, y diariamente se presenta consumo de 10 y 8%, respectivamente, tomando en cuenta la recuperación.

Tabla 8. Resultados prueba ciclo de conducción FTP-75 ciudad modo Eco.

Autonomía	Kilómetros	Carga batería (%)
238	0,0	99
238	1,5	99
236	2,6	99
234	3,4	98
232	4,5	98
232	5,6	97
231	6,7	97
230	7,8	96
229	8,4	96
228	9,6	96
227	10,7	95
226	11,6	95
225	12,4	94
225	13,5	94
224	14,6	94
224	15,3	93
223	16,4	93
223	17,0	93

Fuente. (Albuja & Puenguenan, 2022).

Tabla 9. Resultados prueba de conducción FTP-75 carretera modo Eco.

Autonomía	Kilómetros	Carga batería (%)
238	0,0	99
238	1,5	99
237	2,5	98
236	3,7	98
234	4,4	98
232	5,2	98
230	6,1	97
229	7,4	97
229	8,1	96
227	9,4	96
226	10,3	94
225	11,7	94
226	12,4	93
227	13,3	94
227	14,4	94
225	15,6	93
223	16,3	92
221	17,0	92

Fuente. (Albuja & Puenguenan, 2022).

4.2. DISCUSIÓN

El VE pretende disminuir la contaminación del medio ambiente con nuevas tecnologías de carga, una de sus principales funciones a considerar es su autonomía, la cual le permite recorrer una distancia máxima sin recargar su batería. En este contexto, existen diferentes variables que llegan a influir en su disminución, como son utilizar el aire acondicionado, la temperatura ambiente, gradientes viales, conducción sin modo Eco, entre otras. En cuanto al mercado automotriz, la venta de VE va en aumento, aunque las cifras aún son bajas en comparación con los autos que funcionan a base de gasolina. Según la evidencia, se destaca que para igualar los números comerciales faltan décadas, por motivos de precios de venta de vehículos, tiempo de recarga, disponibilidad de electrolineras (escasas en la mayoría de ciudades), falta de conocimiento sobre el desempeño en carretera y costos en carga de baterías, no

obstante, de acuerdo a encuestas realizadas, se determinó que el 81% de los usuarios que disponen de un VE lo califican como excelente y, solo el 36,4% menciona como una desventaja el comportamiento de la autonomía [18].

Tabla 10. Resultados prueba de conducción WLTP ciudad y carretera sin modo Eco.

Autonomía	Kilómetros	Carga batería (%)
228	0,0	99
227	1,5	99
226	2,6	99
224	3,4	98
224	4,5	98
223	5,6	98
223	6,7	98
219	7,8	97
216	8,4	96
214	9,6	95
213	10,7	95
212	11,6	94
211	12,4	93
209	13,5	92
213	14,6	93
216	15,3	94
219	16,4	95
223	17,5	95
225	18,4	95
229	19,3	94
226	20,4	92
224	21,5	91
221	22,3	90
220	23,0	89

Fuente. (Albuja & Puenguenan, 2022).

Por otro lado, para obtener una autonomía óptima se debe llevar a cabo una conducción efectiva del VE, por este motivo, los ciclos homologados de conducción probados en este proyecto detallan normas a seguir como velocidad, tiempo de recorrido, temperatura ambiente, estado del vehículo, etc. Además, una ayuda extra que brindan estos autos, con su tecnología de punta, son el sistema de modo Eco y los frenos regenerativos, que tienen como finalidad principal almacenar la

energía durante el frenado y, de esta manera, mantener o recargar las baterías y alargar el tiempo de la distancia recorrida [19]. En este sentido, los resultados obtenidos en el presente trabajo con la prueba de conducción Eco muestran que a los 10 km de recorrido se disminuye entre 5-6% de la carga de la batería y, de acuerdo a resultados obtenidos en las ciudades de Machala y Cuenca, se presenta una similitud en resultados de 4-6% de descarga de la batería del vehículo marca Kia Soul, mediante el mismo ciclo de conducción FTP-75 [20].

Adicionalmente, los resultados presentados muestran que el uso diario del VE, tanto en ciudad como en carretera, con tráfico, representa un gran ahorro de consumo al momento de compararlo con vehículos de tipo híbrido y a gasolina que representan un gasto de \$29,90 de tanque lleno, mientras que los autos eléctricos solo requieren \$3,60 de carga completa, con lo cual se consigue un ahorro aproximadamente del 90% , además, considerando que un vehículo recorre un promedio de 1500 km al mes con \$81,00 de combustible, para un auto eléctrico el requerimiento sería de \$19,81 y, tomando en cuenta la tecnología con la que cuenta, el mantenimiento se realiza con menor frecuencia, por lo cual, a largo plazo el VE economiza al usuario en gastos hasta en 50% menos [21].

En cuanto al ciclo de conducción WLTP, corresponde a un nuevo protocolo para medir la autonomía, en especial para vehículos eléctricos, ya que ofrece datos más creíbles y cercanos a una conducción real, por lo cual en este proyecto se realizó una conducción sin modo Eco para alcanzar velocidades más altas en carretera, dado que una de las normas a destacar en esta homologación es la velocidad máxima, que supera la permitida en ciertas ocasiones, además, la distancia de prueba es mayor completando así un trayecto combinado de ciudad y carretera, como muestran los resultados de este proyecto se logra alcanzar una autonomía más real [17]. No obstante,

las pruebas realizadas en la actualidad en vehículos eléctricos nuevos con este ciclo de conducción, muestran diferentes resultados, ya que la mayoría son de autos del mercado europeo, mismos que difieren en velocidad y en especial, en calidad y estados viales, factores influyentes en la autonomía [22]. Por otro lado, en la ciudad de Quito las vías se caracterizan por su falta de mantenimiento, la presencia de tramos irregulares y gran cantidad de pendientes, lo cual genera mayor consumo de energía. En

este sentido, en la base de datos del análisis de conducción del proyecto expuesto se distingue una similitud con otros resultados del Instituto Tecnológico de Costa Rica, cuyos vehículos eléctricos, objetos de estudio, presentan un consumo más elevado de autonomía en la ciudad, misma que comparte características con las mencionadas anteriormente, a diferencia del tramo por carretera donde la autonomía mantiene mayor estabilidad [22].

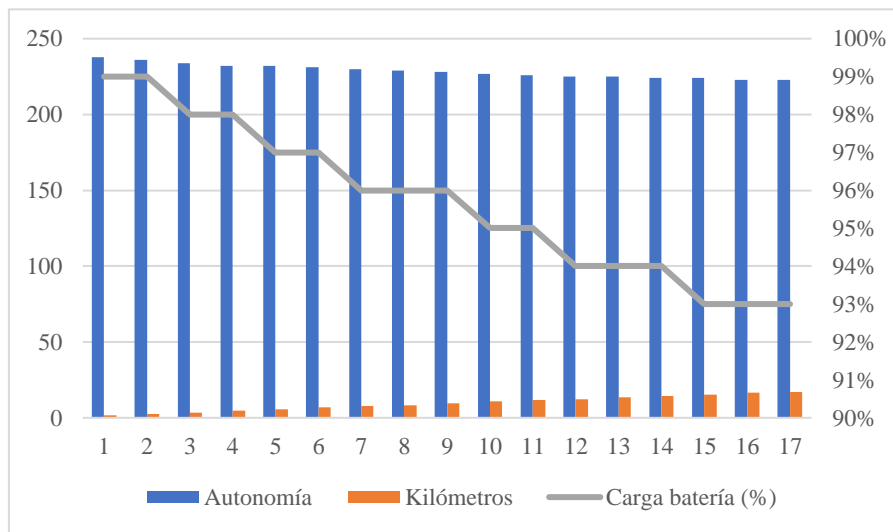


Figura 3. Ciclo de conducción FTP-75 ciudad modo Eco.
Fuente. (Albuja & Puenguenan, 2022).

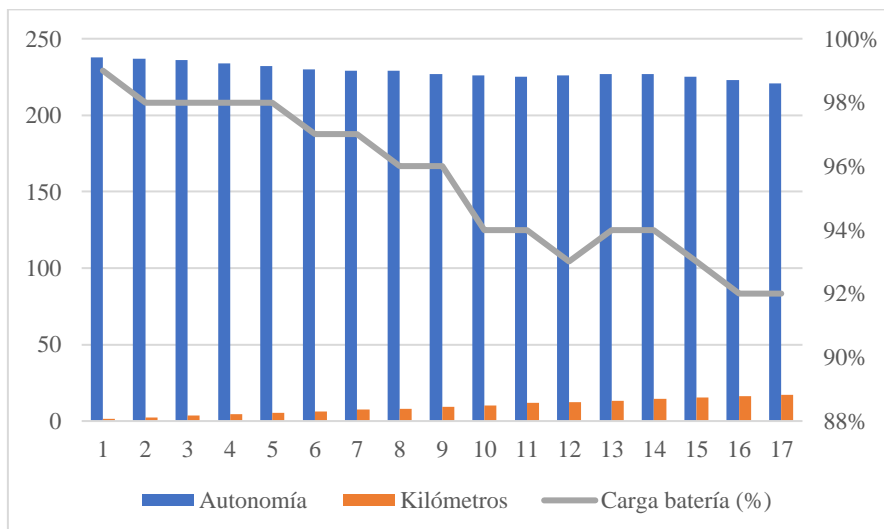


Figura 4. Ciclo de conducción FTP-75 carretera modo Eco.
Fuente. (Albuja & Puenguenan, 2022).

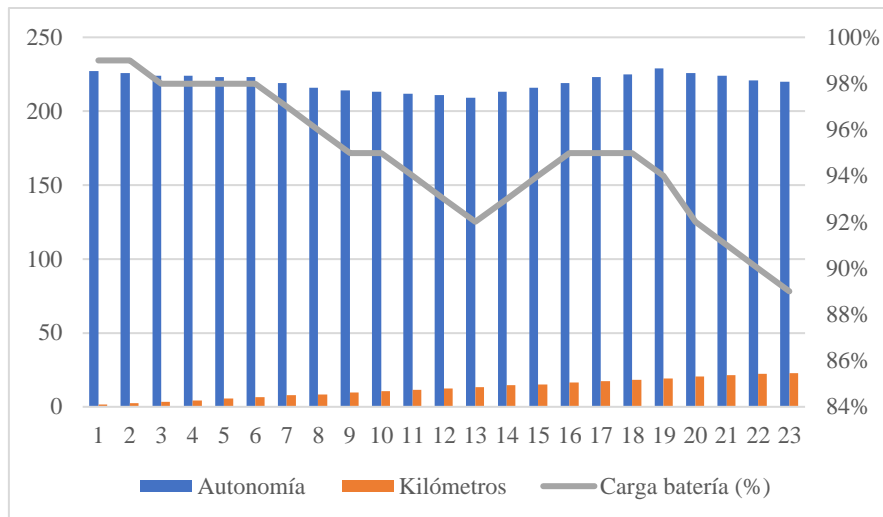


Figura 5. Ciclo de conducción WLTP (ciudad y carretera) sin modo Eco.
Fuente. (Albuja & Puenguenan, 2022).

5. CONCLUSIONES

Los ciclos de conducción FTP-75 y WTPL probados en diferentes países, tanto para vehículos a gasolina como para eléctricos, son totalmente adaptables a la geografía y tráfico de una ciudad como Quito, por lo cual, los parámetros como velocidad y distancia proporcionados por las normas de dichos ciclos, fueron similares a un recorrido que realiza una persona al movilizarse a su destino en la presente ciudad.

La autonomía está altamente influenciada por las diferentes variables que se implementaron al momento de la conducción como son el aire acondicionado, desactivación del modo Eco, toma de vías con pendientes pronunciadas y temperatura ambiente, lo cual, en conjunto, reduce el porcentaje de autonomía y, por lo tanto, la carga de las baterías.

Para la determinación de autonomía del VE en la ciudad de Quito con ciclo FTP-75 de ciudad y carretera con modo Eco, se tomó a consideración un rango específico de 17 km de recorrido para examinar su consumo, dando como resultado 15% en ciudad y un 17% en carretera, mientras que en ambos casos el desgaste de la batería llega a un 10%. Por otro lado, en el ciclo de conducción WTPL combinado (ciudad - carretera) sin modo Eco, se generó una disminución del

17% de autonomía, para posteriormente recobrar parte de ella. Al terminar la prueba de 23 km de recorrido, se generó una pérdida del 10% de autonomía, ya que el VE recuperó parte de la carga de la batería gracias a su sistema de freno regenerativo eléctrico.

Según los datos de las pruebas de conducción efectiva, se determina que el VE tiene un consumo diario de batería que ronda entre el 10-15%, mientras que la autonomía va del 17-20% diariamente tomando en cuenta ambos modos de conducción. Además, las rutas tomadas por ciudad generan mayor desgaste autonómico a diferencia de las rutas por carretera (Avenida Simón Bolívar), dado que en las calles de Quito se evidencian daños viales (p. ej. baches, mala calidad de pavimento, falta de una pavimentación adecuada, etc.) y la presencia de una gran cantidad de pendientes, lo cual afecta el estado de carga y, por ende, produce una reducción en la autonomía, sin embargo, gracias a la tecnología del VE no se presenta una variabilidad muy significativa.

AGRADECIMIENTO

Se realiza la extensión de un agradecimiento especial a la Empresa Automotores y Anexos S.A por la ayuda proporcionada a lo largo del presente proyecto de investigación,

con la provisión del vehículo eléctrico Nissan Leaf para la realización de las pruebas requeridas por el estudio, con la finalidad de obtener datos acerca de la autonomía de un auto eléctrico bajo una conducción efectiva con ciclos homologados.

CONFLICTOS DE INTERÉS

No se declaran conflictos de interés.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Bergera Serrano, “El vehículo eléctrico y la comercialización de energía eléctrica,” in *Guía del vehículo eléctrico II*, Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2015, pp. 69–79. Accessed: Apr. 23, 2022. [Online]. Available: www.madrid.org
- [2] I. Sanz, “Análisis de la evolución y el impacto de los vehículos eléctricos en la economía europea,” Universidad Pontificia Comillas, Madrid, 2015.
- [3] D. Duque and J. Rocano, “Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados,” Universidad Politécnica Salesiana Sede Matriz Cuenca, Cuenca, 2018.
- [4] Y. Wang *et al.*, “Fuel consumption and emission performance from light-duty conventional/hybrid-electric vehicles over different cycles and real driving tests,” *Fuel*, vol. 278, p. 118340, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.FUEL.2020.118340.
- [5] M. Giansoldati, L. Rotaris, M. Scorrano, and R. Danielis, “Does electric car knowledge influence car choice? Evidence from a hybrid choice model,” *Research in Transportation Economics*, vol. 80, 2020, doi: 10.1016/j.retrec.2020.100826.
- [6] J. Sánchez, “Prueba de manejo: Kia Soul EV, un eléctrico que promete seguir evolucionando,” *El Universo*, Quito, Dec. 22, 2020. Accessed: Apr. 23, 2022. [Online]. Available: <https://www.eluniverso.com/larevista/2020/12/22/nota/8603614/prueba-manejo-kia-soul-ev-electrico-que-promete-seguir/>
- [7] Miño. Fernando, “Análisis de motores utilizados en vehículos eléctricos,” Universidad Internacional SEK, Quito, 2016. Accessed: Apr. 23, 2022. [Online]. Available: [https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2164/1/Tesis%20\(Recuperado%203\).pdf](https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2164/1/Tesis%20(Recuperado%203).pdf)
- [8] J. Larminie and J. Lowry, *Electric Vehicle Technology Explained*, Second. London: John Wiley & Sons Ltd, 2012. Accessed: Apr. 23, 2022. [Online]. Available: www.wiley.com.
- [9] Sociedad de Técnicos de Automoción, *El vehículo eléctrico: Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio*, Primera. Barcelona: Libbooks Barcelona, 2011.
- [10] Pallisé. J, “Reinventando la movilidad: Sobre petróleo, energía, vehículos, transporte y medio ambiente. Los vehículos eléctricos y las infraestructuras de recargas,” in *Guía del vehículo eléctrico*,

Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2009, pp. 15–38. Accessed: Apr. 23, 2022. [Online]. Available: www.madrid.org

[11] J. Acosta, “Estudio del sistema híbrido, diseño, construcción e implementación de un modelo de conexión de fuerzas propulsoras de transmisión por medio de engranajes planetarios,” Universidad Internacional del Ecuador, Quito, 2013. Accessed: Apr. 23, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/149>

[12] G. García, “La autonomía y la recarga del coche eléctrico alcanzan la madurez tecnológica,” *Híbridos y Eléctricos*, 2020. Accessed: Apr. 23, 2022. [Online]. Available: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/autonomia-recarga-coche-electrico-alcanzan-madurez-tecnologica/20200424180542034705.html>

[13] P. Díez González, “Principios Básicos del Vehículo Eléctrico,” Universidad de Valladolid, Valladolid, 2019.

[14] S. Alvarado, “Estudio de factibilidad para la implementación de electrolinerías en el Distrito Metropolitano de Quito,” Universidad Internacional del Ecuador, Quito, 2017. Accessed: Apr. 23, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2271>

[15] D. Espimbera, “Estudio de los ciclos de conducción para determinar parámetros de manejo en condiciones reales de operación mediante la metodología MICRO-TRIP,” Universidad Tecnológica Equinoccial Sede Santo Domingo, Santo Domingo de los Tsáchilas, 2018.

[16] Nissan, “Nissan Leaf - Eléctrico,” *Nissan Ecuador*, 2021. <https://www.nissan.com.ec/vehiculos/nuevos-vehiculos/nissan-leaf.html> (accessed Apr. 23, 2022).

[17] P. Flores, “Estudio y testing de emisiones WTW con distintos sistemas de propulsión; funcionamiento y conducción de avanzados propulsores híbridos y gasolina,” Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, 2020. Accessed: Apr. 23, 2022. [Online]. Available: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/31992>

[18] J. L. Ariza and C. Ceballos, “Factores que inciden en el interés de los consumidores en la adquisición de vehículos híbridos y eléctricos en la ciudad de Bogotá,” Colegio de Estudios Superiores de Administración, Bogotá, 2021.

[19] A. Méndez, M. Cely, and W. Monar, “Vista de Diseño del Sistema de Freno Regenerativo de Automóviles Híbridos,” *Revista Politécnica*, vol. 37, no. 2, Mar. 2016, Accessed: Apr. 24, 2022. [Online]. Available: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/451/pdf

[20] W. Solano and C. Cabrera, “Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico Kia Soul en rutas preestablecidas en la ciudad de Machala a través de métodos experimentales,” Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, 2018. Accessed: Apr. 24, 2022. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16539>

[21] L. Orbea, J. Toapaxi, and C. Guano, “Análisis de incentivos y proyecciones del vehículo 100% eléctrico en el Ecuador,”

INNOVA Research Journal, vol. 2, no. 4, pp. 112–124, Mar. 2017, Accessed: Apr. 25, 2022. [Online]. Available: <https://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/243/268>

[22] J. F. Parapi and G. Pesantez, “Implementación de un sistema generador de carga eléctrica, utilizando paneles solares, para el incremento de la autonomía de un vehículo eléctrico Kia Soul,” Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, 2020.

ANEXOS

ANEXOS DE IMAGEN



Figura A. 1. Vehículo Nissan Leaf
Fuente: (Albuja & Puenguenan, 2022).



