

PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE VEHICULOS ELECTRICOS

Melissa García Ruíz
Código: 1112779503

Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad de Tecnología
Escuela de Tecnología Eléctrica
Pereira
2015

PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE VEHICULOS ELECTRICOS

Melissa García Ruíz

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar el titulo como
Tecnólogo en electricidad**

**Director
Antonio Escobar
Ingeniero Electricista
Universidad Tecnológica de Pereira**

**Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad de Tecnología
Escuela de Tecnología Eléctrica
Pereira
2015**

DEDICADO

A mi madre Rocío Ruiz palacio y a mi padre Agustín García Duran por todo el apoyo brindado con amor y paciencia en el proceso de mi desarrollo profesional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios que me permitió todos los medios para alcanzar este sueño, que me lleno de paciencia para saber llevar todos los inconvenientes que se presentaron y que me premio con la capacidades necesarias para poder culminar este proyecto de vida.

Al ingeniero Antonio Escobar por brindarme su apoyo y colaboración en todo el proceso de redacción y formación de este proyecto.

A mi madre Rocío Ruiz y a mi padre Agustín García por todo el apoyo económico y acompañamiento durante este proceso de formación profesional.

A mi novio Yonatan Eduardo Osma por el acompañamiento y el apoyo emocional que me brindo durante este proceso.

A mis compañeros Felipe Martínez y Sara Yulieth Bocanegra que hicieron de todo este proceso un ambiente agradable y lleno de experiencias inolvidables.

Índice general

Índice general I

Índice de figuras IV

Índice de cuadros VII

1. Introducción.....	1
1.1. Justificació.....	2
1.2. Objetivo general.....	3
1.3. Objetivos específicos.....	3
2. Conceptos fundamentales del vehículo eléctrico.....	4
2.1. Vehículo eléctrico.....	4
2.2. Motor eléctrico.....	5
2.3. Diferencia entre los motores eléctricos y los motores térmicos.....	6
2.4. Tipos de motores eléctricos utilizados en vehículos eléctricos....	7
2.4.1. Motor de inducción.....	7
2.4.2. Motores síncronos de imán permanente.....	8
2.4.3. Motor de flujo axial.....	9
2.4.4. Motor de reluctancia permanente.....	9
2.4.5. Motor de corriente continua sin escobillas.....	10
2.5. Baterías.....	11
2.6. Tecnología de las baterías.....	11
2.6.1. Baterías de plomo y ácido.....	11
2.6.2. Baterías de Níquel Cadmio (Nícd).....	13

2.6.3. Baterías de Níquel-Hidruro Metálico (NIMH).....	13
2.6.4. Baterías de Iones de Litio (Li-ion).....	15
2.6.5. Batería Zebra (NaNiCl).....	16
2.7. Características fundamentales de las baterías.....	17
2.7.1. Capacidad.....	17
2.7.2. Capacidad específica.....	17
2.7.3. Energía específica.....	17
2.7.4. Densidad de potencia.....	17
2.7.5. Densidad de energía.....	17
2.8. Cargado AC/DC.....	18
2.9. Controlador electrónico.....	18
2.10. Conversor DC/DC.....	19
2.11. Convertidor/Inverter.....	19
2.12. Tipos de vehículos eléctricos.....	20
2.12.1. Vehículo Híbrido (HEV).....	20
2.12.2. Vehículo híbrido eléctrico enchufable o Plug in.....	21
2.12.3. Vehículo eléctrico de batería.....	22
2.12.4. Vehículo eléctrico de autonomía extendida.....	23
2.13. Infraestructura de recarga.....	24
2.13.1. Carga lenta.....	24
2.13.2. Carga semi-rápida.....	24
2.13.3. Carga rápida.....	24
2.13.4. Intercambio de batería.....	24

2.14. Ventajas de los vehículos eléctrico.....	24
2.15. Desventajas de los vehículos eléctricos.....	25
3. Estado de arte de vehículos eléctricos.....	27
3.1. Fechas significativas en la historia del vehículo eléctrico.....	32
3.2. Recopilación de fotografías de los primeros vehículos	34
3.3. Características de los primero vehículos eléctricos.....	36
3.3.1. Toyota Prius 1997.....	38
3.3.2. Tesla Roadster-2005.....	39
3.3.3. Bluecar-2006.....	40
3.3.4. Citroën C-zero.....	41
3.4. Vehículos eléctricos y actualidad.....	42
3.5. Evolución de las baterías para vehículos eléctricos.....	42
3.6. Volta, Watt, y el aire fresco.....	44
3.7. Minerales contaminantes y tóxicos.....	45
3.8. Análisis del impacto de tecnologías de vehículos eléctricos en el sistemas eléctrico.....	48
3.8.1. Vehículo eléctrico de baterías (BEV).....	48
3.8.2. Vehículo eléctrico híbrido.....	49
3.8.3. Vehículo eléctrico a celdas de combustible.....	50
4. Vehículos eléctricos con visión hacia el futuro.....	51
4.1. Introducción.....	51
4.2. El futuro de los vehículos eléctricos.....	51
4.3. Entorno colombiano.....	53

4.4. Visiones a futuro.....	54
5. Conclusiones.....	55
Bibliografía	

Índice de Figuras

1. Esquema conceptual de la configuración de un vehículo eléctrico.....	4
2. Motor eléctrico.....	5
3. Curva par-motor Nissan.....	7
4. Esquema de una batería de plomo y ácido.....	12
5. Esquema de una batería de Níquel Cadmio.....	13
6. Esquema de una baterías de Níquel-Hidruro Metálico.....	14
7. Esquema de una batería de Iones de litio.....	16
8. Cargador para vehículo eléctrico.....	18
9. Controlador electrónico.....	19
10. Conversor.....	19
11. Convertidor.....	20
12. Tipología de vehículos eléctricos.....	20
13. Esquema de un vehículo hibrido eléctrico.....	21
14. Esquema de un vehículo híbrido plug-in.....	22
15. Esquema comparativo de un vehículo eléctrico Ev (rojo) con uno convencional (verde).....	23
16. Esquema de un vehículo eléctrico de autonomía extendida.....	23
17. Evolución del precio de las baterías.....	44

Índice de cuadros

1. Características de las baterías.....18
2. Comparación de costos para el usuario de los vehículos convencionales y los eléctricos puros en el futuro.....52

Capítulo 1

1. INTRODUCCION

La población mundial llegará a 9.000 millones de habitantes para el 2040 (actualmente es de 7.370 millones aproximadamente). Los consumidores de clase media aumentarán en 3.000 millones en los próximos 20 años lo que a su vez estimulará el uso de recursos en forma exponencial. En el 2012, el panel sobre Sostenibilidad Mundial de la Organización de Naciones Unidas (ONU) afirma que al mundo se le está acabando el tiempo para asegurarse de cubrir sus necesidades globales en cuanto agua, alimento y energía, pero hay un aspecto de gran relevancia que se omite en esta discusión y está relacionado directamente con la necesidad global de energía y con la búsqueda permanente de la movilidad. El aumento desmedido de vehículos enfrenta a la humanidad a una utilización de grandes cantidades de energéticos primarios, generalmente de origen fósil, lo que genera dos problemas fundamentales: necesidad de muchos recursos energéticos y graves problemas de salud producidos por la contaminación ambiental resultante de las emisiones de los vehículos. Hoy se cuenta con 2000 millones de vehículos, según proyecciones de la Ford, y en 2040 serán 4000 millones. El 75% de la población vivirá en ciudades y por lo menos se tendrán 50 ciudades con más de 10 millones de habitantes.

Cuando hacemos referencia al transporte se involucran aspectos tales como: recolección de residuos sólidos, desplazamiento de personas a través de sistemas particulares o de transporte masivo, sistemas de emergencia (bomberos, ambulancias, etc.) transporte de alimentos, materias primas, mercancías, entre otras.

Una alta proporción de la población mundial es urbana, el ser humano está inmerso y permeado por el uso del transporte para realizar las actividades diarias. Las empresas que llevan a cabo la distribución de sus productos a las ubicaciones de los clientes y las autoridades de transporte público que deben suministrar el servicio de transporte a los usuarios dependen de una flota de vehículos y equipos asociados.

Como una respuesta al problema del transporte que utiliza combustibles fósiles con bajas eficiencias energéticas y graves problemas medioambientales, existe la alternativa de los vehículos eléctricos. Estos tienen una mayor eficiencia, lo que permite producir ahorros en energéticos primarios y además no producen emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes. Puede decirse que estas emisiones se trasladan a las centrales térmicas que producen electricidad, sin embargo, esto no es exactamente así, ya que las emisiones de las centrales de

generación están concentradas en un sitio y pueden ser controladas y reguladas más fácilmente que las emisiones de los vehículos por separado.

Los vehículos eléctricos se han venido desarrollando con mayor fuerza desde hace algún tiempo, pero realmente su historia data de muchos años atrás, sin embargo es hasta ahora que se han logrado desarrollar modelos capaces de cubrir las necesidades de sus consumidores, trabajando diariamente en su mejoramiento continuo y en la posibilidad de llegar a muchas más personas con costos razonables y beneficios no solo personales sino a nivel global, ayudando al medio ambiente en un porcentaje considerable.

1.1 JUSTIFICACIÓN

Existe un gran interés a nivel mundial por hacer nuevos desarrollos en el transporte público y privado. Esto se debe, como se dijo antes, a la gran cantidad de vehículos que circulan actualmente, por los costos involucrados y por el tema ambiental. Desde el punto de vista socioeconómico y ambiental, los vehículos eléctricos han surgido como una buena alternativa en el campo comercial, y prueba de esto es el surgimiento de nuevas empresas cuyo fin es fabricar vehículos eléctricos para su producción en masa, incluso empresas que no han sido conocidas tradicionalmente por fabricar vehículos eléctricos han incursionado con mucho éxito en este mercado como Tesla, Google y Apple entre otras.