Figura A. 2. Motor Eléctrico de 147HP y 320Nm
Fuente: (Albuja & Puenguenan, 2022).



Figura A. 3. Vehículo 100% Eléctrico
Fuente: (Albuja & Puenguenan, 2022).



Figura A. 4. Autonomía de 238Km con 99% de carga.
Fuente: (Albuja & Puenguenan, 2022).



Figura A. 5. Consumo de energía
Fuente: (Albuja & Puenguenan, 2022).



Figura A. 6. Historial de Consumo en 23,3 Km de recorrido
Fuente: (Albuja & Puenguenan, 2022).



Figura A. 7. Completando Ruta Av. Granados hasta Av. Teniente Hugo Ortiz
Fuente: (Albuja & Puenguenan, 2022).



Figura A. 8. Consumo de energía con modo ECO a los 3,2 km de recorrido
Fuente: (Albuja & Puenguenan, 2022).



Figura A. 9. Tiempo de carga de la batería
Fuente: (Albuja & Puenguenan, 2022).



Figura A. 10. Activación sistemas Eco y E-pedal
Fuente: (Albuja & Puenguenan, 2022).



Figura A. 11. Sistema Eco y E-pedal activados
Fuente: (Albuja & Puenguenan, 2022).



Figura A. 13. Estación de carga
Fuente: (Albuja & Puenguenan, 2022)

NISSAN LEAF

ESPECIFICACIONES	TEJINA (40kWh)
MOTOR	
Tipo	Eléctrico o (110 kw)
Potencia neta (hp @ rpm)	147 hp @ 9,795 rpm
Torque (Nm @ rpm)	320 Nm @ 3,283 rpm
ELÉCTRICO	
Tipo de batería	40 kWh Batería Ion-litio laminada
TRACCIÓN	
Eje	2WD
SUSPENSIÓN	
Delantera	McPherson independiente con barra estabilizadora
Posterior	Barra de torsión con barra estabilizadora
FRENOS	
Delanteros y Posteriores	Discos ventilados
Brake Assist (BA)	+
Sistema Antibloqueo de Frenos (ABS)	+
Distribución Electrónica de Frenado (EBD)	+
DIRECCIÓN	
Tipo	Dirección Electro-Asistida
DIMENSIONES EXTERIORES (mm)	
Largo	4,480
Ancho	1,790
Alto	1,565
Distancia al suelo	155
Distancia entre ejes	2,700
PESO (kg)	
Peso en vacío (mín. / max.)	1,544 / 1,595
RUEDAS	
Arco	Aluminio
Neumáticos	215/50 R17*
CAPACIDAD	
Capacidad de pasajeros	5
Emissiones CO ²	0
Capacidad de carga (L)	435
Capacidad de carga con asientos plegados (L)	1,176

ESPECIFICACIONES	TEJINA (40kWh)
INTERIOR	
Sistema de audio con pantalla táctil de 8", Android Auto y Apple CarPlay + 6 parlantes	+
Volante forrado en eco-cuero con ajuste de altura y profundidad	+
Mandos al volante para el control crucero, manejo computador, sistema de audio y manos libres	+
Asientos tapizados en eco-cuero	+
Asientos delanteros y posteriores con calefacción y apoyabrazos	+
Segunda fila de asientos abatible 60/40	+

* Equipado

ESPECIFICACIONES	TEJINA (40kWh)
INTERIOR	
Sistema de audio con pantalla táctil de 8", Android Auto y Apple CarPlay + 6 parlantes	+
Volante forrado en eco-cuero con ajuste de altura y profundidad	+
Mandos al volante para el control crucero, manejo computador, sistema de audio y manos libres	+
Asientos tapizados en eco-cuero	+
Asientos delanteros y posteriores con calefacción y apoyabrazos	+
Segunda fila de asientos abatible 60/40	+
EXTERIOR	
Spoiler posterior	+
Manijas cromadas	+
Luces Inteligentes Adaptativas (altas y bajas) con ajuste automático de altura y encendido (Intelligent Auto headlights)	+
Faros de niebla delanteros	+
Luces delanteras y posteriores LED	+
Luces diurnas LED	+
Limpia parabrisas con velocidad intermitente y variable con sensor de lluvia	+
Espojos exteriores con ajuste eléctrico al color de la carrocería	+
Espojos exteriores calefactables y automáticamente abatibles	+
Puerto de carga con iluminación y apertura/ cierre con llave inteligente	+
CONFORT Y TECNOLOGÍA	
Aire acondicionado automático	+
Ducto de calefacción posterior	+
Encendido automático de faros delanteros	+
Espajo retrovisor electrocromático	+
Advanced Driver Assist Display 7" (computadora de viaje)	+
Botón de encendido	+
Llave Inteligente (iKey®)	+
Selector de cambios electrónico tipo Joystick	+
Termómetro exterior	+
Control Crucero Inteligente (ICC)	+
Monitor Inteligente de Visión Periférica (IAVM)	+
e-Pedal con función de regeneración de frenado	+
Modo de conducción B	+
Modo de conducción ECO	+
SEGURIDAD	
Luces intermitentes automáticas	+
Botas de aire frontales/laterales y de cortina	+
Cinturones de seguridad frontales con pretensionador, limitador de carga y ajuste de altura	+
Cinturones de seguridad posterior de 3 puntos	+
Sistema ISOFIX	+
Sistema de Frenado Antibloqueo (ABS)	+
Asistencia de Frenado (BA)	+
Distribución Electrónica de Frenado (EBD)	+
Control Dinámico de Vehículo (VDC)	+
Asistente de Ascenso en Pendientes (HSA)	+
Control Inteligente de Tracción (TCS)	+
Alerta de Punto Ciego (BSW)	+
Sistema de Monitoreo Presión de Neumáticos (TPMS)	+
Alerta de Colisión Frontal (FCW)	+
Frenado Inteligente de Emergencia (IFEB)	+
Alerta Inteligente de Cambio de Carril (LDW)	+
Alerta Inteligente de Atención a Conductor (IDA)	+

*Especificaciones y precios pueden variar sin previo aviso. Accesorios son opcionales y se facturan por separado. Aplican restricciones

nissan.com.ec

Figura A. 13. Ficha técnica del vehículo
Fuente: (Albuja & Puenguenan, 2022)

ANEXOS DE TEXTO



NISSAN INTELLIGENT MOBILITY

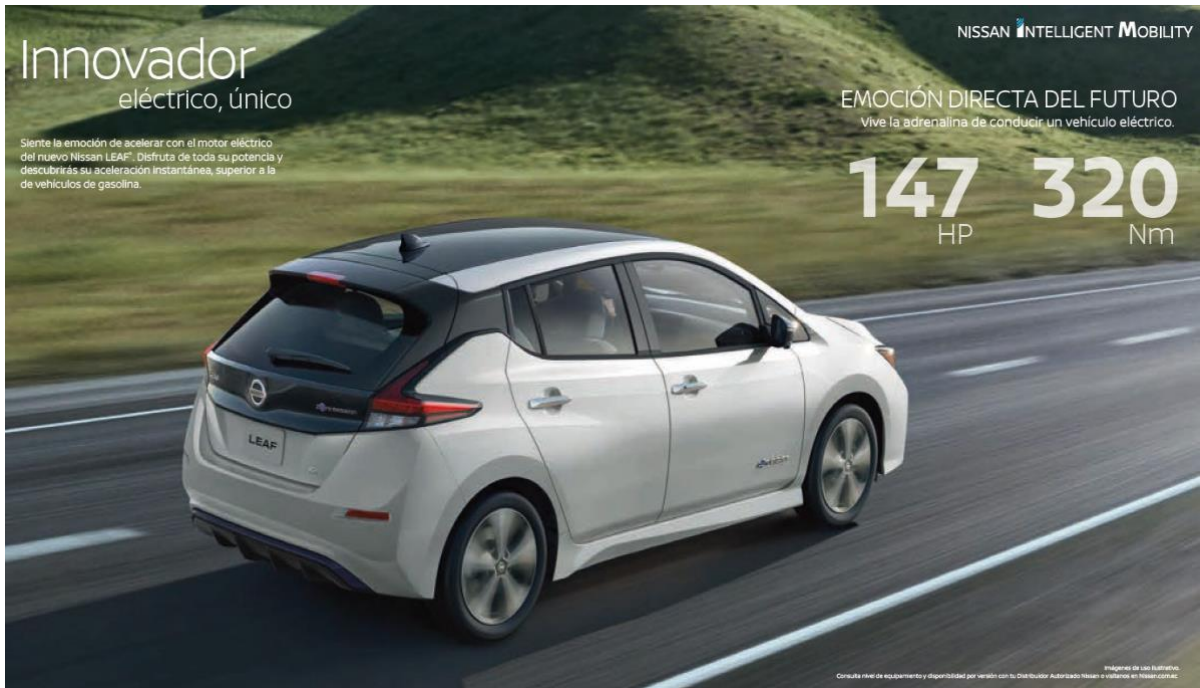
Innovador

eléctrico, único

Siente la emoción de acelerar con el motor eléctrico del nuevo Nissan LEAF. Disfruta de toda su potencia y descubre su aceleración instantánea, superior a la de vehículos de gasolina.

EMOCIÓN DIRECTA DEL FUTURO
Vive la adrenalina de conducir un vehículo eléctrico.

147 HP **320** Nm



Imágenes de uso ilustrativo. Consulta nivel de equipamiento y disponibilidad por versión con tu Distribuidor Autorizado Nissan o visitando en Nissan.com.ar.

NISSAN INTELLIGENT MOBILITY

Innovación

en un nuevo nivel

El **e-Pedal** del nuevo Nissan LEAF® es sinónimo de tecnología. Con un solo pedal puedes acelerar o frenar mientras conduces, esto se traduce en un manejo más suave y divertido.

EXTERIOR BITONO
El diseño, la tecnología y la innovación tienen su punto de encuentro en el nuevo Nissan LEAF®, el cual también cuenta con una versión de exteriores bitono que no dejará que pases desapercibido por el camino.

e-Pedal
Cuenta con un sistema regenerativo que captura energía cada vez que frenas, esa energía recarga la batería, ofreciéndote mejor rendimiento, mayor ahorro de energía y menor desgaste.




Seguridad para el futuro

El nuevo Nissan LEAF® te hace sentir protegido en todo momento. Sus tecnologías trabajan de forma integral para brindarte la mayor seguridad en cada recorrido.

INTELLIGENT TRACE CONTROL [CONTROL INTELIGENTE DE TRAZO]
Tecnología que te ayuda a mantener el control cuando entras en curvas, ya que identifica el trazo y, en caso de ser necesario, puede frenar cada rueda individualmente para ayudarte a manejar con más seguridad.

HILL START ASSIST [ASISTENTE DE ARRANCAR PENDIENTES]
Tecnología que evita que el vehículo retroceda en una pendiente cuando se quita el pedal de freno para prestar el acelerador.

INTELLIGENT DRIVER ALERTNESS [MONITOR INTELIGENTE DE ALERTA AL CONDUCTOR]
El vehículo identifica una posible fatiga y te alerta para cuidar de ti, emitiendo una alerta acústica y encendiendo un ícono de taza de café en la pantalla para hacerte saber que necesitas tomar un descanso.

INTELLIGENT CRUISE CONTROL [CONTROL CRUCERO INTELIGENTE]
Te ayuda a mantener una distancia prudente entre tu vehículo y el vehículo que circula delante de ti. A medida que el tráfico se vuelve más lento o más rápido, el sistema responde cuando sea necesario, para evitar el contacto con el otro vehículo.

INTELLIGENT EMERGENCY BRAKING* [FRENOADO INTELIGENTE DE EMERGENCIA]
Utilizando tecnología de radar, el sistema detecta peligro de colisión con el vehículo de adelante y advierte al conductor con alarmas acústicas y visuales para que frena y evite el peligro. Además, reduce la velocidad en caso de ser necesario.

INTELLIGENT EMERGENCY BRAKING

NISSAN INTELLIGENT MOBILITY

Intelligent Emergency Braking puede disminuir la velocidad de tu vehículo cuando se detecta un peligro de colisión con un vehículo de adelante. El sistema puede proporcionar una alerta de frenado en determinadas condiciones. Consulta el nivel de equipamiento y el manual del propietario para ver los detalles. Automóvil Nissan y Nissan en Intelligente.

Imagen de uso ilustrativo. No puede detectar todos los vehículos de otros países. *Intelligent Blind Spot Warning* puede detectar los vehículos que se encuentran en la parte no visible de los espejos retrovisores laterales. Para más detalles consulta el manual de propietario. Consulta el nivel de equipamiento y el manual del propietario para ver los detalles. Automóvil Nissan y Nissan en Intelligente.

Te advierte antes de moverte

INTELLIGENT REAR CROSS TRAFFIC ALERT**
[ALERTA INTELIGENTE DE TRÁFICO CRUZADO]
El vehículo emite una advertencia visual y auditiva si detecta objetos que pueden cruzarse en la parte trasera del vehículo cuidando de las personas a su alrededor.

INTELLIGENT AROUND VIEW MONITOR WITH MOVING OBJECT DETECTION [MONITOR INTELIGENTE DE VISIÓN PERIFÉRICA CON DETECCIÓN DE OBJETOS EN MOVIMIENTO]
El Monitor Inteligente de Visión Periférica con el sistema de Detección de Objetos en Movimiento, simula una visión de 360°, que te alerta sobre obstáculos, peatones y objetos en movimiento, y así prevenir accidentes.

INTELLIGENT BLIND SPOT WARNING***
[ALERTA INTELIGENTE DE PUNTO CIEGO]
El vehículo cuenta con sensores que detectan vehículos que se encuentran en la parte no visible de los espejos retrovisores laterales.

INTELLIGENT REAR CROSS TRAFFIC ALERT**
[ALERTA INTELIGENTE DE TRÁFICO CRUZADO]
El vehículo emite una advertencia visual y auditiva si detecta objetos que pueden cruzarse en la parte trasera del vehículo cuidando de las personas a su alrededor.

INTELLIGENT BLIND SPOT WARNING***
[ALERTA INTELIGENTE DE PUNTO CIEGO]
El vehículo cuenta con sensores que detectan vehículos que se encuentran en la parte no visible de los espejos retrovisores laterales.

NISSAN INTELLIGENT MOBILITY

Intelligent Rear Cross Traffic Alert puede detectar los vehículos que se encuentran en la parte no visible de los espejos retrovisores laterales. El sistema no emite alerta con otros vehículos o acciones. Para más detalles consulte el manual de propietario. Para más detalles consulte el manual de propietario. Consulta el nivel de equipamiento y el manual del propietario para ver los detalles. Automóvil Nissan y Nissan en Intelligente.

Imagen de uso ilustrativo. No puede detectar todos los vehículos de otros países. *Intelligent Blind Spot Warning* puede detectar los vehículos que se encuentran en la parte no visible de los espejos retrovisores laterales. Para más detalles consulte el manual de propietario. Consulta el nivel de equipamiento y el manual del propietario para ver los detalles. Automóvil Nissan y Nissan en Intelligente.

NISSAN INTELLIGENT MOBILITY

Beneficios de conducir un vehículo eléctrico

Dile adiós a las gasolineras, ahorra mientras cuidas el planeta y disfruta de tu tiempo libre.

Vehículo a Gasolina
1 tanque lleno de gasolina Super
\$29,60*

Vehículo Eléctrico
1 carga completa baterías
\$3,60*

Una carga de Nissan Leaf equivale al consumo eléctrico de una TV de 32" y una laptop al mes

Un vehículo recorre en promedio 1500 km al mes. Recorre esta distancia con:

Nissan Leaf	\$19,81
Vehículo a gasolina	\$81,00

El futuro en tus manos

El nuevo Nissan LEAF® es un vehículo visionario, que, pensando en toda tu comodidad, te ofrece Nissan Connect™, la tecnología que necesitas para que tú solo te preocupes por manejar.

Datos comparativos estimados con fines ilustrativos (Marzo 2021), corresponde a valores referenciales y están sujetos a cambios y modificaciones sin previo aviso.

NISSAN INTELLIGENT MOBILITY

Con Nissan Leaf® circula libremente

Al ser un vehículo eléctrico, el nuevo Nissan LEAF® está exento del programa "Hoy no Circula" en la ciudad de Quito. Además cuenta con tasas municipales preferenciales.

Nuevo Nissan LEAF®
todo lo que necesitas saber

Mantente al tanto de los datos más importantes de tu vehículo, como la carga de batería y la energía utilizada y regenerada durante cada viaje.

INDICADOR ECO DRIVE
Muestra información sobre la eficiencia con la que se está manejando el vehículo.

CARGA RESTANTE DE BATERÍA
Siempre sabrás exactamente el nivel de carga de energía con la que cuenta el vehículo y así podrás programar tus recargas.

MODOS ECO
El modo ECO es usado para mejorar la autonomía con la que el vehículo puede ser conducido, consumiendo menor energía eléctrica.

EFICIENCIA DE CONSUMO
Brinda datos constantes sobre el consumo de energía, la potencia que estás utilizando y la que se genera gracias al sistema de frenado regenerativo del nuevo Nissan LEAF.

40 KW

PODER CERO EMISIONES. El nuevo Nissan LEAF® y su ingeniería cuentan con una batería de ion-litio de 40 kW que te ofrece excelente potencia, recorridos rápidos y cero emisiones.

Consulta nivel de equipamiento y disponibilidad por versión con tu Distribuidor Autorizado Nissan o comunícate en Nissan.com.ec. *La eficiencia del EPA, la potencia y la eficiencia Ambiental son estándares por autoridades nacionales y locales y no dependen de Nissan. Imágenes de uso ilustrativo. Imágenes de uso ilustrativo.

El vehículo eléctrico más vendido en el presente y también en el futuro

Nuevo Nissan LEAF® es uno de los vehículos eléctricos más vendidos en el mundo, conoce todos los beneficios que te ofrece.

TIEMPOS DE CARGA

- Nivel 1: (Cargador portátil 110V) entre 24 y 27 horas.
- Nivel 2: (Wallbox 220V) entre 8 y 12 horas.

PUNTOS DE RECARGA

- Puedes recargar tu nuevo Nissan LEAF® en la comodidad de tu casa gracias al cargador Nivel 2 (wallbox), en concesionarios Nissan habilitados o puntos externos de recarga a nivel nacional.
- Un proveedor certificado Nissan irá a tu domicilio y hará una instalación eléctrica* exclusiva para tu nuevo Nissan LEAF®.

RENDIMIENTO POR RECARGA

- Según los hábitos de manejo del conductor el nuevo Nissan LEAF® tiene una autonomía de hasta 280 km.





FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y
EMPRESARIALES

ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN Y EL IMPACTO DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA ECONOMÍA EUROPEA

Autor: Ignacio Sanz Arnaiz
Director: Raúl González Fabre

Madrid
Junio 2015

Ignacio Sanz Arnaiz

RESUMEN

El vehículo eléctrico presenta indudables ventajas sobre el de combustión interna desde el punto de vista medioambiental. Su eficiencia energética es también mayor. Pero su coste de adquisición es más elevado y su autonomía es muy limitada. Por estos motivos la actitud de los consumidores ante el vehículo eléctrico no es del todo positiva.