Esto muestra en un corto plazo una tendencia a masificar el uso de vehículos eléctricos tanto en los sectores públicos como privados, por esta razón resulta interesante realizar el estado del arte del desarrollo de la tecnología asociada a los vehículos eléctricos, y su impacto en el sistema eléctrico. También es importante conocer los diferentes tipos de vehículos eléctricos, la forma cómo funcionan, el tipo de motor eléctrico que utilizan, si utilizan o no baterías eléctricas y si estas baterías son recargables o intercambiables. Existe una gran variedad de investigaciones en este campo. Desde universidades hasta centros de investigación particulares interesados en la construcción de estos vehículos, han optado por estudiar a fondo los pros y los contras de su desarrollo.

Teniendo en cuenta que adquirir conocimientos de los temas de actualidad, que causan gran impacto a la sociedad en general es realmente benéfico, este proyecto pretende ampliar los conocimientos básicos, teóricos y técnicos de los diferentes campos que gracias a las nuevas tecnologías, van mejorando las capacidades del hombre para afectar lo menor posible el medio en el que se desenvuelve.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estado del arte de las tecnologías de desarrollo de vehículos eléctricos, y su impacto en las redes de transmisión.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Presentar el estado del arte de las tecnologías usadas en el desarrollo de vehículos eléctricos.
- Mostrar los trabajos relacionados con el impacto ambiental de los vehículos eléctricos.
- Mostrar el estado del arte del impacto de los vehículos eléctricos en las redes eléctricas.

Capítulo 2

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

2.1 Vehículo eléctrico

Es un vehículo propulsado por uno o más motores eléctricos. La tracción puede ser proporcionada por ruedas o hélices impulsadas por motores rotativos, o en otros casos utilizar otro tipo de motores no rotativos, como los motores lineales o los motores inerciales.[2].

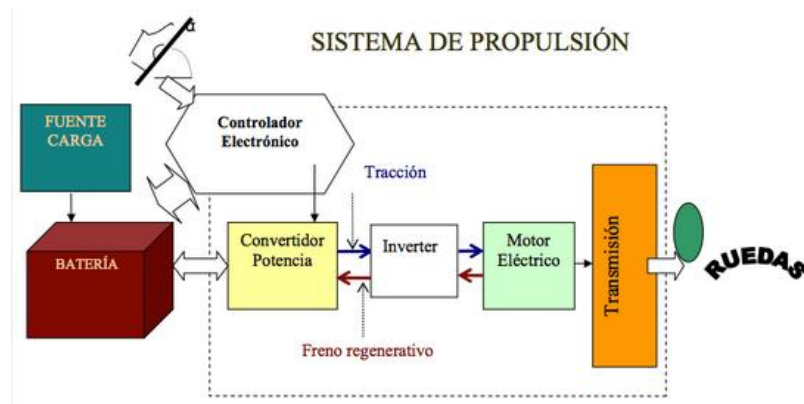


Figura 1: Esquema conceptual de la configuración de un vehículo eléctrico.
Fuente: asociación de ingenieros del ICAI

Los vehículos eléctricos obtienen su capacidad de movimiento por la energía eléctrica liberada por unas baterías o bien por una célula de combustible de hidrógeno o tomada directamente de una red eléctrica a la que están conectados permanentemente (ejemplo el trolebús). El sistema de generación y acumulación de la energía eléctrica constituye el sistema básico para mover un vehículo eléctrico. Generalmente, para ello se utilizan los acumuladores electroquímicos, formados por dos sustancias conductoras bañadas en un líquido también conductor. El intercambio de cargas positivas y negativas entre ambos componentes mantiene una corriente eléctrica que puede ser utilizada para el funcionamiento del motor del vehículo eléctrico.[2].

En el motor de combustión, sólo el 18% de la energía del combustible es utilizada para mover el vehículo, el resto sirve para accionar el motor. En el vehículo eléctrico el 46% de la energía liberada por las baterías sirve para mover el vehículo, lo que indica una eficiencia entre 10-30% superior de este, respecto al vehículo convencional con motor de explosión. En un vehículo eléctrico puede

haber un solo motor de tracción o varios, acoplados a las ruedas. Su función es transformar la energía eléctrica que llega de las baterías en energía cinética o de movimiento. Esta energía puede ser aprovechada en forma de corriente continua o en forma de corriente alterna. En este último caso requiere de un inversor. [2].

2.2 Motor eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina rotativa que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, a través de diferentes interacciones electromagnéticas. Hay algunos motores eléctricos que son reversibles, es decir, que pueden hacer el proceso inverso al mencionado antes, esto es transformar la energía mecánica en energía eléctrica pasando a funcionar como un generador.

El principio de la conversión de la energía eléctrica en energía mecánica por medios electromagnéticos fue demostrado por el científico británico Michael Faraday en 1821. De acuerdo con este principio, sobre un conductor con corriente aparece una fuerza mecánica cuando se encuentra en presencia de un campo magnético externo.

El primer motor eléctrico usando los electroimanes para las piezas inmóviles y que rotaban fue construido por Ányos Jedlik en 1828 Hungría, que desarrolló más adelante un motor de gran alcance para propulsar un vehículo. El primer motor eléctrico continuo de uso práctico fue inventado por el científico británico Esturión de Guillermo en 1832. El primer motor eléctrico continuo hecho con la intención de ser usado comercialmente fue construido por el americano Thomas Davenport y patentado en 1837. Debido al alto costo de la energía proveniente de una batería, los motores no fueron económicamente rentables. [6]



Figura 2: motor eléctrico. Fuente: alibaba.com

2.3 Diferencias entre los motores eléctricos y los motores térmicos

- Tienen un tamaño menor y pesan menos en comparación con un motor térmico de similar potencia.
- Son motores silenciosos y no emiten gases contaminantes.
- Carece de ralentí, ya que parte desde parado, puesto que el motor eléctrico puede arrancar y pararse en cualquier posición
- Es un motor más simple que el motor térmico, lo que supone un mantenimiento más barato.
- Los motores eléctricos se caracterizan por una potencia prácticamente constante desde el arranque (cosa que en los motores térmicos varía según el régimen) y un par muy elevado (que se mantiene constante hasta un régimen de vueltas medio, medio-bajo).
- Carecen de caja de cambios. El único elemento parecido a una caja de cambios es un grupo reductor (una sola marcha), cuya función es reducir el número de vueltas del motor. Los motores eléctricos, en general, funcionan a mayores revoluciones que los motores térmicos en relación con el número de vueltas que llegan a la transmisión, y por tanto a las ruedas, permitiendo así una aceleración continua. No obstante, ya existen cajas de cambios para vehículos eléctricos, las cuales permitirán una mayor eficiencia y un menor consumo energético.
- El rendimiento de los motores eléctricos es del 90%, frente al 30 o 40% de los motores térmicos en el mejor de los casos (pérdida por rozamientos en forma de calor).[6].

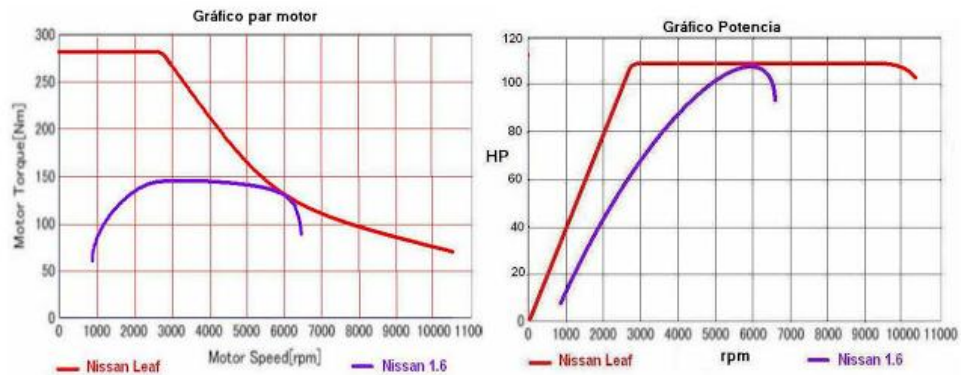


Figura 3. Curva par motor Nissan. Fuente: forococheselectricos.com

En el gráfico se pueden ver las curvas típicas de un motor eléctrico y de un motor de gasolina de 1600 cm³. Se han comparado dos motores de Nissan de 109 CV de potencia. La potencia máxima es la misma, pero en realidad el motor eléctrico es más potente en casi todas las circunstancias: hasta 1000 rpm ofrece más del triple de potencia, hasta 2000 rpm más del doble y aunque las curvas se van acercando hacia las 6.000 rpm, el de gasolina corta a 6.500 rpm y el del Nissan *Leaf* aún ofrece su potencia máxima hasta 9800 rpm y gira hasta las 10.400 rpm. Por eso cuando la gente prueba un vehículo eléctrico por primera vez, lo sorprende la potencia alcanzada a velocidades bajas o medias. Son mucho más potentes que un vehículo térmico equivalente, en esas condiciones.[6]

Otro factor diferenciador importante es que el motor térmico es incapaz de girar por debajo del régimen de *ralenti* o velocidad mínima (unas 700 rpm): el giro se vuelve inestable, en cambio el motor eléctrico es capaz de girar igual de equilibrado y con la misma fuerza (par) a 20 rpm que a 2000 rpm y desde 0 rpm dispone ya del par máximo. El motor eléctrico no necesita girar cuando el vehículo está parado, ni un embrague para iniciar la marcha. Como para el inicio de la marcha lo importante es el par y no la potencia, si le acoplamos una caja de 5 marchas sería capaz de arrancar con toda suavidad con cualquiera de ellas, aunque lógicamente en las marchas largas las aceleraciones serían menos suaves.[6]