En este trabajo se ha analizado el estado actual del mercado del vehículo eléctrico en la Unión Europea. Se ha realizado el estudio económico del coste de operación (precio de adquisición más gasto en energía) para varios modelos disponibles hoy en el mercado español, como caso representativo. Gracias a las subvenciones que ofrece la Administración para la compra de vehículos eléctricos, éstos resultan rentables en plazos de tiempo muy interesantes. Se trata de un sector en constante cambio, por lo que los resultados son muy sensibles a las variaciones de los diversos factores que se detallan en el trabajo.

ABSTRACT

Electric Vehicles (EV) offer better performances than Internal Combustion Vehicles (ICV) from an energetic efficiency point of view and referred to environmental parameters. Nevertheless its purchase price is considerably higher for the EV and the mileage afforded by electric batteries is lower compared to ICV.

The present work plots the state of art of the EV market across the European Union. As a practical case, an economic analysis has been carried out on the operating cost of EV (the sum of purchase cost plus energy) compared to ICV for a representative sample of the Spanish EV market. The conclusion is that, due to the incentives offered by the Administration, EV is an interesting possibility in a very interesting time delay. However this area is in a very fast changing state so small changes in the different factors explained in the text could lead to different results.

1. INTRODUCCIÓN

A través de esta introducción se tratará de plantear dónde radica la importancia del vehículo eléctrico en la sociedad actual y se definirán los objetivos de la investigación. Asimismo se describirán la metodología utilizada y la estructura del trabajo.

1.1. Justificación del tema

En la actualidad, tanto la sociedad como la mayor parte de las empresas están concienciadas con la necesidad de cuidar el medioambiente. Por ello tratan de seguir modelos cada vez más sostenibles desde un aspecto ecológico. Sin embargo, la tendencia global del incremento de la movilidad supone un serio impedimento para conservar el entorno. Al ser conscientes de este problema, ya desde principios del siglo XXI, numerosas compañías de todos los sectores y en especial las empresas automovilísticas comenzaron a destinar una importante cantidad de dinero a la investigación y el desarrollo de nuevos vehículos propulsados por fuentes de energía alternativas asociadas a un considerable descenso de las emisiones de gases contaminantes. La sostenibilidad del sector transporte dependerá en gran medida de estas nuevas tecnologías.

Por otro lado, durante la crisis económica, las cifras de ventas de automóviles a nivel global se han visto preocupantemente afectadas. Además su recuperación se está produciendo con gran lentitud.

Paralelamente, el petróleo es un bien escaso del cual la Unión Europea no posee reservas. Y las reservas a nivel mundial acabarán agotándose en un plazo bastante próximo.

De este modo, muchas compañías optan por emprender nuevas estrategias e incluir en sus gamas de vehículos nuevos modelos 'medioambientalmente amigables'. Los objetivos perseguidos son dos: por una parte, mejorar la eficiencia energética respetando el entorno al máximo y por otra, encontrar una fuente de energía alternativa al petróleo.

En el trabajo se pone de manifiesto que, desde la perspectiva actual, la alternativa que parece más viable a los vehículos impulsados por combustibles fósiles es el vehículo eléctrico. Su presencia a gran escala en nuestras sociedades del futuro parece algo irrevocable. Hoy en día, la transición hasta ellos está pasando por los vehículos híbridos, que combinan un motor de combustión interna con otro de tipo eléctrico.

En este momento es la solución por la que optan las empresas automovilísticas para conseguir al mismo tiempo una autonomía similar a la que tienen los coches convencionales y disminuir al máximo el consumo de petróleo y la contaminación. A pesar de su elevado coste, su difusión en los mercados de todo el mundo es considerable, lo que parece indicar que lleva la dirección correcta.

El vehículo puramente eléctrico se recargará únicamente a través de la red eléctrica. En la medida en que esta electricidad se obtenga de fuentes renovables como es la energía eólica o la fotovoltaica, la dependencia del petróleo disminuirá al mismo tiempo que lo hará la contaminación por las emisiones de los vehículos de combustión. Dejando aparte el problema del coste tanto del vehículo como de las energías "limpias", las ventajas que presenta son muy numerosas. De ahí nace el interés creciente sobre este tema.

1.2. Objetivos

El presente trabajo de investigación académica está orientado a tratar de analizar el estado actual y la posible evolución del sector del vehículo eléctrico (limitado a turismos y pequeños vehículos comerciales) en la Unión Europea haciendo especial énfasis en el mercado español. Se tratará de conocer cuáles son las principales características de esta industria, los retos a los que se enfrenta y las previsiones de futuro.

De la misma manera, como resultado del estudio quedarán planteadas las ventajas y posibles inconvenientes de este medio de transporte. Serán evidentes las repercusiones de su uso en la economía tanto a nivel comunitario como a nivel particular del usuario. Se realizará un estudio del mercado actual para analizar su viabilidad económica. Para ello se cuantifica el coste de operación en diversos modelos ofrecidos actualmente en el mercado español proyectado en los próximos años, a partir de las condiciones dadas hoy en día. Finalmente se podrá atisbar el amplio abanico de oportunidades de negocio que surgirán como consecuencia de la introducción de esta tecnología en el mercado.

1.3. Metodología

Para llevar a cabo este trabajo se ha realizado una investigación deductiva comenzando por un estudio del sector automovilístico en su vertiente eléctrica y de los suministros de energía de los que se abastece. Con ello se logra alcanzar una visión general del tema de estudio que involucra a la sociedad en general. No se trata de un mero problema de transporte, sino que también implica al medio ambiente y a las fuentes de energía.

En primer lugar se realiza una investigación descriptiva para comprender el funcionamiento de estos vehículos (analizando los distintos tipos) y así entender los problemas técnicos y de mercado a los que se enfrenta. Estos factores juegan un papel decisivo tanto en la competitividad de los precios como en el rendimiento del vehículo eléctrico comparado con uno tradicional.

A través de un estudio cuantitativo de ventas y producción se pretende plantear una visión global del estado del mercado durante los últimos años y en el momento de escribir este trabajo.

Posteriormente, combinando datos cualitativos y cuantitativos se tratará de predecir sus repercusiones económicas en el futuro, partiendo de los datos actuales. Como ejemplo práctico se ha desarrollado una proyección del coste de operación para varios modelos de distintas marcas a través de una hoja de cálculo. En el trabajo se justifican las hipótesis adoptadas para realizar dicho modelo y se señala cuáles serían las posibles mejoras para ampliar este tipo de estudios.

1.4. Estructura del trabajo

El trabajo se ha organizado en los siguientes puntos:

- Antecedentes e historia del vehículo eléctrico: se describe su evolución exponiendo cuáles han sido los factores responsables de que no haya alcanzado el éxito que se auguraba su aparición.
- Visión global del sector del vehículo eléctrico: se explican las razones de las que deriva su gran importancia en el presente, describiendo los distintos productores y modelos existentes. También se presentaran los principales factores que influyen en el coste y los condicionantes del mercado.

- Industria del vehículo eléctrico en Europa: estudio del proceso de fabricación de estos vehículos y su posición dentro de la industria mundial, explicando sus distintos componentes así como sus rendimientos.
- Mercado del vehículo eléctrico: en este apartado se realizará un análisis de las cifras actuales de ventas y las previsiones de futuro. También se estudiarán las importaciones y exportaciones de la Unión Europea con el resto del mundo.
- Consecuencias de la electro-movilidad: descripción y comparación de los diferentes medios de transporte y análisis de la influencia que tiene el uso de estos vehículos en la red eléctrica. Importancia de los puntos de recarga y estudio de las industrias o empresas cuyo funcionamiento se pueda ver afectado por la incursión de este nuevo modelo de transporte.
- Estrategias e iniciativas públicas: se presentarán diversos planes a nivel europeo y local que tienen el objetivo de impulsar el desarrollo del vehículo eléctrico usando para ellos distintos incentivos.
- Ejemplo real de viabilidad: comparación del coste total de un vehículo eléctrico frente a un modelo convencional. El estudio cuantitativo se realiza con parámetros reales en el momento de escribir estas líneas.
- Conclusiones: conclusión del trabajo con referencia a las futuras líneas de investigación posibles.

1.5. Fuentes de información

Son múltiples los autores que han estudiado la viabilidad y posibles consecuencias que tiene este novedoso medio de transporte. A pesar de ello, los datos acerca de su evolución cambian a medida que pasa el tiempo al estar muy influenciado por la tecnología disponible. Por este motivo se ha tratado de que todas estas fuentes de información fuesen lo más actuales posibles ya que los datos varían año a año y sus previsiones son bastante inciertas.

Para llevar a cabo dicho estudio, se ha recopilado información de distintas fuentes. Por una parte han servido de base informes de todo tipo que han sido elaborados tanto por entidades privadas como por consultoras. Se han tomado también datos de fabricantes de vehículos y de organismos públicos (a nivel europeo o del gobierno de cada país). Otra

fuentes de información han sido algunos artículos de revistas científicas y webs especializadas en el sector automovilístico.

1.6. Estado de la cuestión

La reducción de la dependencia de los combustibles fósiles, el aumento de la eficiencia de los motores y el mayor respeto al medio ambiente son algunas de las ventajas que presenta el vehículo eléctrico. Por estos motivos, el tema ha sido fruto de numerosas investigaciones en todo el mundo. Wu, G. analiza en "Total cost of ownership of electric vehicles compared to conventional vehicles: A probabilistic analysis and projection across market segments" la situación del vehículo eléctrico comparada con la del convencional. A nivel europeo, la Universidad de Duisburg-Essen llevó a cabo en 2012 un profundo estudio de la situación en "Competitiveness of the EU Automotive Industry in Electric Vehicles".

Sin embargo, aunque existan estudios similares, no se ha realizado ningún cálculo comparativo con datos actuales que incluyan por ejemplo las diversas ayudas que ofrecen los gobiernos para su adquisición. Al tratarse de datos que varían con gran rapidez, estos siempre deben estar siempre lo más actualizados posible ya que los resultados obtenidos en el estudio dependerán de ellos. De esta manera surge este trabajo como un punto de vista complementario a la situación del vehículo eléctrico en el mercado.

4. INDUSTRIA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN EUROPA

Es importante analizar la situación de la producción europea, atendiendo a los componentes característicos del vehículo eléctrico ya que se comprenderán mejor las repercusiones que podría tener una producción masiva.

4.1 Fabricación de motores eléctricos

La tecnología necesaria para fabricar motores eléctricos ha sido desarrollada en la Unión Europea desde hace décadas, a diferencia de la referida a las baterías. La posición que ocupa la industria europea es muy competitiva frente a fabricantes asiáticos o estadounidenses tanto en investigación y desarrollo como en producción. Según el informe "Competitiveness of the EU Automotive Industry in Electric Vehicles" realizado por la Universidad de Duisburgo-Essen¹², Alemania encabeza la producción a nivel europeo con varios fabricantes.

El grupo Bosch lidera la fabricación de motores de corriente continua y al mismo tiempo proporciona componentes para distintos tipos de vehículos eléctricos e híbridos, terreno donde realiza grandes inversiones.

El grupo Continental fabrica motores eléctricos, baterías y electrónica aplicada al sector automovilístico. Con una capacidad de producción de 70.000 motores eléctricos por año, la demanda ha sido inferior a su capacidad. Siemens y el Grupo Volkswagen también destacan en la fabricación de motores aunque con menor producción.

En Francia destacarían empresas como Leroy-Somer y el Grupo Emerson.

En cuanto a la fabricación de componentes electrónicos, la industria europea en este campo es muy competitiva a nivel mundial, en especial la alemana. Las empresas clave son Bosch, Siemens, Continental e Infineon.

4.2 Fabricación de baterías

4.2.1 Rendimiento

Con el objetivo de que se produzca un verdadero 'taking off' de los vehículos eléctricos, parece condición necesaria que se produzca un desarrollo de una nueva generación de

baterías, con propiedades más ventajosas que las actuales. Para distancias mayores que los recorridos urbanos habituales, la solución eléctrica plantea ciertos problemas relacionados con el tiempo de recarga y la autonomía. La alternativa eléctrica tiene su punto débil en el almacenamiento de la fuente de energía: las baterías.

Como muestra la *Tabla 1*, los derivados del petróleo tienen un contenido energético enormemente superior al de las baterías (medido en kilovatios /hora por kilogramo de peso). Aparecen tres tipos de baterías, de las que la más antigua figura a la izquierda. La evolución es muy positiva pero todavía no puede competir con los combustibles convencionales.

Densidad de energía en (kW·h/kg)				
Baterías			Combustión interna	
Plomo convencional	Ni MH	Litio	Gasolina	Gasoil
0.04	0.07	0.15	13	12.7

Tabla 1: Comparación densidad de energía de baterías de distinto tipo y de combustibles derivados del petróleo. Fuente: elaboración propia.

Para traducir la densidad de energía a parámetros más conocidos, la equivalencia aproximada sería la siguiente:

1 kg de gasolina, que son 1.35 litros, tiene un contenido energético de 12 kWh.

En sentido contrario,

100 kWh equivalen a 11.25 litros de gasolina.

En el caso del diésel, el contenido energético es ligeramente superior (1litro de diésel equivale a 1.1 litros de gasolina).

Además, los vehículos con combustión interna presentan la ventaja de proporcionar una gran autonomía y necesitar tan sólo unos minutos para repostar, frente a las horas que necesita un vehículo eléctrico para recargar su batería. Se añade la red de gasolineras existente, frente a la ausencia de una red de infraestructuras de recarga eléctrica.

Aun así, hay que tener en cuenta que la tecnología en la fabricación de baterías avanza rápidamente, como se observa en la *Tabla 2* extraída del artículo de Ceña, A. y Santamarta, J. en la revista "WorldWatch"¹³.

Tipo de baterías recargables	Energía (Wh/kg)	Energía/volumen (Wh/litro)	Potencia/Peso (W/kg)	Número de ciclos	Eficiencia energética-%
Zebra (NaNiCl)	125	300		1.000	92,5
Polímero de litio	200	300	>3.000	1.000	90,0
Iones de litio	125	270	1.800	1.000	90,0
Níquel-Hidruro Metálico (NiMH)	70	140-300	250-1.000	1.350	70,0
Níquel Cadmio (NiCd)	60	50-150	150	1.350	72,5
Plomo-ácido	40	60-75	150	500	82,5

Tabla 2: Evolución de la densidad energética y otros parámetros en distintos tipos de baterías. Tomada de la Referencia¹³, página 43.

La tabla está ordenada de tal manera que en las primeras posiciones aparecen las baterías fabricadas con componentes más actuales mientras que las últimas son las más antiguas (como es el caso de las de Plomo). Hay que prestar atención a la columna de la Energía (W-h/kg) que pueden almacenar y a las de número de ciclos de recarga (que marcan la vida útil) y su eficiencia energética. Las baterías actuales muestran una clara mejoría en todos los aspectos frente a las antiguas.

La capacidad de almacenamiento de la energía eléctrica está directamente relacionada con la autonomía.

Considerando los valores reales para el Nissan Leaf, el vehículo más vendido en España, su batería tiene una capacidad de 24 kW-h (energía que equivale a la contenida en 2.7 litros de gasolina) que le proporciona una autonomía de 199 km y una potencia de 80kW. Sin entrar en detalles sobre la composición de la batería, se puede tomar una densidad energética media de 140W-h/kg, lo que supone un peso de 171.4kg para la batería.

Comparemos ahora las autonomías: el Nissan Pulsar puede ser el análogo de combustión al Leaf eléctrico, pues su potencia de 110 CV son 80.85 kW. Su consumo es de 3.6 litros a los 100 km. Llenando su depósito con 2.7 litros de gasolina (el mismo contenido energético que la batería cargada del Leaf) tendremos una autonomía de 75 km, inferior a la del eléctrico. Este cálculo deja claro que si bien las densidades energéticas de ambos

vehículos son muy distintas, la mayor eficiencia del motor eléctrico lleva al sorprendente resultado de la mayor autonomía.

Si la capacidad actual de almacenamiento de energía no mejorase, una autonomía de 400 km necesitaría baterías con un peso alrededor de 350 kg, lo que parece algo inviable. Por lo tanto este es uno de los puntos clave que determinarán el éxito del coche eléctrico en el futuro.

La empresa IBM ha iniciado el proyecto "Battery 500" para desarrollar una batería con autonomía de 500 millas gracias a la densidad energética entre 1500 y 2000 W·h/kg que esperan alcanzar para el año 2020. De alcanzarse este valor, que aumenta en un factor superior a 10 los valores actuales, no sólo disminuiría el peso de la batería sino que su autonomía alcanzaría valores muy competitivos.

4.2.2 Reservas de litio

La mayoría de las baterías actuales de los vehículos eléctricos (así como las de otros dispositivos como teléfonos móviles u ordenadores portátiles) se fabrican con litio, aunque la tecnología apunta a nuevos materiales. Si el transporte se electrifica en un porcentaje alto, se plantea el problema de saber si existen suficientes reservas de litio como para satisfacer las demandas de fabricación.

Como se analiza en el trabajo "El coche eléctrico: el futuro del transporte, la energía y el medio ambiente"¹³, los principales yacimientos de este mineral se encuentran en Chile, Bolivia, Argentina y China y las reservas conocidas ascienden a unos 20 millones de toneladas. La batería de un vehículo eléctrico medio necesita actualmente unos 10 kg de litio, con lo que las reservas de mineral conocidas hasta ahora, dedicadas íntegramente a la automoción abastecerían a 2.500 millones de vehículos. A priori no parece suponer una amenaza.



Madrid
Ahorra
con Energía



La Suma de Todos



CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA

Comunidad de Madrid

www.madrid.org

Guía del Vehículo Eléctrico II



5 EL VEHÍCULO ELÉCTRICO Y LA COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA



5.1. RESUMEN

La evolución hacia un modelo de transporte más eficiente, sostenible y moderno está dando sus primeros pasos. El principal factor impulsor es la atracción que despierta en los usuarios la movilidad limpia con los beneficios ambientales y económicos asociados.

La industria del automóvil tiene un gran reto ante sí para adaptarse a esa nueva demanda, pero el sector eléctrico juega un papel fundamental en la transformación del modelo, ya que es protagonista en el despliegue de los servicios de recarga y su integración en los sistemas de generación, transporte y distribución.

En este capítulo se describe un modelo de servicios de recarga insertado en el catálogo de productos y servicios energéticos que el área de comercialización ha desarrollado en España en los últimos años fruto de la liberalización del sector eléctrico. La actividad de comercialización junto con la de gestión de cargas aporta solidez a medio plazo y confianza a los usuarios porque permite vincular los sistemas y la energía de recarga, y porque facilita una rápida escalabilidad de las soluciones en cuanto la demanda vaya en aumento, dada la gran base de clientes y la infraestructura comercial disponible.

5.2. CIUDADES MÁS SALUDABLES

La electrificación del transporte es una tendencia irreversible debido a la conveniencia de disminuir la dependencia del petróleo y sus derivados, a la necesidad de mejorar la calidad del aire principalmente en áreas urbanas y al cumplimiento de objetivos estratégicos de eficiencia energética, dando además respuesta a la creciente sensibilidad medioambiental de los ciudadanos.



Guía del vehículo eléctrico II

Esta evolución trae consigo numerosas ventajas y oportunidades, pero para que sea relevante y oportuna, deben aún desarrollarse o asentarse no pocos factores de mercado, tecnológicos, regulatorios y culturales.

El efecto de limpieza y descontaminación en las grandes ciudades por un uso masivo de vehículos eléctricos sería espectacular. Incluso en el caso de que la energía eléctrica para las recargas se tomara del sistema eléctrico general, es decir, sin uso exclusivo de fuentes de energía renovables, la mejora global de las emisiones de CO₂ sería notable. Así, por ejemplo, si en un trayecto urbano típico de dieciséis kilómetros las emisiones de los coches de gasóleo y gasolina son de 2,4 y 2,6 kg respectivamente, las asociadas a un coche eléctrico suponen menos de 0,7 kg. Como la mayor parte de las recargas se efectuarían por la noche mientras los coches están en los aparcamientos de las viviendas o en las empresas, el consumo eléctrico asociado a las recargas absorbería los excedentes de energía nocturna. En este momento del día, cuando el resto de consumos disminuye y se produce un valle en la curva de demanda, la recarga de coches eléctricos corregiría esta diferencia y potenciaría aún más el beneficio medioambiental.

La electrificación del transporte ligada a la producción de electricidad renovable y al desarrollo de las tecnologías de almacenamiento representan una alternativa frente a las energías fósiles para optar por una movilidad sostenible.

5.3. LA MOVILIDAD ELÉCTRICA Y EL SECTOR ELÉCTRICO

La integración del vehículo eléctrico en el sistema eléctrico es el medio y no el fin. El sector eléctrico debe acompañar este desarrollo industrial sin necesidad de establecer requisitos específicos para la recarga de los coches que no se impongan al resto de consumos. La movilidad eléctrica representa para el sector eléctrico una oportunidad para contribuir a la sostenibilidad ambiental y económica del transporte.

Es una oportunidad innegable y representa uno de los potenciales factores de transformación del sector eléctrico en las próximas décadas. Según una encuesta de 2013 realizada por la consultora PricewaterhouseCoopers a los directivos de las grandes compañías eléctricas norteamericanas, la llegada del coche eléctrico se encuentra entre

los factores que cambiará el modelo de negocio de sus empresas en los años venideros.

El sector debe aportar la energía necesaria para las baterías que supone una gradual sustitución de los combustibles derivados del petróleo. Esta necesidad plantea el reto de que para que esta sustitución sea eficiente y verdaderamente limpia, la energía deberá serlo también de forma creciente.

En general, se denomina RECARGA VINCULADA a la recarga que un vehículo eléctrico hace regularmente en su plaza de aparcamiento habitual. Como en ella pasa un gran número de horas al día, atendiendo a la potencia del sistema de recarga requerido, este sistema será habitualmente de CARGA NORMAL (hasta 22 kW en corriente alterna) y en la mayoría de los casos de 3,7 o 7,4 kW lo que le proporciona la energía necesaria para llenar la batería en el tiempo disponible.

Con un sistema básico (3,7 kW) un vehículo descargado tarda 6 horas en completar su carga, 3 horas con uno de 7,4 kW y una hora con uno de 22 kW, aunque no todos los coches soportan estos tipos de recarga.

Aunque en muchos usos no son necesarias diariamente recargas adicionales, en ocasiones se requerirán RECARGAS DE OPORTUNIDAD para disminuir la ansiedad por una autonomía limitada o por una necesidad de recarga extra regular o esporádica. En función del tiempo disponible podrán ser atendidas por un sistema de CARGA NORMAL o por uno de CARGA RÁPIDA (hasta 50 kW en corriente alterna o continua). Si la batería estuviera descargada al iniciarse la recarga, ésta podría durar desde sólo 15 minutos para recargar el 80% de la batería con un sistema de RECARGA RÁPIDA, hasta 9 o 10 horas con el sistema más básico de CARGA NORMAL (10 amperios).

La recarga vinculada se hace normalmente en un aparcamiento privado, en casa por la noche o en la empresa durante la jornada de trabajo, mientras que las recargas de oportunidad se hacen normalmente en lugares de acceso público como áreas de servicio, centros comerciales o aparcamientos urbanos, por ejemplo.

En un escenario como el actual en el que la autonomía y los precios de las baterías no han pasado aún los umbrales que hacen los vehículos eléctricos plenamente competitivos y atractivos a la generalidad de los usuarios, procede que el resto de los elementos de la cadena de





Guía del vehículo eléctrico II

valor de la movilidad eléctrica no añadan nuevas barreras y costes excesivos al precio final por lo que, además de las consideraciones económicas, hay que tener en cuenta también las facilidades relacionadas con los nuevos hábitos de uso que conlleva la adopción de la movilidad eléctrica. Entre ellos es fundamental la recarga del vehículo.

El sector eléctrico europeo promueve y facilita la función de recarga bajo el concepto conocido como Recarga Inteligente o *Smart Charging*. Esta recarga inteligente no debe entenderse sólo desde el punto de vista de la óptima integración de los procesos de recarga en la red eléctrica. No hay que olvidar tomar también en consideración el punto de vista del usuario, de modo que las soluciones de recarga ofrecidas sean realmente Smart, es decir, sean además útiles, sencillas y competitivas. El primer objetivo queda en general en el ámbito establecido legalmente a la actividad de distribución (gestión de la red) y el segundo más en el ámbito comercial (productos y servicios).

En el caso de España, un millón de vehículos eléctricos suponen un incremento de la demanda de electricidad que no llega al 1% del total. Esto supone que el sistema puede absorber muchos millones de vehículos eléctricos que realicen una carga lenta nocturna, lo que ayudaría además a integrar la producción con energías renovables, como ya se ha descrito.

Con estas premisas, podemos entonces desglosar los atributos que debería incluir un servicio de recarga inteligente del siguiente modo:

Inteligente = Integrada

Los sistemas de recarga para vehículos eléctricos están conectados a la red eléctrica. En un futuro escenario de gran penetración de vehículos eléctricos, la recargas ayudarán a optimizar el sistema de generación eléctrica o a incrementar por el contrario el pico de demanda, lo que podría implicar inversiones extra para la producción en esos periodos, su transporte y distribución, que deberían ser repercutidas en los servicios al cliente. Para evitarlo, irá siendo necesaria en buena medida, la comunicación y coordinación entre los sistemas de recarga y las redes inteligentes, lo que propiciará una adecuada integración que evite esas inversiones innecesarias y que, por otro lado, propicie la oportunidad de nuevos servicios orientados a los clientes, como la transacción de energía del vehículo a la red o V2G.

En la actualidad, la inteligencia y comunicación de los sistemas de recarga no son imprescindibles salvo en servicios de recarga pública para permitir la medida y facturación, o en lugares puntuales con redes de distribución en las que hubiera que gestionar una escasa capacidad. En general, para el ámbito doméstico una adecuada combinación de tarifas y señales de precios de recarga, un punto de recarga básico o *wall box*, y una simple capacidad de programación de los tiempos de recarga para beneficiarse de los precios en horas valle, es suficiente para optimizar la recarga, no perjudicar la capacidad de la red y abaratar los costes al usuario.



Inteligente = Integral

Debe incluir, por un lado, el punto de recarga propiamente o sistema de conexión con la red eléctrica local, así como su instalación, la energía eléctrica y los servicios necesarios para su seguro y correcto funcionamiento y mantenimiento. Por otro lado, además del acceso a la recarga cotidiana en la propia vivienda o empresa que proporciona el sistema adquirido, una solución integral debe incorporar el acceso a la recarga esporádica en situaciones de necesidad sobrevenida por un trayecto más largo de los habituales (recarga de oportunidad). De este modo, el usuario, contratando con un único operador, tiene la información y disponibilidad necesaria y suficiente de recarga privada y pública para tener cubiertas todas sus necesidades de movilidad.

Inteligente = Adaptada

Debe poder adecuarse a las circunstancias y necesidades de cada usuario, ya sea un comprador particular con una vivienda unifamiliar o con un aparcamiento comunitario, privado o de acceso público, o ya sea una empresa que precisa recargar una flota de vehículos destinados al reparto de mercancías, a tareas de mantenimiento u otros servicios, o a la movilidad de sus directivos o empleados.

Si bien para la recarga en el ámbito privado no será necesario generalmente una potencia de recarga distinta a la de cualquier carga habitual o electrodoméstico de una vivienda (3,5 kW a lo sumo), para la recarga en lugares públicos o recarga de oportunidad sí será nece-



Guía del vehículo eléctrico II

saría una potencia de recarga superior a los 22 kW (recarga rápida) que haga posible recargas complementarias para trayectos o necesidades puntuales o esporádicos.

Un proveedor de recarga debe ofrecer una solución adaptada a la necesidad de cada usuario que combine todas las posibilidades de forma óptima y sencilla de operar.

El usuario debe poder optar además por la propuesta de modelo de negocio que quiera y mejor responda a sus gustos y deseos, ya sea mediante un contrato con un único operador con propuestas de tarifas variadas a elegir o ya sea con pagos puntuales por recargas mediante tarjetas de crédito, pago telefónico, etc.

Inteligente = Estándar

Los conectores para la recarga en el coche y punto de recarga, la identificación del usuario en el punto de recarga y las comunicaciones M2M (*machine-to-machine*) necesarias para la gestión de los sistemas de recarga y servidores, deben operar de acuerdo a unos estándares que rápidamente se unifiquen internacionalmente y puedan entender y adoptar los usuarios proporcionando total confianza y seguridad. Es evidente que la estandarización no sólo de los sistemas de recarga sino de los vehículos en general es otro aspecto que favorece la adopción y disminuye la incertidumbre: conectores, niveles de potencia, seguridad, comunicaciones, conectividad, interoperabilidad, medios de pago, etc., son aspectos que deben continuar su maduración en los próximos años.

Inteligente = Interoperable

La infraestructura de recarga pública disponible para las recargas de oportunidad debe ser accesible para cualquier usuario con independencia del modelo de contrato u operador que suministre sus servicios de recarga. El usuario debe poder conocer en tiempo real la disponibilidad de puntos de recarga y acceder a sus servicios mediante la fórmula que estime oportuna. Para ello, todos los operadores de servicios de recarga deben esforzarse por alcanzar acuerdos de colaboración e interoperabilidad que permitan esa flexibilidad y facilidad de uso de todas las infraestructuras disponibles.

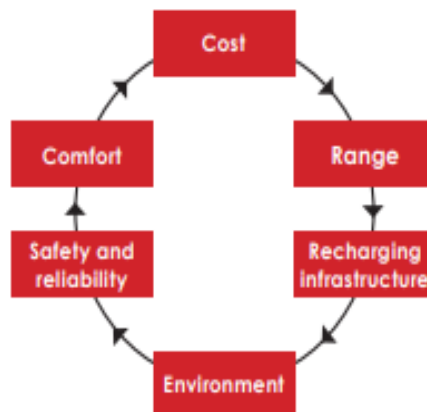


Inteligente = Cero emisiones

Finalmente, una de las cualidades Smart más interesantes de la recarga es propiciar que la energía aportada a los vehículos provenga de un mix de generación con un creciente peso de las energías con cero emisiones. Las compañías eléctricas pueden ofrecer a sus clientes la recarga en periodos supervalle, cuando sea posible, ya que de este modo propician de forma natural una mayor penetración y uso del excedente energético nocturno, además de poder ofrecer energía con certificación verde como parte de sus soluciones de recarga para conseguir una movilidad con cero emisiones.

5.4. MOVILIDAD ELÉCTRICA Y COMERCIALIZACIÓN DE ELECTRICIDAD

Frecuentemente se plantea que la movilidad eléctrica no se desarrolla debido a la falta de inversiones en infraestructuras de recarga y quizá sea uno de los factores determinantes pero no el único ni el más importante.



Source: PwC, Fraunhofer LBF, FH FFM (2011).

Figura 1. Factores críticos de la movilidad eléctrica.

Lo que sí creemos necesario es que el acceso a los sistemas de recarga tenga un desarrollo en paralelo y acompasado al crecimiento del mercado de vehículos y, en cualquier caso, no se trata tanto de desarrollar infraestructuras como de poner a disposición de los usuarios SOLUCIONES DE RECARGA competitivas que permitan cubrir todas las necesidades de recarga para cada uno de los distintos patrones de



Guía del vehículo eléctrico II

uso del vehículo. No es, por tanto, tan importante la infraestructura en sí como los modelos de negocio que hacen viable su implantación para las empresas y asequible y atractivo su uso a los usuarios.

Pues bien, de los apartados anteriores cabe concluir que el desafío principal de la movilidad eléctrica no es sólo de carácter tecnológico sino comercial. Iberdrola fue pionera en España en implantar en 2010 un departamento de movilidad eléctrica dentro de su área comercial [Iberdrola Clientes], uniendo el desarrollo y comercialización de soluciones de recarga a su oferta de electricidad y otros productos y servicios, y dando así respuesta no sólo a su apuesta por la sostenibilidad y la innovación sino principalmente al compromiso con sus clientes que demandan una continua actualización y diversificación de la oferta.

De acuerdo a la legislación vigente, los servicios de recarga con reventa de electricidad pueden ser prestados sólo por empresas que estén registradas como Gestores de Cargas. Iberdrola Servicios Energéticos está registrada como Gestor de Cargas del sistema. Los servicios y soluciones de recarga en función de las distintas circunstancias y necesidades, se prestan y operan desde la empresa comercializadora o desde el gestor de cargas en función del caso concreto. Los usuarios esperan una solución que les aporte seguridad y comodidad.

Iberdrola es líder en energías limpias, lo que aporta un beneficio adicional al suministro energético para la movilidad sostenible. Con unas emisiones en España de 58 g CO₂/kWh producido (3 veces menos que las del conjunto del parque de generación español) y un 91% de la producción libre de emisiones en el año 2014, es la empresa más destacada en mix de generación limpio, lo que significa una verdadera mejora en el impacto en emisiones asociadas a la movilidad eléctrica. Pero, además, Iberdrola comercializa ENERGÍA VERDE que garantiza un origen 100% renovable y una conducción CERO EMISIONES a los clientes de esta energía.

La regulación de los servicios de recarga en España tiene como horizonte la transposición y cumplimiento de la Directiva Europea sobre combustibles alternativos y como marco actual, la reciente instrucción técnica BT52, así como el RD 647/2011 sobre la figura del gestor de cargas del sistema en el que además se establece la tarifa supervalve como incentivo para la recarga en horas nocturnas. Con esta última regulación se abre la puerta a una potencial vinculación comercial entre el sistema de recarga del vehículo eléctrico y el contrato de electricidad. Parece obvio que las recargas de los coches se hagan

mayoritaria y principalmente en periodo nocturno, produciendo un doble beneficio tanto para el usuario que obtiene un mejor precio de la energía para su recarga como para el sistema eléctrico que se beneficia de una demanda nocturna cuando está infrutilizado.

De este modo, la actividad de comercialización tiene ante sí el reto de adaptar e integrar su oferta en la cadena de valor de la movilidad eléctrica, uniendo los servicios de recarga a la comercialización de energía eléctrica y desarrollando productos como la energía verde o los contratos con periodo supervalle.

La posible vinculación entre productos de recarga y energía eléctrica es más clara en aquellos casos en los que el consumo eléctrico debido a la recarga para un determinado cliente represente una parte significativa de su consumo total. Son ejemplos de esta situación la recarga doméstica o la recarga en locales de aparcamiento urbanos.

Es especialmente relevante el caso de los autobuses eléctricos. Están en clara evolución ascendente y ya empieza a haber una variedad de marcas que los ofrecen. Aunque las soluciones de recarga para autobuses se hallan aún en fase experimental, es claro que el potencial de sustitución de combustibles fósiles por electricidad es muy alto en este tipo de transporte urbano y el consumo eléctrico es muy significativo, ya que los autobuses pueden contar con baterías de más de 300 kWh que deben recargar como mínimo una vez al día.

Un caso singular es el del servicio de alquiler compartido de bicis eléctricas en el que Madrid ha sido clara pionera. En este caso, Iberdrola es su principal comercializador de electricidad y suministra a 124 de las bases del servicio, constituyendo así un ejemplo de comercialización destinada a la movilidad eléctrica urbana.



Figura 2. Iberdrola suministra energía eléctrica a BiciMAD.



Guía del vehículo eléctrico II

Respecto a sus procesos y operaciones, Iberdrola ha desarrollado un Sistema de Gestión de Puntos de Recarga propio que, gracias a su arquitectura, no sólo permite la monitorización y gestión de todos los puntos conectados a su red, tanto los propios como los de sus clientes, sino que además cuenta con un módulo de proveedores para la gestión de suministro e instalación de puntos de recarga con instaladores y fabricantes de puntos de recarga homologados y, lo que es más importante, está integrado en el sistema comercial de Iberdrola Clientes, lo que facilita los procesos de marketing y facturación.



Figura 3. Aplicación Recarga Verde Iberdrola. Página principal

El sistema permite que los clientes accedan vía Web con su PC o Smartphone a la Aplicación Recarga Verde que les permite programar sus recargas, obtener informes de las mismas con indicación de los consumos y costes, así como acceder a puntos de recarga públicos con posibilidad de conocer su estado y disponibilidad y reservarlos previamente.

Iberdrola ha desarrollado en colaboración con otros operadores la primera plataforma española de interoperabilidad para servicios de recarga que permite a todos los usuarios de servicios de recarga pública acceder progresivamente no sólo a los puntos de recarga de su operador, sino a los de todos los operadores adheridos a la plataforma sin necesidad de contar con contratos diversos.

La integración de las soluciones de recarga dentro del catálogo de productos y servicios comerciales, Recarga Verde en el caso de Iberdrola, permite su comercialización potencial a millones de clientes a través de los canales de Iberdrola en toda España y su desarrollo e implantación a gran escala gracias a acuerdos con fabricantes de puntos de recarga, instaladores homologados y a los servicios de respaldo y atención con que cuenta la red comercial.



5.5. CONCLUSIONES

Promover un desarrollo sólido del mercado de la movilidad eléctrica aconseja que la función de recarga vaya asociada a su adecuada integración en el sistema eléctrico y a la oferta de soluciones comerciales que incluyan la recarga privada (punto de recarga y energía) y la recarga pública. Por ello, las medidas e incentivos de la Administración deben asumir que los sistemas de recarga de los vehículos están en el ámbito del proveedor energético, lo que garantiza una solución más fiable para el usuario además de una mayor integración y competitividad de los servicios.

La red comercial y los sistemas de las empresas comercializadoras permiten hacer escalable la oferta y fiables las operaciones y la recarga a gran escala.

En todo caso, es altamente aconsejable que se establezcan vínculos entre comercializadoras, gestores de carga y concesionarios y marcas de vehículos para facilitar a los usuarios soluciones de movilidad eléctrica integrales e inmediatas.

Iberdrola Clientes e Iberdrola Servicios Energéticos como Gestor de Cargas del sistema desarrollan Recarga Verde Iberdrola, una solución integral de recarga para el ámbito privado y la recarga pública que permite integrar el suministro de energía limpia adaptado a las circunstancias de cada cliente.

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE MATRIZ CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

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

PROYECTO TÉCNICO

"DETERMINACIÓN DE LA AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO
MEDIANTE CICLOS CONTROLADOS"

AUTORES:

DUQUE SARMIENTO DIEGO ANDRÉS.

ROCANO YUNGA JAIME ANDRÉS.

TUTOR:

GARCÍA TOBAR, MILTON OSWALDO. M. S. C.