2.4 Tipos de motores eléctricos utilizados para vehículos eléctricos

2.4.1 Motor de inducción: Es un tipo de motor de corriente alterna en el que la corriente eléctrica del rotor necesaria para producir torsión es inducida por inducción electromagnética del campo magnético de la bobina del estator. Por lo tanto un motor de inducción no requiere una conmutación mecánica aparte de su misma excitación. El primer prototipo de motor eléctrico capaz de funcionar con corriente alterna fue desarrollado y construido por el ingeniero Nicola Tesla y

presentado en el *American Institute of Electrical Engineers* (en español, Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, actualmente IEEE) en 1888.[7]

Se puede definir al motor asincrónico o de inducción como un transformador eléctrico cuyos bobinados del estator representan el primario, y los devanados del rotor equivalen al secundario de un transformador en cortocircuito.[7]

En el momento del arranque, producto del estado de reposo del rotor, la velocidad relativa entre campo del estator y del rotor es muy elevada. Por lo tanto, la corriente inducida en el rotor es muy alta y el flujo de rotor (que se opone siempre al del estator) es máximo. Como consecuencia, la impedancia del estator es muy baja y la corriente absorbida de la red es muy alta, pudiendo llegar a valores de hasta 7 veces la intensidad nominal. Este valor no hace ningún daño al motor ya que es transitorio, y el fuerte par de arranque hace que el rotor gire enseguida, pero causa reducciones bruscas e instantáneas de la tensión que se manifiestan sobre todo como parpadeo en las lámparas y puede producir daños en equipos electrónicos sensibles. Los motores de inducción están todos preparados para soportar esta corriente de arranque, pero si ocurre en forma repetida y muy frecuente pueden elevar progresivamente la temperatura del estator y comprometer la vida útil de los devanados del mismo hasta originar fallas por derretimiento del aislamiento. Por eso se utilizan en potencias medias y grandes, dispositivos electrónicos de "arranque suave", que minimizan la corriente de arranque del motor.[7]

Al aumentar la velocidad del rotor, la corriente del mismo disminuye, el flujo magnético del rotor también, y con ello la impedancia de los devanados del estator. Este es un fenómeno de inducción mutua. La situación es la misma que la de conectar un transformador con el secundario en corto a la red de CA y luego con una resistencia variable intercalada ir aumentando progresivamente la resistencia de carga hasta llegar a la intensidad nominal del secundario. Lo que sucede en el circuito del estator es un reflejo de lo que sucede en el circuito del rotor.[7]

2.4.2 Motores Síncronos de imán permanente: son motores eléctricos cuyo funcionamiento se basa en imanes permanentes. Existen diversos tipos, siendo los más conocidos:[8]

- Motores de corriente continua de imán permanente;
- Motores de corriente alterna de imán permanente;
- Motores paso a paso de imán permanente.

En aplicaciones en que el motor es operado electrónicamente desde un inversor, no es necesario el devanado amortiguador para el arranque pues este lo realiza el control electrónico, y además el devanado amortiguador (*dampner*) produce pérdidas de energía adicionales debido a las forma de onda no senoidales.[8]

2.4.3 Motor de flujo axial: este tipo de motores se introduce normalmente en la rueda de un vehículo ya que debido a su tecnología permite grandes desarrollos. Es sin duda este tipo de motores el futuro de los vehículos. Se puede variar la posición de los devanados e imanes de rotor y estator, permiten un flujo de campo magnético paralelos al eje del motor sin que el principio de funcionamiento difiera mucho de lo ya conocido pero reduciendo considerablemente el volumen total ocupado por la máquina eléctrica. Dado que la fuerza electromagnética entre rotor y estator se ejerce de forma axial, es decir en dirección axial, en primera instancia podría llegar a pensarse que este tipo de motores afecta mucho los rodamientos que soportan el eje. La arquitectura de estas máquinas permite separar el estator en dos discos que actúan sobre el rotor, que no es más que otro disco alojado entre los dos anteriores. De esta manera las fuerzas que son axiales se contrarrestaran y los rodamientos del eje sólo soportan su propio peso y las fuerzas de inercia. La forma del disco permite grandes flujos magnéticos para tamaños más reducidos del rotor lo que hace que el momento de inercia, y la masa total del conjunto se puedan ver reducidos. Esta propiedad de baja inercia le da un valor añadido como herramienta de posicionamiento. Constructivamente no existen inconvenientes en la fabricación de rotor, ya que es un disco formado con imanes permanentes ubicados de forma conveniente. En cambio el bobinado del rotor sobre un cuerpo de chapa como todos los otros bobinados no es tan sencillo. El hecho de usar chapas apiladas separadas con un barniz aislante, en lugar de piezas metálicas macizas para dar cuerpo y consistencia a los bobinados se debe a la intención de disminuir las pérdidas en el flujo magnético por corrientes de Foucault inducidas por las corrientes alternas de los devanados. Hay una gran diferencia en estructura con la fabricación de un motor de flujo radial. Lo ideal del motor de flujo axial es sin duda la reducción de tamaño y el beneficio en cuanto a prestaciones aunque la idea de poner un motor, en cada rueda no es nueva. Ya se había pensado en este tipo de motores como una reducción de peso, y un aumento de potencia considerable al igual que de autonomía. [9]

2.4.4 Motor de reluctancia conmutada: Un eje de hierro que puede girar apoyado sobre unos rodamientos, o también los dientes de un rotor de hierro, se orientan en un campo magnético producido gracias a una corriente eléctrica en los polos del estator. Mediante una determinada conmutación del campo magnético se conseguirá un movimiento rotatorio del núcleo de hierro. En el caso de que este rotor posea mas dientes, se puede comparar su forma a la de una rueda dentada de gran espesor. El concepto *reluctancia* corresponde con la resistencia magnética, la cual opone dicho rotor al campo electromagnético. La generación y posterior conmutación del campo magnético se realiza en los bobinados de los polos de la parte fija de la máquina, a través de la electrónica de potencia conectada al motor. Con la electrónica de potencia (convertidor de corriente y convertidor de frecuencia), se puede influir de la manera deseada tanto

en las revoluciones como en el par de giro del motor. Los motores de reluctancia conmutados pueden ser pequeños o grandes.[9].

2.4.5 Motor de corriente continua sin escobillas: también conocido como *brushless* es un motor eléctrico que no emplea escobillas para realizar el cambio de polaridad en el rotor.[9].

Los motores eléctricos solían tener un colector de delgas o un par de anillos que se rozan. Estos sistemas, que producen rozamiento, disminuyen el rendimiento, desprenden calor y ruido, requieren mucho mantenimiento y pueden producir partículas de carbón que manchan el motor de un polvo que, además, puede ser conductor.[9].

Los primeros motores sin escobillas fueron los motores de corriente alterna asíncronos. Hoy en día, gracias a la electrónica, se muestran muy ventajosos, ya que son más baratos de fabricar, pesan menos y requieren menos mantenimiento, pero su control era mucho más complejo. Esta complejidad prácticamente se ha eliminado con los controles electrónicos.[9].

El inversor debe convertir la corriente alterna en corriente continua, y otra vez en alterna de otra frecuencia. Otras veces se puede alimentar directamente con corriente continua, eliminado el primer paso. Por este motivo, estos motores de corriente alterna se pueden usar en aplicaciones de corriente continua, con un rendimiento mucho mayor que un motor de corriente continua con escobillas. Algunas aplicaciones serían los vehículos y aviones con radiocontrol, que funcionan con pilas.[9].

Otros motores sin escobillas, que sólo funcionan con corriente continua son los que se usan en pequeños aparatos eléctricos de baja potencia, como lectores de CD-ROM, ventiladores de ordenador, casetes, etc. Su mecanismo se basa en sustituir la conmutación (cambio de polaridad) mecánica por otra electrónica sin contacto. En este caso, la espira sólo es impulsada cuando el polo es el correcto, y cuando no lo es, el sistema electrónico corta el suministro de corriente. Para detectar la posición de la espira del rotor se utiliza la detección de un campo magnético. Este sistema electrónico, además, puede informar de la velocidad de giro, o si está parado, e incluso cortar la corriente si se detiene para que no se produzcan aumentos de corriente. Tienen la desventaja de que no permiten invertir el sentido de giro a partir de la polaridad. Para hacer el cambio se deben hacer modificaciones físicas en el sistema electrónico.[9]

De todos ellos, uno está teniendo un uso más extendido: el motor síncrono de imanes permanentes. Este presenta una gran densidad de potencia y un coste de mantenimiento bajo, unido todo ello a un volumen y peso reducido. Sin embargo, tiene algunas desventajas: un precio alto y tendencia a desmagnetizar sus imanes (ya que es una tecnología no muy experimentada).[9]

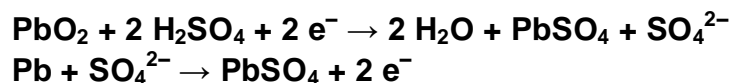
2.5 BATERÍAS

Es un dispositivo que consiste en una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química almacenada en electricidad. Cada celda consta de un electrodo positivo ánodo y un electrodo negativo o cátodo y electrolitos que permiten que los iones se muevan entre los electrodos, facilitando que la corriente fluya fuera de la batería para llevar a cabo su función. Es el componente principal de los vehículos eléctricos puesto que de ellas depende en gran parte el precio, el peso y la autonomía de estos vehículos.[3]

2.6 Tecnologías de las baterías:

2.6.1 Batería de plomo y ácido: Está constituida por dos electrodos de plomo, de manera que, cuando el aparato está descargado, se encuentra en forma de sulfato de plomo (II) (PbSO_4) incrustado en una matriz de plomo metálico en el elemento metálico (Pb); el electrolito es una disolución de ácido sulfúrico. A continuación su funcionamiento: [3]

- **Carga:** Durante el proceso de carga inicial, el sulfato de plomo (II) pierde electrones o se reduce a plomo metal en el polo negativo (cátodo), mientras que en el ánodo se forma óxido de plomo (IV) (PbO_2). Por lo tanto, se trata de un proceso de dismutación. No se libera hidrógeno, ya que la reducción de los protones a hidrógeno elemental está cinéticamente impedida en la superficie de plomo, característica favorable que se refuerza incorporando a los electrodos pequeñas cantidades de plata. El desprendimiento de hidrógeno provocaría la lenta degradación del electrodo, ayudando a que se desmoronasen mecánicamente partes del mismo, alteraciones irreversibles que acortarían la duración del acumulador.[3]
- **Descarga:** Durante la descarga se invierten los procesos de la carga. El óxido de plomo (IV), que ahora funciona como cátodo, se reduce a sulfato de plomo (II), mientras que el plomo elemental se oxida en el ánodo para dar igualmente sulfato de plomo (II). Los electrones intercambiados se aprovechan en forma de corriente eléctrica por un circuito externo. Se trata, por lo tanto, de una conmutación. Los procesos elementales que trascurren son los siguientes:[3]



En la descarga baja la concentración del ácido sulfúrico, porque se crea sulfato de plomo (II) y aumenta la cantidad de agua liberada en la reacción. Como el ácido sulfúrico concentrado tiene una densidad superior a la del ácido sulfúrico diluido,

la densidad del ácido puede servir de indicador para el estado de carga del dispositivo. [3].