CUENCA - ECUADOR

Enero 2018

INTRODUCCION

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

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

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

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

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

PROBLEMA

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

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

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

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

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

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



Capítulo 1

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.

1.1. VEHÍCULO ELÉCTRICO.

1.1.1. Definición del vehículo eléctrico.

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

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

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

1.1.2. Componentes principales de un vehículo eléctrico.

Los elementos principales de un vehículo eléctrico son los siguientes:

¹ S. T. Automotrices, El vehículo Eléctrico, 2011.



Cargador

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

Batería

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

Inversores

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

1.1.3. Funcionamiento del vehículo eléctrico.

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

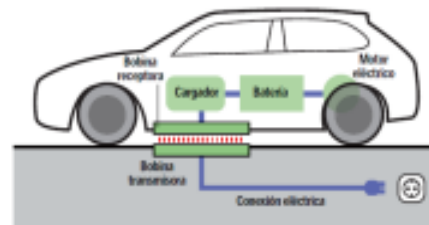


Figura 1: Coche eléctrico
Elaboración: S. T. Automotrices

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



1.1.4. Tipos de Vehículos Eléctricos.

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

1.1.5. Características de los vehículos eléctricos.

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

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

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

1.1.6. Características de los vehículos híbridos.

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

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

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



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

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

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

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

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

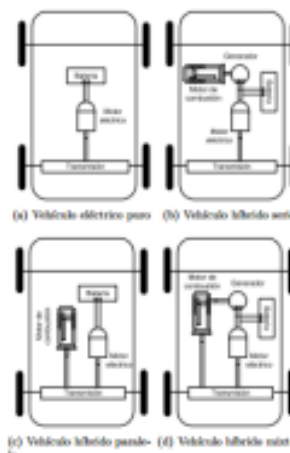


Figura 2: Estructura del vehículo eléctrico
Elaboración: S. T. Automotrices



1.1.7. Recarga de los vehículos eléctricos.

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

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

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

Puntos de recarga

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

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

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

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

Recarga en Vías Públicas.



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

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

Recarga en Parqueaderos eléctricos

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

Recarga en residencias Privadas

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

1.1.8. Estaciones de servicio eléctricas.

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



Software Emolab 2.0.1

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

Conductor

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

2.1.2. Obtención de la autonomía.

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

Recomendaciones del Estado del vehículo

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

Realización del ciclo y medición de la autonomía.

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



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

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

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

2.1.3. Método de medición del consumo de energía eléctrica.

Proceso del ensayo

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

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

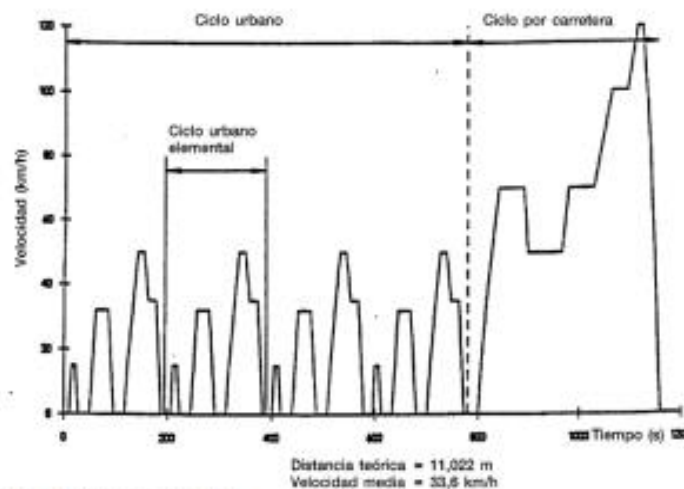


Figura 10: Secuencia de prueba

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

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



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

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

a) Ciclo urbano.

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

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

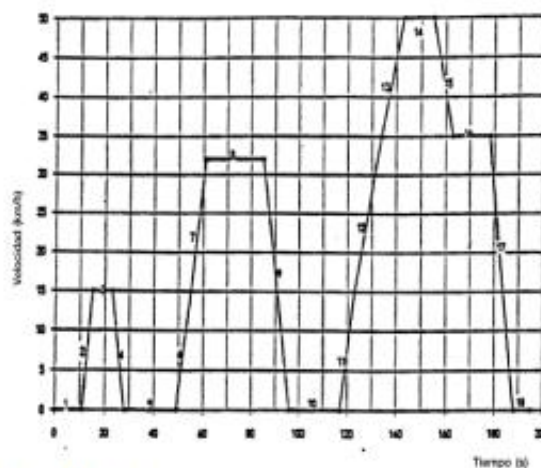


Figura 11: Ciclo urbano

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

Tabla 1. Ciclo urbano Homologado

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



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

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

Tabla 2. Recapitulación del ciclo Homologado

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

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

b) Ciclo por carretera

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

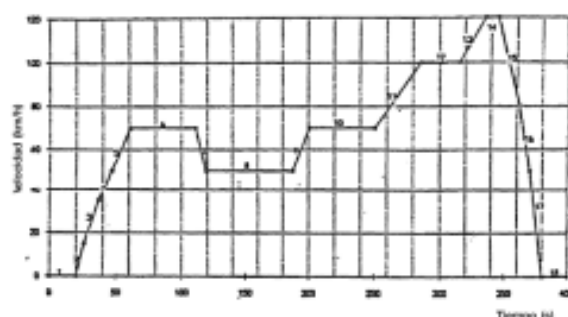


Figura 12. Ciclo por carretera

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

Tabla 3. Ciclo por carretera

Operación N°	Tipo de operación	Aceleración (m/s ²)	Velocidad (Km/h)	Duración de la operación (s)	Tiempo total (s)
1	Parada	0,00	0	20	20
2	Aceleración	0,69	0 - 15	6	26
3	Aceleración	0,51	15 - 35	11	37
4	Aceleración	0,42	35 - 50	10	47
5	Aceleración	0,40	50 - 70	14	61
6	Velocidad constante	0,00	70	50	111
7	Deceleración	-0,69	70 - 50	8	119
8	Velocidad constante	0,00	50	69	188
9	Aceleración	0,43	50 - 70	13	201
10	Velocidad constante	0,00	70	50	251
11	Aceleración	0,24	70 - 100	35	286
12	Velocidad constante	0,00	100	30	316
13	Aceleración	0,28	100 - 120	20	336
14	Velocidad constante	0,00	120	10	346
15	Deceleración	-0,69	120 - 80	16	362
16	Deceleración	-1,04	80 - 50	8	370
17	Deceleración	-1,39	50 - 0	10	380
18	Parada	0,00	0	20	400

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



Tabla 4. Recapitulación del ciclo por carretera

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

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

2.1.4. Método de ensayo.

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

Tabla 5. Parámetros, unidades y precisión de las mediciones

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

CEI = Comisión Electrotécnica Internacional

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

2.2. PROTOCOLO DE PRUEBAS

2.2.1. Ciclo NEDC.

Consumo urbano

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



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

Consumo Extraurbano

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

Consumo combinado

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

2.2.2. Ciclo EPA.

Consumo urbano



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

Consumo extraurbano

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

Fuel consumption and emission performance from light-duty conventional/hybrid-electric vehicles over different cycles and real driving tests



Yachao Wang^a, Chunxiao Hao^{a,b}, Yunshan Ge^{a,*}, Lijun Hao^a, Jianwei Tan^a, Xin Wang^a, Pengyu Zhang^c, Yuan Wang^a, Weidong Tian^a, Zhiqi Lin^c, Jian Li^c

^a National Laboratory of Automotive Performance & Emission Test, School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

^b State Environmental Protection Key Laboratory of Vehicle Emission Control and Simulation, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

^c Beijing Hyundai Motor Company, Beijing 101300, China

ARTICLE INFO

Keywords:

Hybrid vehicle
Fuel consumption
Regulated emissions
CLTC
WLTC
Real driving simulation

ABSTRACT

Many studies have found that WLTC (The Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycles) doesn't accord well to real driving in different regions and it's necessary to develop local test cycles. China announced its local test cycle in 2019: CLTC (China light-duty vehicle test cycle). To evaluate vehicle emission under different cycles, one conventional gasoline vehicle and its hybrid counterpart were tested on the chassis dynamometer following CLTC, WLTC, and RDE (Real Driving Emission). The fuel consumption between WLTC and RDE is at the same level. While for the conventional, CLTC fuel consumption is 8.41% higher than WLTC and for the hybrid, it's 20.23% lower than WLTC. To get better vehicle fuel efficiency, vehicle application scenarios must be considered. Frequent re-start and longer warm-up time of the hybrid leads to high CO emission than the conventional. High engine speed could result in instantaneous CO spikes and with these spikes, 25% of the total CO could be emitted in less than 10 s. For the conventional, NOx emitted during engine warm-up occupied 85.39%, 87.02%, 43.06%, 31.98%, and 55.43% of the total NOx respectively for CLTC, WLTC and three RDE tests. NOx emitted from the hybrid is less than 10% of the conventional due to lower engine load and less fuel enrichment. Hybrid particle emission is under good control with the equipment of the gasoline particle filter, but the regeneration might increase the particle exposure to the public. For most pollutants, CLTC doesn't close the gap between laboratory tests and real driving.

1. Introduction

Passenger or personal mobility-related fuel consumption accounted for 61% of total world transportation energy consumption in 2012. Light-duty vehicles show the largest absolute increase (15 quadrillion Btu) from 2012 to 2040 among the passenger modes of travel [1]. The global transportation sector is a major source of this health burden through its contribution to elevated fine particulate matter, ozone, and nitrogen dioxide concentrations. Transportation activities produce tailpipe emissions, evaporative emissions, resuspension of road dust, and particles from brake and tire wear [2].

Ambitious automotive emission regulations by the European Union launched Europe as a worldwide leader in the late 1990s and to date, the global car markets remain dominated by EU law or derivatives from

it [3]. Increasingly stringent emission regulations continue to reduce pollutant limits, and from gas to particle, more and more pollutants were taken into control. As part of this process, the European Union has introduced new emission regulations in 2014, replacing Euro 5 with Euro 6, and China also announced China 6 regulation in 2016. Except for the stricter pollutants limit, one of the most significant updates for the China 6/Euro 6 is that NEDC is replaced by WLTC [4]. NEDC has been criticized for being too smooth and underloaded for typical vehicle operation [5,6]. Meanwhile, China-6 regulation sets a technology neutral particle number limit for all light-duty passenger vehicles, and former studies found that acceleration and high EGR rates could result in higher particle number emission [7,8].

Pavlovic et al. found that, compared to NEDC, the fuel consumption and energy demand for WLTC is 1%–11% and 26%–44% higher

Abbreviations: WLTC, the worldwide harmonized light vehicles test cycles; CLTC, China light-duty vehicle test cycle; RDE, real driving emission; GPF, gasoline particle filter; NEDC, new European driving cycle; CNG, compressed natural gas; GDI, gasoline direct injection; TWC, three-way catalyst; BSFC, brake-specific fuel consumption; NDIR, non-dispersive InfraRed; CLD, chemi-luminescence detector; CPC, condensation particle counter

* Corresponding author.

E-mail address: geyunshan@bit.edu.cn (Y. Ge).

<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118340>

Received 11 April 2020; Received in revised form 27 May 2020; Accepted 6 June 2020
0016-2361/ © 2020 Elsevier Ltd. All rights reserved.

respectively. The higher vehicle inertia and road loads along with the higher vehicle speeds are the key parameters that contribute to the increased CO₂ emissions and vehicle energy demand [9,10]. Bielaczyc et al. also concluded that significantly increasing vehicle inertia has a noticeable impact on energy demand and hence the CO₂ emission/fuel consumption gap between NEDC and WLTC [11]. The significant difference in other pollutant emissions is also found between NEDC and WLTC, and both increases and decreases from the NEDC baseline were observed [11–13].

NEDC, WLTC, or other test cycles may not accord well to the local real driving condition. It is found that there is a significant gap between laboratory tests and real driving in both fuel consumption and pollutants emission. For the conventional, Duarte et al. found that the RDE fuel consumption was on average 23.9% and 16.3% higher than certification values of NEDC and WLTC respectively [14]. Rašić et al. get a similar conclusion: the CO₂ emissions of both RDE-based routes were above the type-approval limits with CNG exceeding the type-approval limits by 6–35% and with gasoline exceeding the type-approval limits by 66–85% [15]. With three hybrid diesel vehicles tested, Franco et al. reported the on-road CO₂ emissions were higher than the certification values by 52%–178% [16]. Different driving style during the RDE tests also has a significant influence on the test results [17–19]. Many researchers are trying to make the local driving cycle [20–23] and China also announced CLTC in 2019 [24]. Moreover, both the EU and China have taken RDE test as part of the vehicle certification.

Imdat et al. have found that hybrid-electric vehicles are more economical than conventional vehicles although they produce almost the same power [25]. Using thermoelectric elements, the energy recuperation from heat to electricity in the exhaust, also shown its potential to improve the vehicle economy [26]. Compared to conventional gasoline vehicles, hybrid-electric vehicles could reduce the cold-start extra emissions by 30% to 85% [27], but a large amount of pollutants are emitted during the cold-start period. With one hybrid hydrogen-gasoline engine-powered passenger car tested under NEDC, Changwei, et al. found that starting an SI engine with H₂ is effective in reducing HC and CO emissions [28].

To find out whether CLTC could close the gap between laboratory tests and real driving, one gasoline passenger vehicle and its hybrid electric counterpart from same model series were tested following CLTC, WLTC, and RDE. Fuel consumption (counted in g/km CO₂) and emissions (CO, NO_x, and PN) performance were analyzed. RDE tests were simulated on the chassis dynamometer so that the reproducibility and comparability could be ensured. This paper also provides some advice for GPF regeneration strategy and the public exposure to thin particles emitted during GPF regeneration could be reduced.

2. Materials and methods

2.1. Vehicle information

One conventional vehicle and its hybrid counterpart from the same model series with the same dimensions were tested. The conventional vehicle is powered by a gasoline internal combustion engine while the hybrid is equipped with the hybrid electric power system. The conventional gets a more powerful engine than its hybrid counterpart and the curb weight for the hybrid is heavier because of extra mass from the battery and electric motor. Vehicles are under good maintenance. Table 1 shows the main characteristics of the test vehicles.

2.2. Description of the test cycles

Vehicles were tested under CLTC, WLTC, and three RDE tests. CLTC is developed depending on the real driving condition of China and it is composed of three phases (low speed, medium speed, and high speed). WLTC is composed of four phases (low speed, medium speed, high speed, and extra-high speed). Both WLTC and CLTC consists of 1800 s.

Table 1
Main characteristics of the test vehicles.

	Conventional	Hybrid
Curb weight (kg)	1317	1545
Engine type	Gasoline, 1.6L, GDI, N/A,	Gasoline, 1.6L, GDI, N/A,
	95.3 kW@6300 rpm	77.2 kW@ 5700 rpm
Exhaust after-treatment	TWC	TWC + eGPF
Emission category	China-6	China-6
Electric motor power (kW)	–	25.4
Battery voltage(V)	–	350
Battery capacity(Ah)	–	37

Compared to the WLTC, CLTC gets a lower speed and acceleration.

Three RDE tests were conducted on the same route (located in Beijing, China) with different set-out times in the normal workday and the boundary conditions are within China-6 RDE regulation. The instantaneous vehicle speed and the altitude information of the three tests were recorded and with this information entered into the control system of the chassis dynamometer, the RDE tests could be simulated on the chassis dynamometer. Simulating the RDE tests on the dynamometer could ensure reproducibility and comparability of the test results. Fig. 1 presents the velocity profiles for the test cycles.

The specific information about the test cycles is presented in Table 2. MAX V*A represents maximum “speed multiply by acceleration”. The average speed of the CLTC three periods is much lower than the RDE tests. For urban driving, RDE is 39.65%–92.28% higher than CLTC (low speed period). For rural, RDE is 141.43%–145.57% higher than CLTC (medium speed period). For motorway, RDE is 97.68%–104.18% higher than CLTC (high speed period). Compared to CLTC, WLTC has a similar average speed with RDE tests.

2.3. Experimental section

With the time-solved speed and altitude profile, described in Section 2.2, entered into the control system of the chassis dynamometer, the real driving emission tests could be simulated on the chassis dynamometer. The road load coefficients are provided by the vehicle manufacturer. The cold-start was achieved either by cooling the vehicle with an overnight soak or by implementing a forced cool-down with the cooling fan and the hybrid battery state of charge is set to the equilibrium battery level [29]. Test temperature is around 20 °C. The fuel used for the test is purchased from a certain supplier. The Normal mode, rather than Sport or Economic mode is used for the test. China-6 regulation set CO, NO_x, and PN limits for RDE tests, so these pollutants were measured during the tests [4].

HORIBA OBS-ONE, one PEMS certified by the authority, is used for the emission analysis. HORIBA OBS-ONE uses the heated NDIR analyzer to measure CO and CO₂ and CLD is used to measure NO_x concentration. For the gaseous pollutants, the analyzer sample flow rate is around 2.5 L/min. Particle number is measured by CPC and the sample flow rate is 0.7 L/min. Both the gaseous pollutants and particles were measured in volume concentration. With Pitot (pressure difference), exhaust pressure, and temperature measurement, the exhaust flow rate could be determined. Table 3. illustrated measure precision. The validation test was conducted to make sure that the emission analyzer is in good situation. The analyzer was calibrated with blend gas which has specific concentrations to make sure that zero-drift and pollutants reading were within the regulated ranges. Fig. 2 illustrated the schematic diagram of the test system.

2.4. Data processing

Since the boundary condition of the moving average window



Does electric car knowledge influence car choice? Evidence from a hybrid choice model

Marco Giansoldati^{*}, Lucia Rotaris, Mariangela Scorrano, Romeo Danielis

Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche "Bruno de Finetti" Università Degli Studi di Trieste, Via Dell'Università, 1, 34123, Trieste, Italy

ARTICLE INFO

JEL classification:

R40
R41
R48

Keywords:

Electric car knowledge
Hybrid choice models
Electric cars
Petrol cars

ABSTRACT

We present the results of a stated preference study undertaken in Italy in 2017 on individuals' preferences between an electric car (EC) and a petrol car, with the purpose of assessing the impact of the latent variable EC knowledge on purchasing decisions. We estimate a multinomial, a mixed and two hybrid mixed logit models, with the interaction between EC knowledge, car attributes and additional exogenous covariates. We use three measurement equations to estimate the self-assessed car knowledge, assessed EC knowledge and EC driving experience. We report three main findings. First, the inclusion of EC knowledge improves our capability to explain car choice. Second, the degree of EC knowledge does not change the negative perception respondents have, *ceteris paribus*, on ECs. Third, the level of EC knowledge influences the importance placed on the attributes of the choice model. Specifically, a higher level of EC knowledge is associated with a lower concern with fast charging station density. Our results are useful for car manufacturers who wish to improve their marketing strategies through tailored advertising efforts, and for policy makers who wish to implement educational campaigns as a means to foster EC uptake.

1. Introduction

The choice of an EC stems from a cognitive and emotional relationship between the potential buyer and the car. Such a relationship emerges from the interaction amongst a series of factors, including the marketing policies of car manufacturers, clients' interest and cognitive effort, and the informational campaigns on sustainable mobility enacted by the policy makers at both the national and local level. Car manufacturers actively promote their cars and inform customers through advertising campaigns, dealers, or specific programs aimed at educating consumers on the technical and functional characteristics of their endothermic vehicles. Beyond their informational value, these campaigns build consumers' loyalty and differentiate products by highlighting their innovative content.