- **Ciclos y vida útil:** No obstante, este proceso no se puede repetir indefinidamente, porque, cuando el sulfato de plomo (II) forma cristales, ya no responden bien a los procesos indicados, con lo que se pierde la característica esencial de la reversibilidad. Se dice entonces que la batería se ha «sulfatado» y es necesario sustituirla por otra nueva. Las baterías de este tipo que se venden actualmente utilizan un electrolito en pasta, que no se evapora y hace mucho más segura y cómoda su utilización. Tienen Bajo costo y Fácil fabricación. Aunque por otro lado tiene ciertas desventajas como: No admiten sobrecargas ni descargas profundas, viendo seriamente disminuida su vida útil, Altamente contaminantes. Baja densidad de energía: 30 Wh/kg. Peso excesivo, al estar compuesta principalmente de plomo; por esta razón su uso en automóviles eléctricos se considera poco lógico por los técnicos electrónicos con experiencia. Su uso se restringe por esta razón. [3].

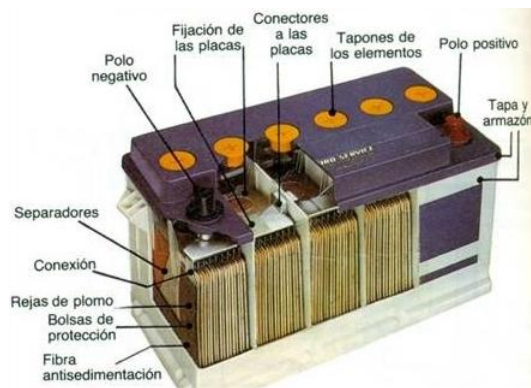


Figura 4. Esquema de una batería de plomo y ácido
Fuente: triplenlace.com/2015/04/09/batera-o-acumulador-de-plomo-voltaje-inmediato

2.6.2 Batería Níquel Cadmio (NiCd): Utilizan un ánodo de níquel y un cátodo de cadmio. El cadmio es un metal pesado muy tóxico, por lo que han sido prohibidas por la Unión Europea. Tienen una gran duración (más de 1.500 recargas). [3]

Ventajas

- Admiten un gran rango de temperaturas de funcionamiento;
- Admiten sobrecargas, se pueden seguir cargando cuando ya no admiten más carga, aunque no la almacena. [3]

Desventajas

- Efecto memoria muy alto;
- Densidad de energía baja.[3]

Características

- Voltaje proporcionado: 1,2 V;
- Densidad de energía: 50 Wh/kg;
- Capacidad usual: 0,5 a 1,0 A (en pilas tipo AA);
- Efecto memoria: muy alto. [3]

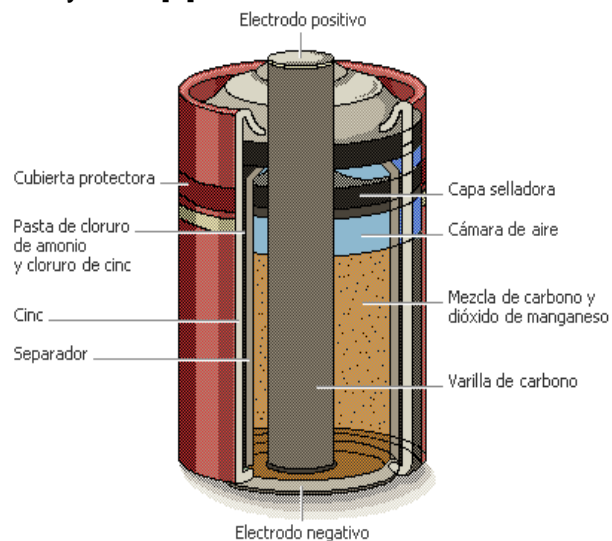


Figura 5. Esquema de una batería de Níquel Cadmio
 Fuente: despertandoconcienciaplanetaria.wikispaces.com

2.6.3 Baterías de Níquel-Hidruro Metálico (NiMH): es un tipo de batería recargable que utiliza un ánodo de oxihidróxido de níquel (NiOOH), como en la batería de níquel cadmio, pero cuyo cátodo es de una aleación de hidruro metálico. Esto permite eliminar el cadmio, que es muy caro y, además, representa un peligro para el medio ambiente. Asimismo, posee una mayor capacidad de carga (entre dos y tres veces más que la de una pila de NiCd del mismo tamaño y peso) y un menor efecto memoria.[3]

Cada pila de Ni-MH puede proporcionar un voltaje de 1,2 voltios y una capacidad entre 0,8 y 2,9 amperio-hora. Su densidad de energía llega hasta los 100 Wh/kg, y los ciclos de carga de estas pilas oscilan entre las 500 y 2000 cargas.² Este tipo de baterías se encuentran menos afectadas por el llamado efecto memoria, en el que en cada recarga se limita el voltaje o la capacidad (a causa de un tiempo largo, una alta temperatura, o una corriente elevada), imposibilitando el uso de toda su energía. [3]

Por el contrario, presentan una mayor tasa de auto-descarga que las de NiCd (un 30% mensual frente a un 20%), lo cual relega a estas últimas a usos caracterizados por largos periodos entre consumos (como los mandos a distancia, las luces de emergencia, etc.), mientras que son desplazadas por las de NiMH para consumos continuos.[3]

No obstante, en 2005 se desarrolló una variante de baja auto-descarga (*lowself-discharge*, LSD) para estas pilas. Las baterías LSD-NiMH presentan una tasa de auto-descarga mucho menor, lo que permite almacenarlas durante largos periodos de tiempo sin dañar la batería por desuso y pudiendo utilizarse de forma inmediata cuando sea requerido.[3]

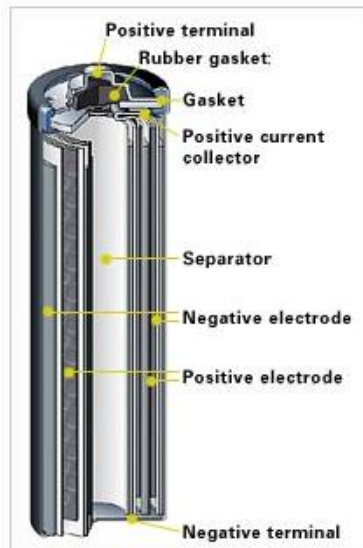


Figura 6. Esquema de una batería de Níquel-Hidruro Metálico Fuente: www.tecnocat.eu/?q=node/6

2.6.4 Baterías de Iones de litio (Li-ion): Las baterías de iones de litio deben su desarrollo a la telefonía móvil y su desarrollo es muy reciente. Su densidad energética asciende a unos 115 Wh/kg, y no sufren el efecto memoria. Las baterías de iones de litio se usan en teléfonos móviles, ordenadores portátiles, reproductores de MP3 y cámaras, y probablemente alimentarán la siguiente generación de vehículos híbridos y eléctricos puros conectados a la red. A pesar de sus indudables ventajas, también presentan inconvenientes: sobre calentamiento, alto coste y, sobre todo, las reservas de litio, sujetas a una gran controversia. **Baterías de polímero de litio:** Es una tecnología similar a la de iones de litio, pero con una mayor densidad de energía, diseño ultraligero (muy útil para equipos ultraligeros) y una tasa de descarga superior. Entre sus desventajas está la alta inestabilidad de las baterías si se sobrecargan y si la descarga se produce por debajo de cierto voltaje.[4]

Las baterías de iones de litio (Li-ion) utilizan un ánodo de grafito y un cátodo de óxido de cobalto, trifilina (LiFePO_4) u óxido de manganeso. Su desarrollo es más reciente, y permite llegar a altas densidades de capacidad. No admiten descargas y sufren mucho cuando éstas suceden; por lo que suelen llevar acoplada circuitería adicional para conocer el estado de la batería, y evitar así tanto la carga excesiva como la descarga completa.[4]

Ventajas

- Apenas sufren el efecto memoria y pueden cargarse sin necesidad de estar descargadas completamente, sin reducción de su vida útil;
- Altas densidades de capacidad.[4]

Desventajas

- No admiten bien los cambios de temperatura;
- No admiten descargas completas y sufren mucho cuando éstas suceden.[4]