In the transportation economics literature, hybrid choice models (HCMs) help explore the role of attitudes and perceptions in transport decisions. A pioneering contribution is provided by Daziano and Bolduc (2013), who study how Canadian consumers' choice among four alternative powertrain technologies is affected by a latent variable aimed at capturing environmental awareness. Their empirical results confirm that environmental-conscious consumers are willing to pay more for

low-emission vehicles. A similar outcome is found by Jensen, Cherchi, and Mabit (2013), who analyze how the individual attitudes towards the environment shape the choice between an electric and a conventional car, before and after a three-month real driving experience with an electric vehicle (EV). The importance of latent variables is confirmed by Kim, Rasouli, and Timmermans (2014), who study consumers' intention to buy an EC accounting for the role of five latent variables: environmental beliefs toward ECs, economic aspects, battery aspects, perception on the ECs' technological stage of development, and innovation value. Some years later, Kim, Rasouli, and Timmermans (2016) study the impact on car buying intentions of environmental, battery and innovation-related perceptions. Glerum, Stankovikj, Thémans, and Bierlaire (2014) analyze how a pro-leasing and a pro-convenience attitude influence individual preferences. Valeri and Cherchi (2016) investigate the role of habits, measured by the frequency of car trips per week, car as a main transport mode, and a self-assessed car knowledge. Cherchi (2017) focuses on the impact of both informational and normative conformity in users' choices. Soto, Cantillo, and Arellana (2018a) analyze how environmental concern, pro-technology attitudes and pro-car use attitudes influence car choice. Krause, Carley, Lane, and Graham (2013) analyze the effect of misunderstandings or

^{*} Corresponding author.

E-mail addresses: mgiansoldati@units.it (M. Giansoldati), LUCIA.ROTARIS@deama.units.it (L. Rotaris), macorrano@units.it (M. Scorrano), ROMEO.DANIELIS@deama.units.it (R. Danielis).

<https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100026>

Received 21 February 2019; Received in revised form 23 December 2019; Accepted 18 February 2020

Available online 10 March 2020

0739-8859/© 2020 Elsevier Ltd. All rights reserved.

misperceptions about selected EC characteristics, using however an OLS model instead of an HCM.

Taking advantage of an exploratory stated choice survey carried out in 2017 in an Italian region, the Friuli Venezia Giulia Region, this paper adds to the literature by specifically focusing on the role of EC knowledge in determining car choice. Our assumption is that, since ECs are a new product, subject to high uncertainty, the level of knowledge of ECs might play an important role. In fact, ECs are subject to technological (e.g., car performance in different traffic conditions, battery degradation, battery charging, range limitations), economic (e.g., residual value, energy efficiency) and political (e.g., EC and infrastructure incentives and regulation connected with their environmental properties) uncertainty, which could, to some extent, be reduced by proper information. The latent variable EC knowledge is measured in this paper through three indicators, i.e. self-assessed car knowledge, "objective" (assessed) EC knowledge, and EC driving experience. At the time of the survey, in Italy the general level of EC knowledge was probably low, since Italy was still in the early days of EC uptake. In the following years, various government policies (purchase subsidies, free parking and unconstrained access to limited traffic zones) enhanced the level of EC penetration and several traditional and social media discussed with more detail and precision the ECs' pros and cons.

The findings of the paper, although based on an admittedly limited sample ($N = 200$), could be useful at least for three reasons. First, they shed light on the relationship between EC knowledge and purchase choice. Second, they help car manufacturers in defining their marketing strategies eventually enhancing their informational content. Third, they provide suggestions to policy makers to use educational campaigns as a tool to foster EC uptake.

The remainder of the paper is organized as follows. Section 2 describes the stated choice experiment and the data collection process, providing descriptive statistics of the sample. Section 3 illustrates the modelling framework and Section 4 discusses the results. Section 5 concludes, highlights shortcomings of the study, and provides indications for future research.

2. Stated choice experiment and descriptive statistics

The hybrid mixed logit model is estimated with data deriving from interviews administered in 2017 in the Friuli Venezia Giulia Region, located in the Northeast of Italy.

The interviews are made up of a questionnaire divided into two sections. In the first section we asked the respondent to supply socio-economic information, including: 1) personal data; 2) car and garage ownership; 3) mobility habits; 4) car knowledge and attitude towards ECs. In the second section we propose to respondents 10 choice scenarios as illustrated in Fig. 1. Based on Coffman et al. (2017) and Liao, Molin, and van Wee (2017) we characterize each scenario using as attributes brand, purchase price (€), annual operating cost (gasoline, insurance, tax, maintenance) (€), driving range (km), and the percentage of fuel service stations endowed with fast electric charging capability. This choice obviously disregards many other choice determinants discussed in the literature, such as charging times and costs, safety, with specific reference to the risk of fire deriving from a large battery, ambiguity on expenses required to install a wall box at home, especially for individuals who live in a condo with shared parking facilities, uncertainty on the environmental effects stemming from the use of an EC and of battery disposal, resale value, availability of capable repair assistance and uncertainty on their costs, just to name a few.

Therefore the impact of these omitted variables will be captured in the alternative specific constant and in the latent variables.

Each scenario is characterized by two car models chosen from the 4 best-selling EC and their petrol equivalent in the Italian market. The ECs are the VW E-Golf equipped with a 35.8 kWh battery, the Renault Zoe, the Nissan Leaf and the Daimler Smart forfour EQ, whilst the petrol car are the VW Golf, the Renault Clio, the Nissan Pulsar and the Daimler

Smart forfour. The Status Quo (SQ) attribute levels for each car are set equal to the Italian average values as reported in Table 1. They are varied as follows: i) four brands; ii) purchase price: -20%, SQ, +20%, +40%; iii) driving range: SQ, +20%, +40%; iv) annual operating cost: -20%, SQ, +20%; v) the percentage of fuel service stations equipped with fast electric charging capability: SQ, +30%, +50%. The SQ for the annual operating costs attribute are based on Danielis, Giansoldati, and Rotaris (2018). We used an efficient experimental design strategy in two different waves with the aim of minimizing the asymptotic standard error (Bliemer & Rose, 2010, 2011; Huber & Zwerina, 1996; Yu, Goo, & Vandebroek, 2009).

We use three survey channels: Google-Forms (110 valid responses), 22 face-to-face interviews, and 68 collective paper-and-pencil interviews, for a total of 200 valid interviews. We test whether the results are dependent on the channel used, finding no statistical difference.¹ As suggested by an anonymous reviewer, potential self-selection might have occurred especially in the first channel we used to collect the data.

The sample of individuals we analyze is quite heterogeneous. Its features are summarized in Table 2.

Two thirds of the respondents live in urban areas and most of them own a garage. Car knowledge is measured through a self-assessment via a Likert scale that ranges from 1, i.e. none, to 7, i.e. very high. More than 40% of the respondents declare to have a quite good knowledge of cars in general. As far as EC knowledge is concerned, half of respondents have a good knowledge, since they provided a correct answer to questions about ECs' range and charging time. Yet, only 18% had a direct driving experience. Compared to our sample, the actual population of Friuli Venezia Giulia is less educated, with a mere 15% holding a graduate or a postgraduate degree (year 2018), is less wealthy, with circa 98% earning no more than 75,000 Euros per year (year 2017), and is much older, with 36% of inhabitants aged 61 or more (year 2017).

3. Modelling framework

Following Soto, Márquez, and Macea (2018b, pp. 70–72), the individual-specific latent attribute car knowledge (η) is described by the structural equation (1). It contains the individual socioeconomic features (S_{iq}), where q refers to the respondents, i to the propulsion system and r to an explanatory variable. α are parameters to be estimated, whilst v_{iq} are error terms with zero mean.

$$\eta_{iq} = \sum_r \alpha_r S_{iqr} + v_{iq} \quad (1)$$

We modelled the measurement equation as an ordered logit model, where each discrete choice response k is obtained from the individual-specific latent attribute plus an error term via a censoring mechanism that identifies different categories of response. The categorical response in the indicator Z_{iq} is defined as a set of thresholds parameters (τ) to be estimated.

$$Z_{iq} = \begin{cases} 1 & \text{if } (-\infty) < Z_{iq}^* \leq \tau_1 \\ 2 & \text{if } \tau_1 < Z_{iq}^* \leq \tau_2 \\ 3 & \text{if } \tau_2 < Z_{iq}^* \leq \tau_3 \\ \dots & \dots \\ K & \text{if } \tau_{K-1} < Z_{iq}^* \leq \infty \end{cases} \quad (2)$$

¹ In order to control for possible different outcomes stemming from the data collection method, we included in our preferred estimations a categorical variable that takes the values of 1, 2, and 3 if the survey was administered via Google-Forms, face-to-face, and paper-and-pencil interviews, respectively. Results not reported here for the sake of brevity show that the collection method has no significant impact on the estimated coefficients.

Attributes	Powertrain:	
	VW Ego! kWh 35.8	Renault Clio
	Electric	Internal combustion
Purchasing price (€)	20,000	15,000
Driving range (km)	Km 150	Km 400
Annual operating cost (per 10,000 km)	2,500	5,000
% of service stations with fast charging infrastructures	30%	

Fig. 1. Example of state preference choice proposed to the respondent.

Table 1
Status quo for the main attributes of the eight selected cars.

Attributes	Daimler Smart forfour EQ	VW Golf	VW Ego! kWh 35.8	Renault Clio	Renault Zoe	Nissan Pulsar	Nissan Leaf	Daimler Smart forfour
Purchase price (€)	24,559	20,400	37,600	16,350	33,250	18,090	30,690	12,960
Driving range (km)	145	610	300	714	300	1000	199	428
Annual operating cost (€)	1791	3396	1666	2008	1679	2859	1750	3049

Table 2
Summary statistics of the sample.

Socio-economic information			
Gender		Current employment	
• Males	52.0%	• Employee	41.5%
• Females	48.0%	• Managerial employee	7.5%
Age		• Entrepreneur	10.5%
• From 18 to 30	43.5%	• Student	24.5%
• From 31 to 60	54.0%	• Working-student	3.5%
• More than 60	2.5%	• Retiree	2.0%
Level of education		• Housewife	3.5%
• Middle school	4.0%	• Unemployed	0.5%
• High school diploma	41.0%	• Other	6.5%
• Undergraduate degree	48.5%	No. of owned cars in the family	
• Postgraduate degree	6.5%	• 0 cars	0.5%
Net yearly household income		• 1 car	18.5%
• Less than €30,000	30.5%	• 2 cars	51.5%
• Between €30,000 and €70,000	49%	• 3 cars	19.5%
• More than €70,000	20.5%	• 4 cars	7.5%
Place of residency		• 5 cars	2.5%
• Urban	68%	Availability of a garage or car box	
• Non-urban	32%	• Yes	83%
Self-assessed car knowledge		• No	17%
Reply to the following question "How much do you know about cars?" Likert scale from a minimum of 1 (no knowledge) to a maximum of 7 (car expert)		Attitude towards EC	
		ECs' knowledge (our elaboration on respondents' knowledge on ECs' driving range and minimum time required for a full charge)	
• Reply 1	10.5%	• Scarce	55.5%
• Reply 2	9.5%	• Good	44.5%
• Reply 3	19%	ECs' driving experience	
• Reply 4	20%	• Yes	13%
• Reply 5	25.5%	• No	86.5%
• Reply 6	12%	• Missing	0.5%
• Reply 7	3.5%		

$$Z_{it}^* = \gamma_i \eta_{it} + \zeta_{it} \tag{3}$$

Equation (4) provides the utility function of the HCM. A_{it} is the alternative-specific constant, which, in our case, captures the effect of the electric propulsion system, *ceteris paribus*, whilst we need to estimate the parameters θ , β , and φ , which are associated with the design attributes X_{it} and the individual-specific latent attribute η_{it} .

$$U_{it} = A_{it} + \sum_x \theta_x X_{it} + \beta_i \eta_{it} + \sum_{\varphi} \varphi_{\varphi} X_{it} \eta_{it} + \varepsilon_{it} \tag{4}$$

Assuming that the error term ε_{it} is i.i.d., then the differences between the utilities of the alternatives follow a logistic distribution, leading to the well-known multinomial logit model (MNL).

Table 3 shows in the first part the metrics used to describe the attributes of the hypothetical alternatives – which embrace both dichotomous and continuous variables – in the second part the socio-economic characteristics – which enter the model as dummy variables – and in the third part the metrics employed to measure the latent variable, *EC knowledge*, which is itself described by three variables and an equal number of measurement equations. The measurement indicator of the variable representing the respondents' self-assessed level of car

Table 3
Variables used in the model.

Group	Variable	Type	Description
Design attributes	Volkswagen brand/model	Dummy	1: car branded VW; 0: otherwise
	Renault brand/model	Dummy	1: car branded Renault; 0: otherwise
	Nissan brand/model	Dummy	1: car branded Nissan; 0: otherwise
	Purchase price	Continuous	€1000
	EC Range	Continuous	Km 100
	Non-EC Range	Continuous	Km 100
Socio-economic characteristics	Annual operating costs	Continuous	€1000
	% of fuel stations with fast charging stalls	Bounded	Percentage
	Gender	Dummy	1: female; 0: male
	Employed	Dummy	1: employed; 0: other
Measurement indicators	Garage	Dummy	1: garage owned; 0: other
	Self-assessed car knowledge (1-7)	Ordinal	1: lowest; 7: highest
	Assessed EC knowledge (0-1)	Ordinal	0: assessed; 1: not assessed
	EC driving experience (0-1)	Ordinal	0: driven; 1: not driven

knowledge, (*Self-assessed car knowledge*), ranges from a minimum of 1, which indicates the total absence of knowledge, to a maximum of 7, which instead indicates an individuals' perception to be a car expert. The measurement indicator of the variable "objective" knowledge, (*Assessed EC knowledge*), is defined on the basis of the respondent replies to two questions, i.e. 1) "Which is the maximum driving range of an EC?" and 2) "What do you think is the minimum time required to charge an EV?" The replies were classified as correct or incorrect considering whether they were reasonable based on the prevailing technological condition at the time of the interview. In order to classify for EC knowledge both replies had to be correct. The measurement indicator takes the value of 0 if the respondent provided a correct reply, and 1 otherwise.² The measurement indicator of the variable describing the respondents' previous EC driving experience, (*EC driving experience*), ranges from 0, which indicates that the respondent has at least once driven an EC, to 1, which indicates that the respondent has never driven one.

Fig. 2 shows the final structure of the HCM, i.e. the one with the largest set of significant parameters and the highest explanatory power. We tested several covariates including the purchase price, driving range, annual operating costs, density of charging stations with fast charging, plus a series of characteristics associated with the household, i.e., age, gender, level of education, current employment, net yearly income, place of residency, number of cars owned in the family, availability of a garage, number of yearly return trips by car over 400 km, EC's knowledge, driving experience and purchase intentions.

4. Results

We estimate four discrete choice models (Table 4). We start with a simple binary choice model (although we will use the more general term, MNL) to evaluate how the vehicle attributes and the fast charging network density impact respondents' utility. All attributes have the expected sign. The alternative specific constant EC (*ASC_EC*) is statistically significant and reveals that respondents' utility decreases if the car is electric-powered, meaning that, *ceteris paribus*, attributes other than those specified in the model negatively affect the utility that respondents derive from an EC. They are most likely associated with psychological barriers, technological mistrust, charging constraints and safety concerns. Concerning the financial costs, the *Purchase price* is 95% significant, whereas the *Annual operating costs* is only 90% significant. Such a difference (confirmed across model specifications) signals a greater attention to the higher immediate lump sum cost associated with the purchase of an EC relative to a non-EC than to the relative savings in term of operating cost during the ownership period. With reference to the driving range, the *Non-EC range* coefficient is much lower than that of the *EC-range*, in line with previous findings by Giannolatti, Daniela, Rotaria, and Scorrano (2018) and Valeri and Danielis (2015). We also find a strong brand/model effect. Respondents, in fact, significantly prefer the Volkswagen Golf and to a lesser extent the Renault Zoe relative to the omitted Daimler Smart forfour. They are indifferent between the Nissan Leaf and the Daimler Smart forfour, regardless of their different size. Motivations connected with esthetics and use (the Smart forfour is a very successful car in Italy due to its size that fits well in the narrow streets of the Italian cities) are likely to explain this result.

Next, we allow for randomly-distributed parameters in order to capture preference heterogeneity among individuals. We tested several specification and report the one with the best fit. Two variables, *ASC_EC* and *Purchase price*, exhibit a significant heterogeneity level. Overall, the goodness of fit of the model improves: the log-likelihood (LL) values at convergence increase from -1315 to -1259 and both the AIC and BIC

² In a similar fashion, Simsekoglu et al. (2018, p. 72) measure Norwegian level of EC knowledge on the basis of the replies provided to a set of 11 questions on technical aspects about electric cars.

statistics decrease.

The third and fourth model specifications incorporate the latent variable EC knowledge: the hybrid mixed logit (HMXL) model accounts only for the latent variable, while the fourth model (HMXL with interactions) estimates the interaction between the latent variable and the variables representing the *ASC_EC*, the *Volkswagen brand/model* and the *% of fuel stations with fast charging stalls*. This latter specification results from several tests on alternative specifications. Because of their entirely new set of parameters, the hybrid models are not directly comparable with the former two models. What is decisive is the log-likelihood of the choice model only (see Walker & Ben-Akiva, 2002 and Schmid & Axhausen, 2019 for details). Table 4 shows that the LL (choice) value drops to -1256 and to -1240, respectively. The implication is that the introduction of the latent variable *EC Knowledge* improves the ability of the model to explain respondents' choice. The improvement is higher when the latent variable is interacted not only with the *ASC_EC* but also with the variables *Volkswagen brand/model* and *% of fuel stations with fast charging stalls*.

More in detail, the positive parameter associated with the *LV * ASC_EC* variable in the HMXL model indicates that a higher *EC knowledge* reduces the aversion towards ECs. In fact, the *ASC_EC per se* reduces utility by 1.036, a value that is partly offset by the *LV* component equal to 0.102. This point illustrates the ability of a hybrid model to disentangle heterogeneity. The HMXL with interactions further clarifies that *EC knowledge* significantly strengthens the preference for the *Volkswagen brand/model* versus the *Daimler Smart forfour* and reduces the sensitivity to the *% of fuel stations with fast charging stalls*. The structural model indicates that gender and occupation are related with the *LV EC knowledge*: *EC knowledge* is higher with employed men. As to the measurement model, the three indicators (*Self-assessed car knowledge*, *EC driving experience*, and *Assessed EC knowledge*) are positively correlated to the *LV EC knowledge*. Almost all thresholds of the ordered logit model related to self-assessed level of knowledge are statistically significant, signaling that they are correlated with *EC knowledge*. A similar result holds for the *EC driving experience* indicator. On the contrary, the measurement indicator *Assessed EC knowledge* is not statistically significant, meaning that the questions we used to assess *EC knowledge* suffer from uncertainty.

To the best of our knowledge, no publication has so far explicitly analyzed the determinants of EC knowledge, despite a recent attempt provided by Anfinnen, Lagesen, and Ryghaug (2019) for Norway. They explore the role played by gender in the emerging culture of EVs and show that despite both women and men see the driving experience as a learning process, men are sometimes considered driving more and thus more competent EV drivers.³ Again for Norway, Govacool, Kester, Noel, and de Rubens (2019) find that men reported greater usage rates for cars and EVs than women, proving that the allegedly masculine preference for conventional cars is fading. On the contrary, the relationship between gender and car knowledge has been investigated by Polk (2004), Simićević, Milonavićević, and Djoric (2016), Guerra, Caudillo, Goytia, Quiroa, and Rodriguez (2018), and Tilley and Houston (2016) finding that men tend, in some countries, to use cars more than women, thus gaining more knowledge, although Tilley and Houston (2016) provide evidence of opposite trends in the UK. Further, we find that employed individuals are more likely to have car knowledge than unemployed respondents. It is plausible that respondents who have a job, *ceteris paribus*, are more likely to rely on a means of transportation to go to

³ Despite not directly connected with the association between EC knowledge and gender, it is worth recalling here the work by Krause et al. (2013) who show, amongst a set of socio-demographic features, that respondents who are male, express a higher stated intent to purchase a battery electric vehicle. In a similar fashion Kim et al. (2014) report that males tend to be more interested in the latest technological than females, and show a higher preference to purchase ECs than females do.

Análisis de motores utilizados en vehículos eléctricos

Fernando Patricio Miño Montaña

Universidad Internacional SEK

Nota de Autor

Fernando Patricio Miño Montaña, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Internacional

SEK; Director Santiago Celi.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

patomino91@gmail.com.

Resumen

En el presente documento se describen todos los tipos de motores eléctricos utilizados en vehículos, de los cuales se tomaron cinco motores, que son los más empleados. Estos motores son los siguientes: motor asíncrono de jaula de ardilla, de rotor bobinado, motor síncrono de imanes permanentes, motor de reluctancia variable y motor de flujo axial. Se realizó una descripción detallada, tal es el caso de las relaciones de dimensionamiento que propuestas por Tesla Motors, forma de las conexiones eléctricas del bobinado y complementos que ayudan al motor a tener un mejor desempeño como lo son el uso de los escudos de flujo. En el caso de Mitsubishi Motors se realizó una descripción grafica de cómo está compuesto el motor eléctrico, forma del estator y del rotor.

Debido al análisis realizado con anterioridad de los tipos de motores utilizados en vehículos, se tomó la decisión de diseñar un motor de inducción con rotor jaula de ardilla, por sus favorables ventajas y por ser utilizado por la mejor compañía en fabricación de vehículos eléctricos en la actualidad Tesla Motors. Se obtuvo datos favorables en términos de par motor y potencia del motor eléctrico. Se realizaron una serie de tablas donde están los principales datos como los son el amperaje, voltaje, densidad de campo magnético, dimensiones del estator y del rotor, resistencia del bobinado, incluyendo una ficha técnica del motor diseñado y planos de fabricación tanto de la ranura del estator como la del rotor.

Introducción

Los motores eléctricos son tan antiguos como los motores de combustión interna, pero debido al gran consumismo de los derivados del petróleo existente en la víspera de la primera Guerra Mundial el desarrollo y aplicación durante esos años no tuvo mayor impacto social.

En un motor térmico durante la combustión genera mucho calor el cual no es aprovechable y se necesitan muchas piezas móviles para transmisiones de movimiento, produciendo pérdidas por calor y fricción. Por otro lado los motores eléctricos pueden trabajar a muy bajas revoluciones lo cual es imposible para un motor de combustión interna, el cual a ralentí trabaja a unas 700 rpm, por debajo de ese valor tienden a fallar.

Un motor impulsado por energía eléctrica no solo es más eficiente en cuestiones de transmisión de trabajo y potencia, al no utilizar derivados del petróleo estos no producen ningún tipo de contaminantes al medio ambiente.

El motor eléctrico está compuesto por las siguientes partes:

Carcasa

Esta rodea la parte exterior del estator, protegiendo del medio ambiente el interior del motor eléctrico.

Estator

Es estator compone la parte fija de la máquina y tiene forma de cilindro hueco.

Yugo del estator

El yugo o núcleo del estator es la parte que no presenta perforación alguna, se encuentra ubicado por encima de las ranuras y los dientes del estator.

Dientes del estator

Forman parte del núcleo o yugo del estator, son laminaciones dirigidas hacia el centro de del motor eléctrico. Se encuentran entre las ranuras del estator.

Ranuras del estator

Son perforaciones situadas entre los dientes del estator.

Rebordes

Son pequeñas extensiones que se encuentran en las esquinas de las ranuras, estas aparecen dependiendo del tipo de ranura que se lo haga al núcleo del estator.

Rotor

Se coloca en el interior del estator y es la parte móvil del motor eléctrico.

Yugo del rotor

Es la parte que no presenta perforación alguna, se encuentra ubicado por debajo de las ranuras y los dientes del rotor.

Dientes del rotor

Forman parte del núcleo o yugo del rotor, son laminaciones dirigidas hacia el exterior de del motor eléctrico. Se encuentran entre las ranuras del rotor.

Ranuras del rotor

Son perforaciones situadas entre los dientes del rotor.

Puente

Es la unión que existe entre los extremos de una ranura. Dependiendo del criterio del constructor estas pueden o no ser empleadas en el diseño.

Barras de rotor

Son barras o varillas generalmente de cobre u otro material altamente conductores como el aluminio. Se sitúan dentro de las ranuras atravesando por completo el rotor.

Anillos externos

Son elaborados generalmente de cobre. Se ubican en los extremos del rotor de tal forma que entren en contacto con las barras y son utilizados para crear un cortocircuito entre ellas.

Entrehierro

Entre el estator y el rotor existe una distancia denominada entrehierro, esta impide que entren en contacto entre sí. En el entrehierro tienen lugar los fenómenos electromagnéticos que permiten la conversión de energía eléctrica a mecánica o viceversa.

Polos magnéticos

Los polos magnéticos van siempre en parejas, de esta forma se encuentran el polo norte o polo positivo y el polo sur o polo negativo. Por lo general están en el estator, y son los encargados de generar el flujo magnético ya sea por imanes permanentes o electroimanes como se aprecia en la siguiente figura.

Debido a los gases provenientes de los motores de combustión interna los cuales producen un grave impacto medio ambiental a nivel mundial y a la reducción de costo que ha sufrido el petróleo actualmente, grandes países están optando por el uso e implementación de energías alternas.

En Ecuador con la pronta culminación de ocho grandes proyectos hidroeléctricos, las cuales producirán más del 90% de la energía del país, teniendo como una de las principales la hidroeléctrica Coca-Codo Sinclair la cual generará 1500 Megavatios, es una oportunidad idónea para aprovecharla en aplicaciones en vehículos, tal es el caso de los motores eléctricos.

El objetivo de la presente investigación es analizar los tipos de motores empleados en los vehículos eléctricos, utilizando la investigación explicativa y el diseño, para proporcionar al lector conocimientos generales como específicos acerca del funcionamiento y ventajas de este tipo de motores.

Comparar los resultados obtenidos con los datos suministrados por Tesla Motors para determinar si los materiales empleados en la construcción de los motores eléctricos, influyen de gran manera en el desempeño.

Antecedentes

El primer vehículo eléctrico tuvo sus inicios en el año de 1835 el cual fue diseñado por Sibrindus Stratingh, para después ser construido por su asistente Christopher Becker en Groningen, Holanda (Chuncusig, 2014).

Chuncusig afirma que “Los primeros vehículos eléctricos utilitarios fueron construidos por Thomas Davenport y Robert Davison en 1842, con el problema de que estos no tenían baterías recargables, por lo que su funcionalidad fue limitada”.

La primera aplicación comercial para vehículos eléctricos fue desarrollada en New York, en 1897, por la Electric Carriage and Wagon Company de Philadelphia, con la creación de una flota de taxis eléctricos (Figura 1), que llegó a contar con un número de 100 unidades aproximadamente, ampliándose más tarde a otras ciudades norteamericanas (Larminie & Lowry, 2003).



Figura 1. Flota de taxis eléctricos en New York (Chuncusig, 2014, pág. 9).

Los primeros vehículos eléctricos de la década de 1830 utilizaban baterías no recargables. Cincuenta años después, las baterías se desarrollaron lo suficiente como para ser utilizadas en vehículos eléctricos comerciales. A finales del siglo 19, con la producción en masa de las baterías recargables, los vehículos eléctricos se hicieron ampliamente utilizados (Larminie & Lowry, 2003).

La Figura 2, muestra el vehículo eléctrico conocido como 'La Jamais Contente', conducido por piloto de carreras Belga Camille Jenatzy, estableció un nuevo récord de velocidad de 106 kph (Larminie & Lowry, 2003).

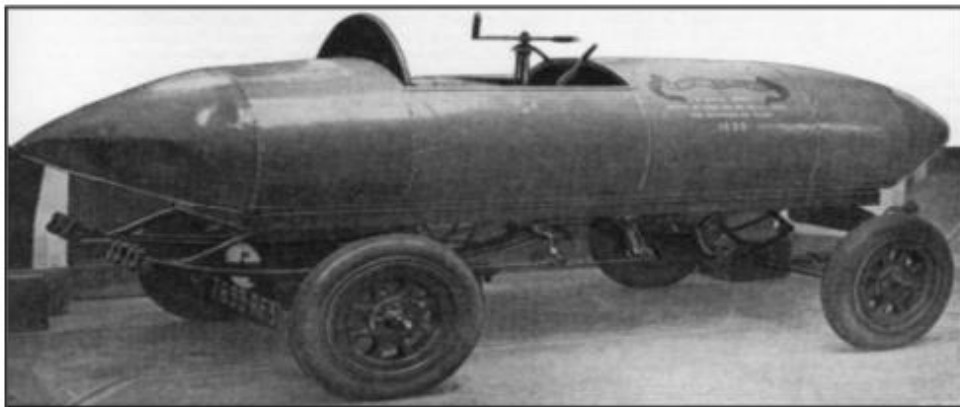


Figura 2. Primer auto eléctrico que estableció nuevo récord de velocidad en 1899 (Larminie & Lowry, 2003, pág. 2)

Ferdinand Porsche entre 1898 y 1906 desarrolló un sistema de propulsión que consistía en montar los motores directamente en las ruedas logrando minimizar las pérdidas energéticas y reducía el número de partes móviles en el vehículo. Este tipo de vehículos fueron conocidos como Lohner-Porsche. Cada motor disponía de 2.5 CV de potencia, alcanzando en periodos cortos potencias de hasta 3.5CV, logrando una potencia combinada de 7CV y ofreciendo

prestaciones modestas, 15 km/h de velocidades de cruceo y 50 km/h de velocidad máxima (Alonso, M; Buyolo, F; Catellá, S., 2011).

El desuso de vehículos eléctricos particulares no significó la desaparición de los mismos en diferentes aplicaciones, como en camiones comerciales e industriales, los cuales siguieron creciendo durante el año 1920 y en otras aplicaciones en 1930. Los taxis eléctricos fueron abandonados a mediados de 1920 (Santini, 2011).

En los próximos años las grandes marcas de automóviles apostarían poco a poco por los vehículos eléctricos, como Renault con su primer auto eléctrico en 1928, o Peugeot que en el año de 1941 fabricó 400 vehículos eléctricos con una autonomía de 80 km y una velocidad punta de 32 km/h (Alonso, M; Buyolo, F; Catellá, S., 2011).

General Motors en el año 1973 desarrolló un vehículo eléctrico con cargador de baterías (Figura 3), el cual fue presentado en el primer Simposio de Desarrollo de Sistemas de Energía de baja Contaminación. (Santini, 2011)



Figura 3. Vehículo eléctrico con cargador desarrollado por General Motors (Chuncusig, 2014, pág. 10).

El CARB (California Air Resources Board) agencia del gobierno de California ocupada de la calidad del aire, en 1990 aprobó la ley “Vehículo de emisión cero (ZEV)”, la cual obligaba a las compañías fabricantes de automóviles a que dispongan en sus catálogos vehículos de cero emisiones. (Alonso, M; Buyolo, F; Catellá, S., 2011)

De esa manera nace el modelo EV1 (Figura 4), primer vehículo completamente eléctrico, con una autonomía de 130 km. De la misma iniciativa nacieron vehículos como el Toyota RAV-EV, el Ford Think, el Nissan Altra EV, entre otros. (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2015)



Figura 4. Vehículo eléctrico EV1 (Chuncusig, 2014, pág. 11)

Lo más curioso de la situación, es que a pesar de la ayuda financiera que se le otorgaban a las compañías que fabricaban vehículos, estos se oponían a la ley ZEV. En 2003, General Motors canceló la producción del EV1, argumentando que no logró vender suficientes vehículos para que este sea lo suficientemente rentable. El documental “Who killed the electric car” expone una supuesta teoría de conspiración para acabar con la venta de los vehículos eléctricos,

en la que menciona que los intereses de ciertos grupos acabaron con lo que parecía un paso gigante en el futuro de la automoción especialmente cuando la ley ZEV empieza a ser presionada por la industria petrolera argumentando que esta era demasiado estricta. (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2009)

En la actualidad, la inserción de vehículos eléctricos a nivel mundial ha generado gran interés como una posible solución para el calentamiento global, debido a la emisión de gases contaminantes provenientes de vehículos que utilizan combustibles fósiles, de forma simultánea buscando reducir su dependencia. (Chuncusig, 2014)

Después de un pasado como actor secundario, el vehículo eléctrico se posiciona como gran favorito al futuro como automóvil urbano. Las grandes marcas apuestan por él, ya sea como vehículo totalmente eléctrico o híbrido, invirtiendo grandes cantidades de dinero en investigaciones y presentando prototipos con prestaciones que cada vez se acercan más al vehículo de combustión interna. (Alonso, M; Buyolo, F; Catellá, S., 2011)

Vehículos eléctricos como el Leaf de Nissan durante el año 2011 apuntaba a ser como uno de los automóviles urbanos más fuertes. Este dispone de un motor de 80 kW, alimentado por una batería de iones de litio de 345 voltios y cuenta con una autonomía de 160 km. (Alonso, M; Buyolo, F; Catellá, S., 2011)

La propuesta de Mitsubishi el iMiEV incorpora un motor síncrono de 49kW con un elevado par motor de 180Nm, utilizando una batería de ion de litio, con una autonomía de 160 km. Dispone de un sistema de carga rápida, el cual puede cargar al 80% de la capacidad máxima de la batería en 30 minutos. (Alonso, M; Buyolo, F; Catellá, S., 2011)

Los vehículos eléctricos cuentan con un motor alimentado por electricidad unido al eje de las llantas (Figura 5), o a su vez con motores independientes en cada llanta (Figura 6), logrando el movimiento de las mismas o bien para convertir la energía cinética de las ruedas en energía eléctrica y de este modo cargar el acumulador mediante un sistema de frenos regenerativos. (Torres, 2015)

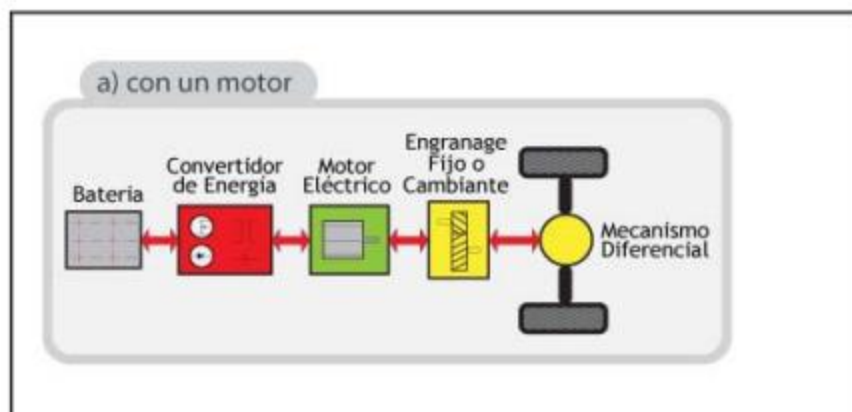


Figura 5. Esquema de vehículo eléctrico impulsado por un motor (Arsuaga, 2010) .

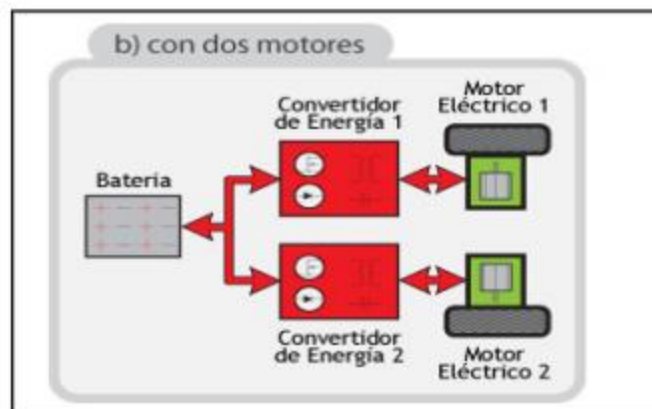


Figura 6. Esquema de vehículo eléctrico impulsado por dos motores independientes (Arsuaga, 2010)

El sistema de tracción del vehículo eléctrico cuenta con un controlador que recoge la energía de la batería y se la entrega al motor. El acelerador del vehículo trabaja a la par con el controlador para que este pueda proporcionar la energía eléctrica necesaria para generar la velocidad del vehículo. (Chuncusig, 2014)

Las baterías empleadas en este tipo de vehículos son de Ion-Litio, sin embargo estas requieren cobalto, el cual es un material costoso y térmicamente inestable. Una alternativa a esto es sustituir el cobalto por manganeso, ya que los electrodos de óxido de manganeso son más estables y menos costosas. Las baterías se recargan de la red eléctrica, de la recuperación de energía en el frenado y de paneles solares fotovoltaicos en los centros de carga. (Torres, 2015)

La utilización del motor eléctrico es uno de los verdaderos puntales para promover el cambio tecnológico, ya que es un sistema motriz que consigue dar par sin emitir ningún tipo de contaminante. (Alonso, M; Buyolo, F; Catellá, S., 2011)

Algo importante a tener en cuenta con la inserción de los vehículos eléctricos es el consumo energético extra que estos demandan, la cual debe ser gestionada debidamente mejorando a la par la eficiencia energética del sistema eléctrico (Chuncusig, 2014).

Motores eléctricos

Un motor eléctrico es aquel que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Los motores eléctricos presentan curvas ideales para la tracción de vehículos, es decir, potencia constante en todo el rango de velocidades lo que proporcionan un par elevado a baja velocidad y un par de reducido a elevada velocidad (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2009)



**Madrid
Ahorra
con Energía**



La Fuente de Tordes

**CONSEJO DE ECONOMÍA Y HACIENDA
Comunidad de Madrid**

www.madrid.org

Guía del Vehículo Eléctrico



Para apreciar el potencial de penetración de los VE en un horizonte inmediato (2015-2030) es preciso conocer los datos básicos del parque móvil español, constituido por casi 30 millones de vehículos, 21,7 millones de los cuales son turismos, 2,3 millones motocicletas y 5,14 millones camiones y furgonetas. Frente a la importancia de dichas cifras, siendo indudable su contribución a la creación de riqueza y satisfacción de necesidades, resulta difícil no plantearse los problemas energéticos y ambientales que su rápido crecimiento ha generado, además de una enfermiza y monogámica dependencia del petróleo. También deben destacarse los crecientes impactos por la necesidad de infraestructuras y ocupación del espacio, además del amplio abanico de problemas ambientales que se pueden focalizar en las emisiones de gases contaminantes y el ruido, por su afectación directa a la salud de las personas; y en la emisión de Gases de Efecto Invernadero (con sus adversas afectaciones climáticas), problemas a los que se hará referencia posteriormente, pero que pesan como otro poderoso incentivo para el cambio de modelo, especialmente después de haberse asumido numerosos compromisos internacionales de reducción a partir de las Directivas Euro sobre emisiones y de los compromisos de Kyoto.