Características

- Voltaje proporcionado:
 - A plena carga: entre 4,2 V y 4,3 V dependiendo del fabricante;
 - A carga nominal: entre 3,6 V y 3,7 V dependiendo del fabricante.;
 - A baja carga: entre 2,65 V y 2,75 V dependiendo del fabricante (este valor no es un límite, se recomienda);
- Densidad de energía: 115 Wh/kg;
- Capacidad usual: 1,5 a 2,8 A (en pilas tipo AA);
- Efecto memoria: muy bajo.[4]



Figura 7. Esquema de una batería de lones de litio
Fuente: <http://blog.andalutic.com/>

2.6.5 Baterías Zebra (NaNiCl): Una de las baterías recargables que más prometen son las conocidas como *Zebra*. Tienen una alta densidad energética, pero operan en un rango de temperaturas que va de 270°C a 350°C, lo que requiere un aislamiento. Son apropiadas en autobuses. En Stabio, en el sur del cantón del Tesino (Suiza), se está construyendo una fábrica para producir baterías en serie. Entre sus inconvenientes, además de la temperatura de trabajo, están las pérdidas térmicas cuando no se usa la batería. El automóvil eléctrico *Think City* va equipado con baterías *Zebra* Na-NiCl de 17,5 Kw/h. La distancia que un vehículo eléctrico puede recorrer sin recargar la batería, en los modelos actuales o de próxima fabricación, va de 60 a 250 kilómetros. Hay que tener en cuenta que la mayor parte de los desplazamientos diarios son inferiores a los 60 km. Un vehículo eléctrico consume de 0,12 Kw/h a 0,30 Kw/h por kilómetro; para recorrer 100 kilómetros haría falta una batería con una capacidad de 12 Kw/h a 30 Kw/h, dependiendo del modelo. Aunque el mercado de los vehículos eléctricos está en sus inicios, ya se comercializan bicicletas eléctricas, motocicletas, automóviles, vehículos de reparto e incluso pequeños autobuses, como los que circulan en Madrid, Málaga, Segovia y otras ciudades. Entre 2010 y 2012 habrá una verdadera explosión, pues la práctica totalidad de las empresas automovilísticas están desarrollando vehículos totalmente eléctricos o híbridos eléctricos con conexión a la red, como el Volt de General Motors. La generalización de las baterías recargables debe evitar los errores del pasado, y para ello se debe considerar todo el ciclo de vida del producto, desde la extracción de las materias primas al reciclaje o eliminación, pasando por la fabricación y la operación, evitando o minimizando en todas las fases la contaminación y el vertido, y muy especialmente de metales pesados. Las tasas actuales de reciclaje de baterías de vehículos alcanzan o superan el 90%, tasas

mucho más elevadas que las pequeñas baterías empleadas en usos domésticos (menos del 10%), y que en gran parte acaban en los vertederos. Dado que el litio es totalmente reciclable, cabe esperar que las tasas del 90% se mantengan e incluso aumenten ligeramente.[4]

2.7 CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LAS BATERIAS

2.7.1 Capacidad: Se define como la cantidad de electricidad que puede entregar antes de que su tensión disminuya por debajo de un valor mínimo. La capacidad, que se representa con el símbolo “C” y se expresa en “Ah” (amperios hora).

2.7.2 Capacidad específica: Es la capacidad por unidad de peso o volumen de una batería.

2.7.3 Energía específica: Es la energía que es capaz de almacenar dividida entre la masa (Wh/kg) o el volumen (Wh/l).

2.7.4 Densidad de potencia: Es la potencia que puede suministrar una batería por unidad de volumen y se expresa en W/l (lo más usual) o en W/dm³. Si la potencia viene dada en función de la unidad de peso (W/Kg) lo que tenemos es la potencia específica.

2.7.5 Densidad de energía: Es la energía que se puede extraer de una batería por unidad de volumen y se expresa en Wh/l (lo más usual) o en Wh/dm³. Si la energía viene dada en función de la unidad de peso (Wh/Kg) lo que tenemos es la **energía específica** de la batería. [5]

Tabla 1 .Características de las baterías.

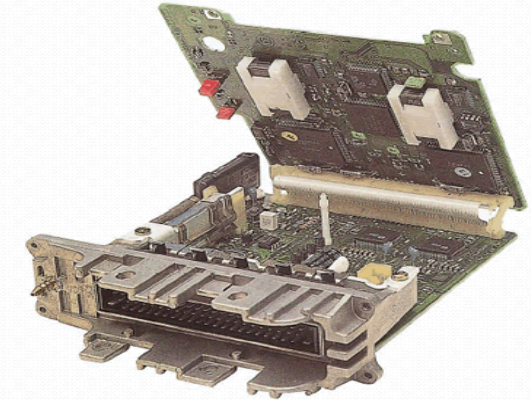
Tipo	Plomo (Pb)	Níquel-Cadmio (Ni-Cd)	Níquel-Hidruro (Ni-MH)	Iones de Litio (Li-ion)	Polímero de Litio (Li-Po)
Voltaje por Célula	2 V	1.2 V	1.2 V	3.7 V	3.7 V
Ah	7 – 960 Ah	0.5 – 1 Ah	0.5 – 10 Ah	-	-
Memoria	Medio	Muy Alto	Bajo	Inexistente	Inexistente
Potencia/Kilo	30 Wh/Kg	50 Wh/Kg	70 Wh/Kg	110-160 Wh/Kg	100-130 Wh/Kg
Sobrecarga	No soportado	Soportado	No recomendable	Soportado	Soportado
Descarga	No soportado	Necesaria	Recomendable	Fallo a -2.5 V	Fallo a -2.5 V
Nº de Recargas	1000 aprox.	500 aprox.	1000 aprox.	4000 aprox.	5000 aprox.
T de descarga/mes	5 %	30 %	20 %	6 %	6 %
Tiempo de carga	8 – 16 h	10 – 14 h	2 – 4 h	2 – 4 h	1 – 1.5 h

2.8 Cargador AC/DC: Los vehículos eléctricos necesitan de carga externa para recargar sus baterías. Por ello, cuenta con un cargador que es capaz de transformar la corriente alterna de un enchufe a corriente continua. La carga de corriente depende de la tecnología y de la capacidad de la batería a cargar. [10]



Figura 8: cargador para vehículo eléctrico. Fuente: Endesa.com

2.9 Controlador electrónico: Elemento fundamental, ya que éste determina la cantidad de energía que debe recibir el motor eléctrico de las baterías y viceversa (cuando el generador recarga las baterías) en función de diversos parámetros, como la posición del pedal de acelerador. Es el elemento intermedio entre las baterías y el motor eléctrico. Sería la ECU del vehículo eléctrico.[10]



**Figura 9: controlador electrónico
Fuente.aficionadosalamecanica.net**

2.10 Conversor DC/DC: Varía el voltaje de alta tensión a otro de baja tensión para la batería de 12V (similar a las que montan los vehículos convencionales) que se usa para los elementos auxiliares del vehículo.[2]



Figura 10: conversor
Fuente. directindustry.es

2.11 Inverter/convertidor: Convierte la corriente continua de las baterías en alterna para hacer funcionar el motor, y la corriente alterna del generador en continua para que pueda ser almacenada en las baterías. Debe de ir refrigerado, normalmente con agua.[2]



Figura 11: Convertidor
Fuente: electricalindustry

2.12 TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

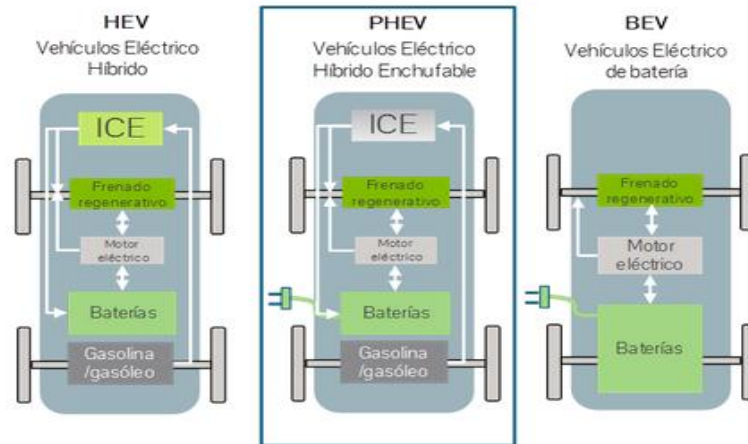


Figura 12: Tipología de vehículos eléctricos. Fuente: wwwf/adena

Por orden cronológico de dicha evolución tecnológica, éstos se pueden clasificar en cuatro (4) grupos:

2.12.1 Vehículo híbrido (HEV), combina el motor de combustión interna de un vehículo convencional con la batería y el motor eléctrico de un vehículo eléctrico. La combinación ofrece bajas emisiones con la potencia, alcance y conveniente abastecimiento de combustible de los vehículos convencionales. Para adquirir la energía que se almacena en la batería, motor está conectado a una unidad que proporciona potencia variable a las ruedas, dando mayor eficiencia operativa, el vehículo se carga durante el frenado. La energía eléctrica para el motor se genera a partir de frenado regenerativo y el motor de gasolina. Las ruedas están accionadas conjuntamente por el motor eléctrico y por el motor de gasolina.

Cuando el vehículo arranca, el motor de gasolina se calienta, si es necesario, el motor eléctrico actúa como un generador, que convierte la energía del motor en electricidad y la almacena en la batería. Durante la conducción el motor de gasolina mueve el vehículo y puede proporcionar potencia a la batería para su uso posterior. Cuando se requiere más aceleración o más potencia, el motor de gasolina y el motor eléctrico se utilizan conjuntamente. El frenado regenerativo convierte la energía de frenado (energía cinética) en electricidad y la almacena en la batería. Cuando el vehículo se detiene, el motor de gasolina y el motor eléctrico se apagan automáticamente para evitar desperdicios y la batería continúa suministrando energía a sistemas auxiliares como el aire acondicionado.

Según las necesidades el vehículo puede funcionar en modo solo eléctrico, solo en combustión o los dos simultáneamente. En funcionamiento solo eléctrico su autonomía es de, tan solo, unos 60 km.[11]

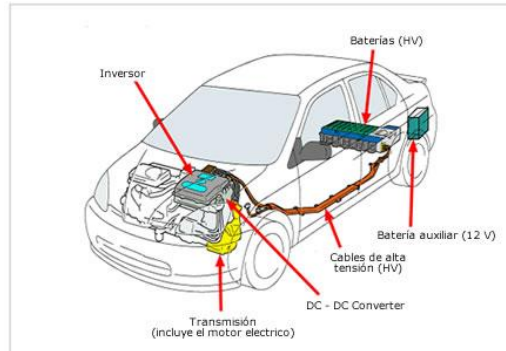


Figura 13: Esquema de un vehículo híbrido eléctrico. DOE, Alternative Fuels & Advanced Vehicles Data Center

2.12.2 Vehículo híbrido eléctrico enchufable ó plug-in (PHEV) además de la generación de electricidad con el frenado tienen baterías que se cargan mediante la conexión a la red. Similar a los HEVs, usan el motor de gasolina como fuente principal de potencia y el motor eléctrico; sin embargo, las baterías recargables mediante conexión son más grandes. Cuando se arranca el vehículo, la batería proporciona energía a todos los accesorios; sólo si está descargada o la energía almacenada no es suficiente, el motor de gasolina se enciende. Si se necesita mayor potencia o en conducción bajo mayor velocidad y aceleración ambos motores funcionan conjuntamente. Pueden conducirse por unas 40 millas usando solo el motor eléctrico cuando se conduce en baja velocidad y baja aceleración, y cuando esta energía se agota pueden seguirse conduciendo con el motor de gasolina, que de manera similar a los vehículos híbridos, aunque en poca medida, recarga las baterías mientras se conduce y se frena. Luego se puede obtener una carga completa mediante la conexión a la red eléctrica. Estos vehículos tienen mayor eficiencia de combustible, alcanzando el doble de economía en el combustible pues la electricidad es más barata que los combustibles fósiles. [11]

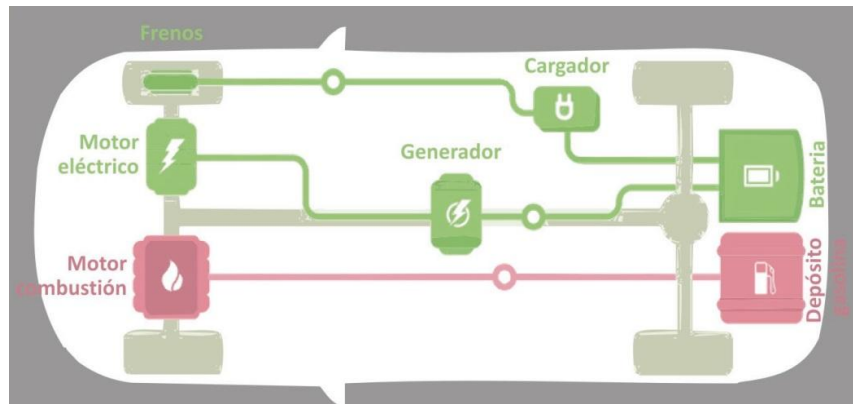


Figura 14: Esquema de un vehículo híbrido plug-in (PHEV).

2.12.3 Vehículo eléctrico de batería: Los vehículos puramente eléctricos (EV), utilizan la energía eléctrica para mover el motor del vehículo, la energía es almacenada en baterías u otro dispositivo, que son recargados mediante conexión a la red eléctrica a 110V o 240V o incluso a 480V. Son vehículos que requieren menos mantenimiento que los vehículos convencionales pues no requieren cambio de aceite o control de gases, solo requieren el reemplazo de la batería de acuerdo con su tiempo útil. No emiten gases, contribuyendo a aliviar el problema del calentamiento global, aunque la forma en que se genera la electricidad puede generar gases efecto invernadero. El principal obstáculo para el desarrollo de estos vehículos ha sido la batería, por el largo tiempo de recarga, el peso, la corta vida útil (3 a 4 años) y la baja autonomía, además los rendimientos de escala que sólo mejoran si se aumenta el número de usuarios. [11]

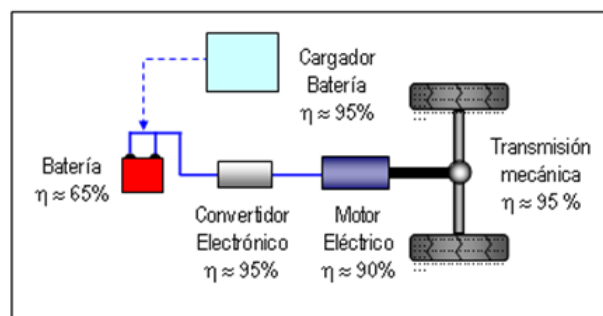
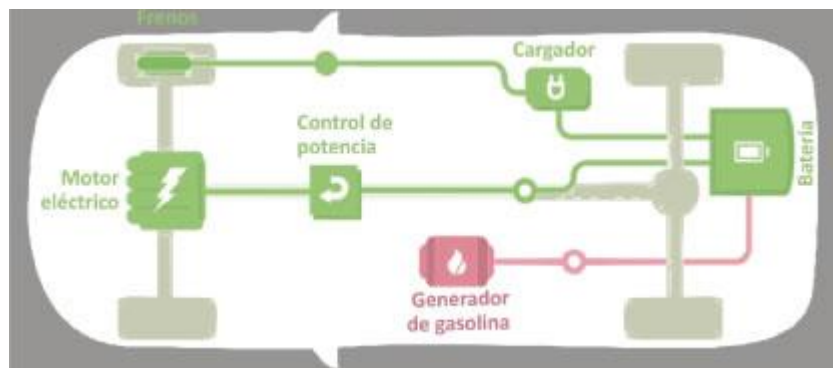


Figura 15: Esquema comparativo de un vehículo eléctrico, EV (rojo) con uno convencional (verde). Fuente: Hybrid Cars.

2.12.4 Vehículo eléctrico de autonomía extendida: Tiene las mismas características que el vehículo eléctrico de batería, pero lleva además otra fuente secundaria. Una que funciona como un generador interno para recargar las baterías, lo que permite aumentar la autonomía del vehículo.

Se trata de un pequeño motor auxiliar de combustión que recarga las baterías en el caso de que éstas se agoten y no se tenga donde recargarlas. Nada más. El motor de combustión no mueve el vehículo, sólo genera energía para recargar las baterías y así contar con una mayor autonomía para el motor eléctrico. Según los modelos, la anterior autonomía entre 80 y 200 Km, se puede alargar con el motor de combustión, cargando las baterías, por encima de los 600 Km.[11]



**Figura 16: Esquema de un vehículo eléctrico de autonomía extendida.
Fuente: Hybrid Cars.**

2.13 Infraestructura de recarga

Como cualquier sistema de transporte, el vehículo eléctrico requiere de la existencia de una infraestructura que le permita tener acceso a la fuente de energía que alimenta su motor, en este caso, la electricidad.

Uno de los principales retos del vehículo eléctrico es crear una infraestructura de recarga fiable, accesible y cómoda para el ciudadano. Una posible opción para catalogar los puntos de recarga es en función de su ubicación y uso.

En la actualidad hay varios tipos de recarga; desde los lentos, idóneos para recargar en casa, hasta los más rápidos, capaces de completar la carga en diez minutos:

2.13.1 Carga lenta: es la más estandarizada y todos los fabricantes de vehículos eléctricos la aceptan. Se suele realizar con corriente alterna monofásica a una tensión de 230 voltios (V) y una intensidad de hasta 16 amperios (A). El tiempo necesario para una recarga completa de la batería (tipo 24kWh) ronda entre las 6 y 8 horas. Es apto para garajes privados, ya que es la misma tensión y corriente que la doméstica.

2.13.2 Carga semi-rápida: sólo la aceptan algunos vehículos, aunque es previsible que en fechas próximas sea un tipo de recarga bastante común. La carga se realiza con corriente alterna trifásica, con una tensión de 400V y una intensidad de hasta 64A. En este caso, el tiempo de recarga se reduce a 3 ó 4 horas.

2.13.3 Carga rápida: concebida a más largo plazo por sus mayores complicaciones. Algunos fabricantes ya la admiten. Consiste en alimentar al vehículo con corriente continua a 400V y hasta 400A. El tiempo de recarga se reduce a unos 15 - 30 minutos.

2.13.4 Intercambio de batería: es una solución óptima para poder generalizar el uso de los vehículos eléctricos. No requiere tiempos de espera para recargas. Consiste en retirar la batería descargada y reemplazarla por otra batería completamente cargada. De esta manera la batería descargada se queda en la estación y se recarga para ser utilizada en otro vehículo.

2.14 Ventajas de los vehículos eléctricos

- Un motor eléctrico no quema combustibles durante su uso, por lo que no emite gases a la atmósfera.[12].
- Un motor eléctrico producido en serie es más compacto, más barato y mucho más simple que un motor de combustión interna. No necesita circuito de refrigeración, ni aceite, ni demasiado mantenimiento.
- Prácticamente no hace ruido al funcionar y sus vibraciones son imperceptibles.
- Funciona a pleno rendimiento sin necesidad de variar su temperatura. Al no tener elementos oscilantes, no necesita volantes de inercia ni sujeciones espaciales que lo aíslen del resto del vehículo. Al generar poco calor y no sufrir vibraciones su duración puede ser muy elevada.
- Un motor eléctrico no necesita cambio de marchas, exceptuando un mecanismo para distinguir avance o retroceso, que bien puede ser la inversión de polaridad del propio motor.