Se comparte la opinión con diversos analistas que, sin ningún género de dudas, antes de alcanzar la cima del denominado "peak-oil" (momento en el que la producción mundial de crudo no podrá seguir el nivel de demanda), los países con elevados niveles de movilidad y motorización (más de 400 vehículos por 1.000 habitantes), se encontrarán abocados de facto frente a un cambio de escenario que podría producirse de manera extraordinariamente acelerada y ante el cual quizás habrá que comportarse como en el universo imaginado por L. Carroll en la cita que precede al apartado y si es que queremos llegar a otra parte para pasar al "otro lado del espejo", deberemos correr el doble de rápido y, por más que se entrevea la existencia de retos y obstáculos importantes, también aparecen una cantidad de oportunidades tecnológicas, energéticas, ambientales y empresariales que en ningún caso se deberían desaprovechar.

1.2. Sobre petróleo, vehículos, transporte y medio ambiente

La facilidad de obtención del petróleo, unido a su relativamente bajo coste, ha hecho olvidar la enorme capacidad de trabajo que puede





Guía del Vehículo Eléctrico

desarrollar como recurso de alta densidad energética. La inmensa mayoría de la población ignora aquella gran cantidad de energía que trasvasa y almacena en la rutinaria tarea de rellenar el depósito de combustible en cada operación de recarga.

La comunidad experta y los medios de comunicación deberán realizar un gran esfuerzo pedagógico para concienciar a los ciudadanos en la necesidad de avanzar hacia escenarios energéticamente eficientes, explicando que con el consumo de cada litro de gasóleo o gasolina, va asociada una alta densidad de energía⁴ con el que se puede desarrollar, o dilapidar, diversas cantidades de trabajo, en función de la máquina que utilicemos; así, cada vez que se llena el depósito con 50 litros de gasolina, se dispone de una cantidad teórica de energía de unos 500 kWh. Se puede apreciar el significado de dicha cantidad relacionándola con los valores tan modestos que los seres humanos somos capaces de desarrollar (menos de 100 W de potencia durante intervalos de pocas horas), o del consumo típico de los hogares, situado alrededor de 10 kWh/día.

Una vez situados en orden de magnitud de la energía contenida en los combustibles, es momento adecuado para dar a conocer la "eficiencia energética" de los VCI, que si bien constituyen estéticas, sofisticadas y potentes máquinas, desde el punto de vista tecnológico tienen unos rendimientos termodinámicos francamente modestos, del orden de un 25% (o, lo que es lo mismo, con unas pérdidas e ineficiencias del 75 y hasta del 80%). Por consiguiente, aquella gran cantidad de energía contenida en el depósito quedará reducida a una energía útil de unos 125 kWh, mientras el resto se convierte en energía degradada (calor y subproductos contaminantes a elevadas temperaturas).

Se conoce por experiencia que en el mundo real no siempre se consideran los argumentos de tipo racional (científico-técnico) como los de mayor importancia; y por ello, a pesar de los rendimientos tan absurdos, no se debe pensar en un rápido "hundimiento" de los VCI. Son muchos los expertos y los informes que pronostican una larga vida a los vehículos convencionales; así, en un importante informe estratégico encargado por el gobierno francés ("Mission Véhicule 2030". Rapport J.Syrota, 2008) se pronostica una larga vida a los VCI, afirmando

⁴ Del orden de 10 kWh/litro. Los valores del "crudo" pueden oscilar entre 42-44 MJ/kg. En unidades volumétricas el valor de la gasolina es de 35,4 MJ/litro

de manera textual: *Le moteur thermique à essence ou diesel, en constante évolution, a encore un bel avenir devant lui.* Precisamente, "gracias" a las ineficiencias comentadas, los vehículos y motores todavía disponen de un amplio margen de mejoras tanto en la combustión y aprovechamiento de combustible, como en la reducción de emisiones; a pesar que las crecientes restricciones ambientales se estarían convirtiendo en un problema de mayor importancia que los aspectos estrictamente energéticos. Temas ambientales aparte, se podría convenir el diagnóstico de un experto de nuestro país de la Sociedad de Técnicas de Automoción, que recientemente afirmaba: *los motores de CI tienen muchas años por delante* (R. Boronat Jornada STA); aunque ello no represente un impedimento para un brillante desarrollo de los nuevos VE.



Desde este punto de vista, existen un par de aspectos básicos a desarrollar para que se produzca un verdadero "taking off" de los VE, a saber: el desarrollo de una nueva generación de baterías y la plena incorporación de las grandes empresas del sector de la automoción para la fabricación en serie, estando ambos aspectos actualmente en plena eclasión.

La capacidad de almacenamiento de las baterías de Pb-ácido actuales se podría situar entre los 0,027 a 0,194 kWh/kg⁵ y, por ello, para disponer de cantidades similares de energía con el mismo nivel de ineficiencia de la combustión se precisería contar con una agrupación de baterías de más de 600 kg de peso.

Actualmente, se sabe que los motores eléctricos pueden conseguir eficiencias del 90% y que la mecánica asociada, al ir directamente acoplada a las ruedas de los VE, simplifica enormemente los cambios y transmisiones (reduciendo las consiguientes pérdidas), por lo que, en el futuro próximo, se pasará a depender de la electrónica de potencia con su instrumentación, batas blancas y plantas limpias, más que de árboles, transmisiones y engranajes con los conocidos talleres mecánicos con aceites, grasas y monos azules. La formación de profesionales preparados y la reconversión del taller de automóviles, constituirá también un reto importante, si bien, como ya se ha comentado, el verdadero talón de Aquiles para el despliegue de los VE, precio de venta aparte, sigue siendo la autonomía entre tiempo de recarga, o

5 0,1 MJ/kg con un límite teórico de 0,7 MJ/kg; o con las modernas baterías Ion-Li que ya alcanzan capacidades de 0,5 MJ/kg (con límites actuales de 3 MJ/kg).



Guía del Vehículo Eléctrico

lo que es equivalente, conseguir almacenar en sus baterías una capacidad adecuada de energía eléctrica.

Los modelos de VE actualmente existentes en el mercado, o los que ya se encuentran en una fase avanzada de desarrollo, manejan valores de energía almacenada entre los 15 y 30 kWh en sus baterías, garantizando una autonomía que se sitúa entre los 80 y los 200 km; mientras que la propuesta alternativa de vehículos híbridos enchufables (siglas en inglés HPVE) en sus diversas disposiciones, serie o paralelo, equipados con un pequeño motor de combustión que se activaría en el momento que faltase la energía eléctrica, podría constituir una propuesta inmejorable de transición hacia nuevos escenarios de movilidad, consiguiendo autonomías envidiables, hasta para los mismos VCI actuales.

Por lo que respecta al desarrollo de modelos y prototipos de baterías, parece que la carrera se está decantando por las baterías de litio, Fig. 1.1, tanto por sus características técnicas (SOC, no ciclos, capacidad de almacenamiento, densidad de energía, etc.), como por sus perspectivas de fabricación; si bien todavía se debe ser prudente -a falta de disponer de una experimentación en operación con VE- hasta conocer los problemas en el "mundo real". Una de las propuestas más recomendables a nivel de gobierno y administraciones sería optar por un importante desarrollo en I+D para acumular experiencia en este particular campo de la electroquímica y las nuevas baterías; dado que en otros campos importantes de desarrollo, como son la electrónica de potencia, motores eléctricos y generadores, se podría estar en mejor posición.

En relación al segundo obstáculo, se considera que la ya anunciada entrada de empresas del sector automoción con un importante número de prototipos (Mitsubishi, Toyota, GM, Opel, Chrysler, Ford, Nissan, Renault, SEAT, etc.) y la futura fabricación en serie de VE, o HPVE, podría hacer cambiar rápidamente la situación respecto a los costes actuales.

Existen otros aspectos clave en los que se deberá profundizar, relativos a las mejoras de los aspectos ambientales que representará una presencia significativa de VE en el parque automovilístico actual y entre los cuales debe hacerse hincapié, como mínimo, en tres grandes grupos: **A.** los referidos a la contaminación acústica provocada por el tráfico rodado que resulta particularmente insidiosa en nuestro con-



Guía del Vehículo Eléctrico

des significativas. Esto constituiría, por sí sólo, otro importante cambio de escenario tecnológico energético, a parte del propio del transporte.



Figura 1.2. Optimización del sistema energético y potencial de carga de VE.

Tratando adecuadamente los cambios (de modelo de transporte y de acumulación de electricidad) puede además conseguirse un aplanamiento de la curva diaria y estacional de carga⁶, optimizando la generación al utilizar el parque más moderno y eficaz, aprovechando el pleno potencial de las energías renovables, desplazando una fracción importante de petróleo consumido en los vehículos, reduciendo emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero a los que nos tienen acostumbrados los VCI, etc. Tan sólo y por lo que respecta a los temas ambientales, un reciente informe del prestigioso EPRI ha estudiado el potencial de reducción de GEI en función de los respectivos recursos utilizados, concluyendo que, con

⁶ Al no poder almacenarse la electricidad, tiene que seguir escrupulosa y rápidamente una demanda muy variable a lo largo del día, pero que produce unos ciclos regulares diarios y estacionales con pronunciados picos y valles; provocando con ello diversos problemas técnicos y costes económicos importantes.

una electricidad procedente de centrales térmicas de carbón, la reducción de emisiones sería alrededor del 34%; mientras que, si procediesen de plantas de CCGN, se alcanzarían reducciones de hasta el 60%, sin contar que las reducciones serían todavía más importantes si la generación de energía para almacenar en los VE procediese de fuentes renovables, como la eólica y la solar. Como se ha visto, existe un sinfín de realimentaciones insospechadas y en cadena que afectan positivamente a sectores energéticos, del transporte y ambientales con el cambio de modelo.

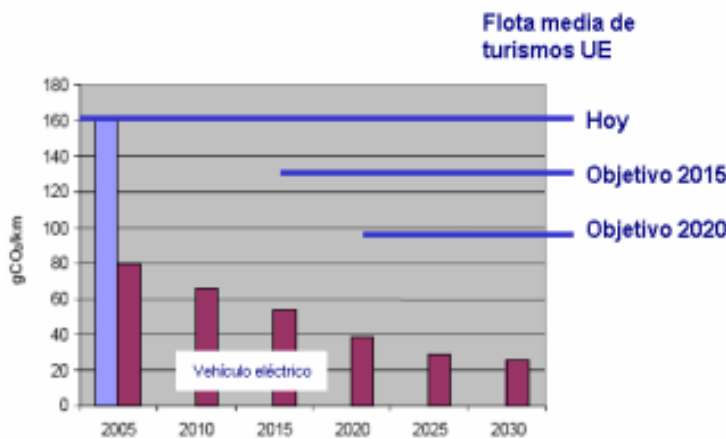


Figura 1.3. Importancia de los VE's para la reducción de emisiones y gases contaminantes.

En el caso de que deseáramos disponer de un bagaje y balance completo de las ventajas potenciales, y de los inconvenientes, se debería realizar un análisis comparativo de todas las externalidades económicas y ambientales de los actuales VCI respecto a los nuevos VEs, simulando diversos escenarios de penetración de los mismos y realizando una aproximación tanto desde el pozo a la rueda "Well to Wheel" (WTW), lo que implicaría desarrollar un completo Análisis de Ciclo de Vida (del inglés LCA), como la más sencilla del análisis tanque-rueda "Tank to Wheel" (TTW), pero que también tiene gran importancia para el desarrollo de VEs en las zonas urbanas y centro de las ciudades, que serán, sin duda, uno de los escenarios privilegiados en la introducción de los VEs como de hecho está siendo el caso paradigmático de Londres como prototipo de nuevo modelo de ciudad europea.

“Universidad Internacional del Ecuador”



Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

Tesis de grado para la obtención del Título de Ingeniería Mecánica Automotriz

**Estudio de factibilidad para la implementación de electrolinerías en el Distrito
Metropolitano de Quito**

Sixto Andrés Alvarado Goya.

Director: Ing. Guillermo Gorky Reyes Campaña. MSC

Quito, Julio 2017

RESUMEN

El constante crecimiento del parque automotor a nivel mundial ha generado que todas las marcas existentes pongan atención en los gases contenientes que generan los vehículos a combustión, de tal manera que se ha forjado la necesidad de volver a introducir el vehículo eléctrico. En la última década esta tecnología ha tenido un crecimiento considerable tanto en el desarrollo e investigación por buscar los mejores componentes que permitan que el vehículo eléctrico pueda tener una autonomía considerable en base a un vehículo convencional.

El desarrollo de esta investigación inicia con identificar los tipos de cargas existen para los vehículos eléctricos, tendiendo a los vehículos híbrido, híbrido Enchufable y eléctrico puro, para lo cual este último se desprende la investigación realizada para la implementación de electrolineras las cuales permiten una movilidad libre de este tipo de vehículo en el Distrito Metropolitano de Quito, de tal forma que se crea una necesidad para establecer puntos de recargas; considerando que existen varios tipos de recargas mediante el cual le permite al vehículo cargar su batería para poder continuar su recorrido.

Se realiza un análisis a partir de la autonomía de cada vehículo eléctrico existente en el país, al cual en base a la autonomía descrita por el fabricante se determina el número de viajes que se realizan con una sola carga completa. De tal forma que se determina puntos claves para la instalación de una electrolinera la cual puede manejar una carga ya sea carga lenta o una semi-rápida para la utilización de vehículos eléctricos.

PALABRAS CLAVE: Electrolinera, vehículo eléctrico, autonomía.

1.5 Puntos de recarga

Actualmente en el mercado local las personas pensarían muy bien antes adquirir un vehículo eléctrico, ya que tendrán interrogantes tal como: ¿En dónde lo voy recargar? , ¿Cómo lo recargo? siendo un factor a juzgar debido a la falta de puntos de recarga. El desafío que debe superar el vehículo eléctrico es el diseño de una infraestructura de recarga, la cual debe ser accesible a todos y fácil al momento de usarla.

Considerando que es un tipo de transporte, el vehículo eléctrico necesita el diseño de una infraestructura la cual le genere una fuente de energía de tal manera que pueda recargar sus baterías.

Una posible opción para catalogar los lugares más idóneos para la instalación de puntos de recarga debe ir acorde a una ubicación y uso frecuente de los consumidores.

Tales como:

- Parqueaderos públicos
- Parqueaderos privados
- Centros comerciales

Con este proyecto se define los posibles lugares en donde se instalaran las electrolinerías en el Distrito Metropolitano de Quito, para generar una incentivación en la compra de vehículos eléctricos en el medio local. Considerando horas pico y horas muertas la cual determinen su mejor ubicación.

1.6 Electrolinería

Las electrolinerías son una estación de servicio así como una estación de gasolina, en la cual en vez de que proporcionar combustible, esta dispensara energía para poder recargar las baterías de los carros eléctricos. Por ejemplo en el caso de Bogotá ya se dispone de electrolinerías las cuales están equipadas con varios tipos de conectores para varias marcas compatibles teniendo como alternativa, dos de recarga rápida y tres de recarga convencional, en donde se puede cargar hasta dos vehículos. Por otra parte si el vehículo va a ser cargado en casa, la mayoría de hogares tiene acceso a un toma corriente de 220 v permitiendo simplemente realizar pequeñas

adecuaciones para realizar la carga de su vehículo en su hogar, partiendo de esta referencia el gobierno local no tendría que realizar una inversión que vaya a representar un gran porcentaje de su producción interna (Twenergy, 2015, p. 1).



Figura 1.6: Electrolinera-Tesla España

Fuente: (Revista Eólica y del vehículo Electrico, 2015)

1.7 Características generales

En la actualidad el avance tecnológico permite que cada día sea más factible las instalaciones de electrolineras o estaciones de carga rápida dentro de nuestro medio local y en el mundo, con lo cual se obtiene de los tipos de carga, que se obtenga para su implementación y uso.

1.7.1 Tipos de carga

Respecto a los tipos de carga se debe considerar el lugar en donde se realizara la misma, dado que este factor definirá el tipo de carga a usar, los cuales son:

- **Carga lenta:** Es la más generalizada a nivel de todos los fabricantes de vehículos eléctricos. Suele trabajar con corriente alterna monofásica a una tensión de 230 v tiene como tiempo estimado de carga entre 6 y 8 horas, además la potencia demanda por el vehículo eléctrico comprende entre 3.5-22KW usado normalmente en los hogares, ya que es posee la misma tensión y corriente que una doméstica (Salmerón, 2012). Además también son usados en garajes lo cual permite una carga completa de las baterías de los vehículos eléctricos, en este caso es más usado por motos o cuadríciclos lo cual le

permite una carga entre 2 o 3 horas y en caso de emergencia también puede ser utilizada por un vehículo eléctrico más grande. En el proyecto este tipo de carga solo debe ser impulsado para los hogares debido al tiempo que conlleva de espera, con tranquilidad esto se lo realiza en la noche hasta el día siguiente antes de volver a utilizar el vehículo.



Figura 1.7: Ejemplo de carga lenta

Fuente: (Electromovilidad, 2016)

- **Carga semi-rápida:** Es aceptada por algunos vehículos, sin embargo es previsible que será una carga muy utilizada. La carga se realiza con corriente alterna trifásica, tiene un tiempo de carga entre 3 y 4 horas, aún no está considerado dentro de una carga común debido a que muy pocos vehículos lo ofrecen (Salmerón, 2012, p. 38), teniendo una potencia de recarga entre 3,7KW a 11KW considerándose una carga normal y carga semi rápida respectivamente. Permite que la carga se pueda realizar en lugares públicos en donde el vehículo permanezca por varias horas como es el caso de un centro comercial, etc.

Es más común su utilización en dichos lugares por la permanencia del cliente, ya que mientras realiza sus actividades personales, el vehículo eléctrico puede cargarse sin ningún problema teniendo en cuenta que su carga no sería del 100% ya que no es una carga rápida.



Figura 1.8: Ejemplo de semi-rápida

Fuente: (Electromovilidad, 2016)

- **Carga rápida:** Ciertos fabricantes ya la utilizan en sus vehículos eléctricos. Tiene un tiempo de carga entre 10 a 30 min dependiendo del tipo de cargador a utilizar y la potencia adquirida, la potencia demanda está entre 43- 150 KW. Todo esto corresponde a una electrolinera (Salmerón, 2012, p. 38).

Este tipo de recarga tiene como uso en lugares públicos con alta rotación con es el caso de una estación de servicio es por esto que el tiempo de respuesta por parte de una electrolinera es rápida, el tipo de carga rápida más usado y compatible actualmente es el creado por la asociación CHAdeMO.



Figura 1.9: Ejemplo de carga rápida

Fuente: (Electromovilidad, 2016)