- Teóricamente un motor eléctrico puede desarrollar un par máximo desde 0 rpm, por lo que hace posible arrancar desde cero con una velocidad máxima.
- Una vez que se elimina la caja de cambios y la refrigeración, se abre la posibilidad de descentralizar la generación de movimiento, situando un pequeño motor en cada rueda en lugar de uno “central” acoplado a una transmisión. Lo que puede suponer una nueva distribución del espacio del vehículo.
- En cuanto a la eficiencia del motor eléctrico, ésta se sitúa alrededor del 90%. Por limitaciones termodinámicas un motor diesel se situaría en eficiencias de hasta un 40%, siendo éste superior a la eficiencia de un motor de gasolina.
- Resulta sencillo recuperar la energía de las frenadas (o parte de ella) para recargar las baterías, porque un motor eléctrico puede ser también un generador eléctrico.
- Otra gran ventaja del vehículo eléctrico es su proceso reversible. Esto quiere decir que de igual manera que carga su batería a través de la red eléctrica, el vehículo puede aportar también energía a la red eléctrica, de manera reversible. Este hecho se conoce como *Vehicle 2 Grid*. [12]

2.15 Desventajas de los vehículos eléctricos:

- La principal desventaja y la más importante es la autonomía que tiene el vehículo eléctrico sin conectarlo a la red. El hecho de que a los 100 o 120 kilómetros de viaje se tenga que recargar las baterías limita mucho a los usuarios. En cambio, con los motores de combustión el tiempo entre repostaje y repostaje es mucho más elevado. Aun así las marcas de vehículos trabajan para aumentar la autonomía de sus modelos y cada vez nos encontramos modelos con más autonomía.
- Otro inconveniente relacionado con la autonomía del vehículo es el tiempo de repostaje, ya que se requieren de horas para realizar una carga completa.
- Además, las baterías eléctricas tienen fecha de caducidad, ya que se degeneran con el uso y empiezan a tener menor capacidad de carga.
- La necesidad de carga de los vehículos eléctricos hace que exista más demanda de electricidad proveniente de micro generadores o centrales eléctricas. A más demanda, más generación y más consumo de los recursos naturales. [12]

Capítulo 3

3. Estado del arte

La historia del vehículo eléctrico a lo largo del último siglo es como una sucesión de oportunidades perdidas e intentos fallidos. Después de haber sentado las bases de la industria del automóvil en los primeros albores del siglo XIX, el vehículo eléctrico se dejó de lado en favor del vehículo con motor de combustión interna. Este tipo de motor era más efectivo y se fue arraigando cada vez más durante el siglo XX, participando en el incremento de popularidad entre la población en la industria del automóvil [1].

El vehículo eléctrico se ha visto apartado del mercado durante mucho tiempo, pero su credibilidad ha resurgido durante ciertos momentos puntuales de la historia, como pueden ser las diferentes guerras o la crisis del petróleo. Aun así, surge cada cierto tiempo gracias a sus innovaciones y sus promesas de movilidad sostenible. Nadie pasa por alto sus cualidades intrínsecas: tecnología simple, funcionamiento silencioso y robustez. Después de un siglo, parece que el vehículo eléctrico ha conseguido avanzar notablemente. Hoy en día estamos viviendo un resurgir del vehículo eléctrico sin precedentes. Su desarrollo se ha visto motivado por la escasez de recursos petrolíferos, por el calentamiento global, por las nuevas tecnologías y por el cambio en ciertas actitudes y posturas de la población. Es la primera vez que tanto los fabricantes como las autoridades de la gran mayoría de países están haciendo un gran esfuerzo para darle al vehículo eléctrico una nueva oportunidad. Con esto, se está escribiendo una nueva página de la historia [1].

El vehículo eléctrico no nació ayer. A finales del siglo XIX, los primeros vehículos motorizados usaban motores eléctricos. Había que buscar una alternativa a los sistemas de tracción animal para los Hackney Cabs, los taxis oficiales de la época. Dos nuevas tecnologías se enfrentaron en ese propósito: el motor eléctrico contra el motor térmico. En 1877, un alemán llamado Nikolaus August Otto inventó el motor de combustión de cuatro tiempos mientras que en 1859, Gastón Planté diseñaba las primeras baterías de plomo y ácido en Bélgica, pero no fue hasta 1881 cuando el francés Charles Jeantaud construyó el Tílburi, el que probablemente sea el primer vehículo eléctrico alimentado con baterías. Sin embargo, tras recorrer sus primeros cien metros acabó consumido por las llamas. [1]

Tuvo que pasar algo más de una década para poder ver por las calles motores eléctricos, dando lugar a los primeros servicios de los Hackney Cabs. Aparte de los modelos construidos a petición de ricos empresarios y fabricados de forma individual, el verdadero debut de los vehículos eléctricos fue en las flotas de taxis

de Inglaterra con los conocidos Taxi-Cab, para extenderse posteriormente a Francia o Estados Unidos. En aquellos años, la solución ideal para este tipo de transporte pasaba por el motor eléctrico. Las cualidades que lo hacían mejor respecto al motor térmico siguen siendo las mismas que hoy en día: no emite ningún sonido en su funcionamiento, facilidad de uso y robustez. [1]

Varios fabricantes competían en el mercado francés, como Charles Jeantaud, Louis Krieger o Charles Mildé, que ofrecían turismo y vehículos comerciales con motores eléctricos. Por otra parte, en 1899 el piloto belga Camille Jenatton conseguía romper un record de velocidad con su bólido eléctrico "La Jamais Contente" (La que nunca está satisfecha), al superar los 100 km/h. [1]

A pesar de un inicio alentador, el vehículo eléctrico no tardaría en enfrentarse a sus limitaciones tecnológicas: prestaciones limitadas, poca autonomía y tiempos de carga demasiado largos. Un vehículo eléctrico corriente no pasaba de los 20 km/h y tenía una autonomía limitada a 50 km. Unas limitaciones que favorecieron el desarrollo del motor térmico, en parte gracias también a los progresos conseguidos en su desarrollo por parte de Gottlieb Daimler en Alemania.[1]

A principios del siglo XX, cuando el petróleo empezó a ser un producto más asequible, el motor de combustión empezó a tener éxito. De hecho, motivados por ese repentino éxito del motor de combustión, los fabricantes de vehículos eléctricos empezaron a cerrar sus fábricas o se pasaron directamente a la producción de motores térmicos.[1]

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

"Para ciertos sectores de la población el vehículo eléctrico carecía de virilidad. No era lo suficientemente potente, era demasiado silencioso y por encima de todo, era muy apreciado por las mujeres. En una sociedad machista como la de la época, el motor térmico con sus ruidos y sus escapes humeantes se veía como algo más impresionante y exclusivo. De hecho, su complejidad mecánica hacía que las mujeres quedarán excluidas en las tareas de reparación y convertía al motor de combustión en un objeto decididamente masculino."[1]

A pesar de sus innegables cualidades, el vehículo eléctrico se vio condenado al ostracismo en Europa. En los Estados Unidos aún tuvo algunos años más de vida, ya que allí la tercera parte de los vehículos que rodaban en 1912 por las carreteras estatales eran eléctricos. Sin embargo, la llegada al mercado del Ford Model T en 1908 marcó un punto de inflexión y ese punto fue el principio del fin del vehículo eléctrico.[1]

Aunque el vehículo eléctrico se mantuvo a la sombra del vehículo con motor térmico durante buena parte del siglo XX, su desarrollo permaneció activo y se le seguía tratando como una alternativa fiable cuyo potencial no se había desarrollado al máximo. “Su historia apenas había alcanzado sus primeras etapas, en las que ya había alcanzado acontecimientos importantes”, destaca Mathieu Flonneau. Por lo tanto, “el vehículo eléctrico aún podía sobrevivir y volvería a ser el centro de atención, sobre todo durante épocas difíciles. Las guerras y las diferentes crisis del petróleo fueron buenas oportunidades para reanudar la investigación en la energía eléctrica”.[1]

El primer reflote de la investigación de las tecnologías eléctricas llegó en la década de 1920 en Francia, donde se había construido una importante red de abastecimiento eléctrico y las autoridades buscaban la forma de minimizar su dependencia del petróleo. Mientras que los tranvías, la red subterránea del metro y los trolebuses revolucionaban el transporte público, se empezó a replantear la estrategia de convertir los vehículos de la época a vehículos eléctricos.[1]

En este contexto, se creó en 1925 *la Société des Véhicules Electriques* (Sociedad de Vehículos Eléctricos) y se empezaron a fabricar camiones y carros de carga con compañías especializadas en el sector como Sovel o Vetra, llegando a la producción de varios miles de vehículos. Con esto, se estableció en Europa y Estados Unidos un nuevo nicho de mercado en torno al vehículo comercial eléctrico. En 1927 ya había alrededor de 6.000 camiones y furgonetas eléctricas en las carreteras del estado de Nueva York. Pese a todo, esta nueva tendencia no llegó al vehículo para particulares, que se mantenía con el motor de combustión interna.[1]

Durante la Segunda Guerra Mundial llegó la escasez de petróleo a Francia y era necesario buscarle un sustituto. Una vez más se pensó en la electricidad como una fuente de energía para los vehículos. Fue una época de economías provisionales y de transformación de los vehículos existentes.[1]

Varios fabricantes de primer orden estuvieron experimentado con estos factores: Renault con Renault Juvaquatre, Peugeot con el Peugeot 202 y Mildé-Krieger con La Licorne. Probablemente, el modelo que más prosperó fue el C.G.E. Tudor, desarrollado por el ingeniero Jean-Albert Grégoire. Se construyeron alrededor de 200 unidades y tenía una autonomía de unos 100 km. Durante la ocupación de Francia se vivió la aparición de los primeros utilitarios eléctricos, en particular los construidos por Jean-Pierre Faure. Sin embargo, los problemas de suministro de ciertos materiales necesarios para la construcción de las baterías, como el cobre o el plomo y el decreto de 1942 que prohibía la electrificación de vehículos eliminaron incentivos para las investigaciones y el desarrollo del vehículo eléctrico. Durante este periodo se siguió investigando y desarrollando el vehículo eléctrico para volver a empezar de nuevo.[1]

Durante la época dorada de Francia (1944 a 1975), los vehículos para particulares se convirtieron en un producto de consumo masivo. El progreso de la industria del

automóvil tuvo un gran auge en la sociedad, todo volvía a ser posible, incluso el vehículo eléctrico. La energía nuclear y las células de combustible devolvieron la esperanza a los investigadores e inspiraron prototipos tan futuristas como el Simca Fulgur o el Ford Nucleón.

Pero este periodo tan efervescente también suscitaba temores. “La imagen del vehículo comenzó a cambiar en la conciencia colectiva. Durante muchos años fue un símbolo de libertad y poder, pero empezó a asociarse frecuentemente con palabras como peligroso, contaminante y violento”, señala el historiador Pascal Griset en su libro “L’Odyssée du transport électrique” (La Odisea del transporte eléctrico). La urbanización de ciudades favoreciendo el uso del vehículo particular y los primeros atascos llevaron a reconsiderar el modelo de desarrollo del automóvil.[1]

Los fabricantes volvieron a investigar las virtudes de la energía eléctrica, que siempre había sido reconocida por sus cualidades en un entorno urbano. Renault desarrolló en 1959 en Estados Unidos un Renault Dauphine eléctrico al que llamó Henney Kilowatt; esta misma iniciativa se desarrolló en Italia donde Fiat construyó un prototipo eléctrico basado en el Fiat 1100. Unos años más tarde, los utilitarios eléctricos se pusieron de moda, sobre todo gracias a los prototipos Ford Comuta y Ford Berliner y por supuesto, gracias a las primeras scooter eléctricas. [1]

Estos prototipos se construyeron en pequeñas cantidades, pero consiguieron ser el emblema de un momento en el que se buscaban nuevos puntos de referencia. “El modelo de vehículo masculino empezaba a desintegrarse. En una sociedad en la que el vehículo empezaba a cuestionarse, el vehículo eléctrico de nuevo empezaba a ganar credibilidad. Con esto se presentó una nueva oportunidad para la industria del automóvil, la posibilidad de avanzar en un comportamiento ejemplar”.[1]

Esta tendencia se aceleró notablemente con la primera crisis del petróleo en 1973, despertando en la conciencia colectiva el riesgo de depender del petróleo. Otra vez, la necesidad de buscar soluciones alternativas se convirtió en una prioridad en los Estados Unidos. Alrededor del mundo se crearon organizaciones como la Electric Vehicle Council en Estados Unidos, la Tokyo Electric Power Co. en Japón, The Electricity Council en Inglaterra y la Rheinisch Westfälische Elektrizitätswerk en Alemania. En Francia, la distribuidora eléctrica Électricité de France empezó a trabajar con PSA y Renault con el fin de crear condiciones favorables para el desarrollo del vehículo eléctrico, principalmente en una red de punto de recarga.[1]

En 1974, la compañía americana Sebring-Vanguard empezó la producción en serie del primer vehículo eléctrico producido en masa, el CitiCar, un pequeño utilitario del que se produjeron unas 2.000 unidades hasta 1977. En 1980,

Peugeot y Renault contaban con dos modelos con variante eléctrica, el Peugeot 205 y el Renault Express, equipados con baterías de níquel-hierro, con una autonomía que rondaba los 140 kilómetros y una velocidad máxima de 100 km/h. Toyota apostó por las baterías de zinc-bromo para su prototipo Toyota EV-30 mientras que Mercedes-Benz experimentaba con baterías de sal fundida y baterías de sulfuro de sodio.[1]

En 1995, esta nueva dinámica llevó a la alianza Peugeot-Citroën a desarrollar a un proyecto de gran escala con la producción y venta de dos modelos 100% eléctricos, el Peugeot 106 y el Citroën Saxo. Desafortunadamente, no tuvieron éxito alguno, ya que sólo se vendieron 10.000 unidades hasta 2002, una cifra muy por debajo de las previsiones, cifradas en 1.000.000 de unidades vendidas durante ese mismo periodo. Durante el mismo periodo, Renault construyó varias unidades del Renault Clio y varios centenares de la Renault Kangoo con motor eléctrico.

Pero ambos fabricantes tuvieron los mismos problemas, las baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd) tenían una autonomía limitada a 60/80 kilómetros. Renault también vendió una versión de la Renault Kangoo denominada Elect'Road, una versión eléctrica de rango extendido, que contaba con un pequeño motor térmico que hacía las veces de generador eléctrico. A pesar de todo, estos modelos no tuvieron ningún éxito comercial. En los Estados Unidos el vehículo eléctrico también experimentó un tremendo fracaso cuando General Motors abandonó el desarrollo del GM EV1, que se suponía que debería haber revolucionado el mercado americano.

Indudablemente, el vehículo eléctrico luchaba por salir a flote durante una época poco propicia, finales de 1990, una época marcada por una notable caída en los precios del petróleo, lo que motivaba una menor atención por parte del público en general y la presión gubernamental en la búsqueda de soluciones alternativas se reducía notablemente. [1]

3.1 FECHAS SIGNIFICATIVAS EN LA HISTORIA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

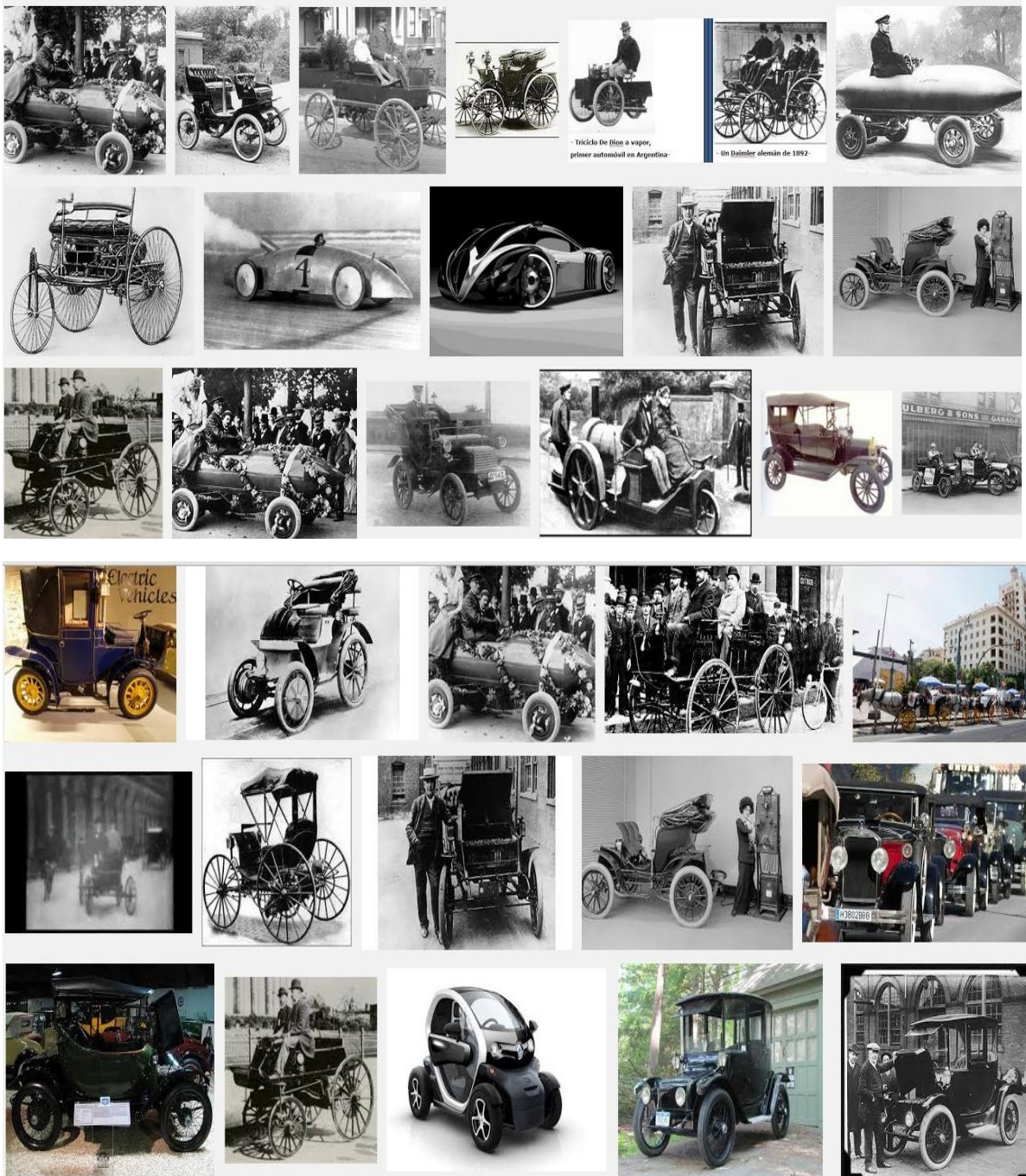
- El francés Gaston Planté inventa las baterías recargables de plomo y ácido en 1859. En 1881 Camille Faure las perfeccionó.[1]
- El ingeniero francés Charles Jeantaud construyó el Tilbury en 1881, uno de los primeros vehículos eléctricos. Funcionaba con alrededor de 20 componentes distintos pero se prendió fuego a escasos cien metros del taller durante la primera prueba.[1]
- En 1894 se citaba al Electrobat como uno de los primeros vehículos eléctricos viables. Este vehículo lo diseñaron el ingeniero Henry G. Morris y el químico Perdo G. Salomon en Philadelphia en 1895. [1]

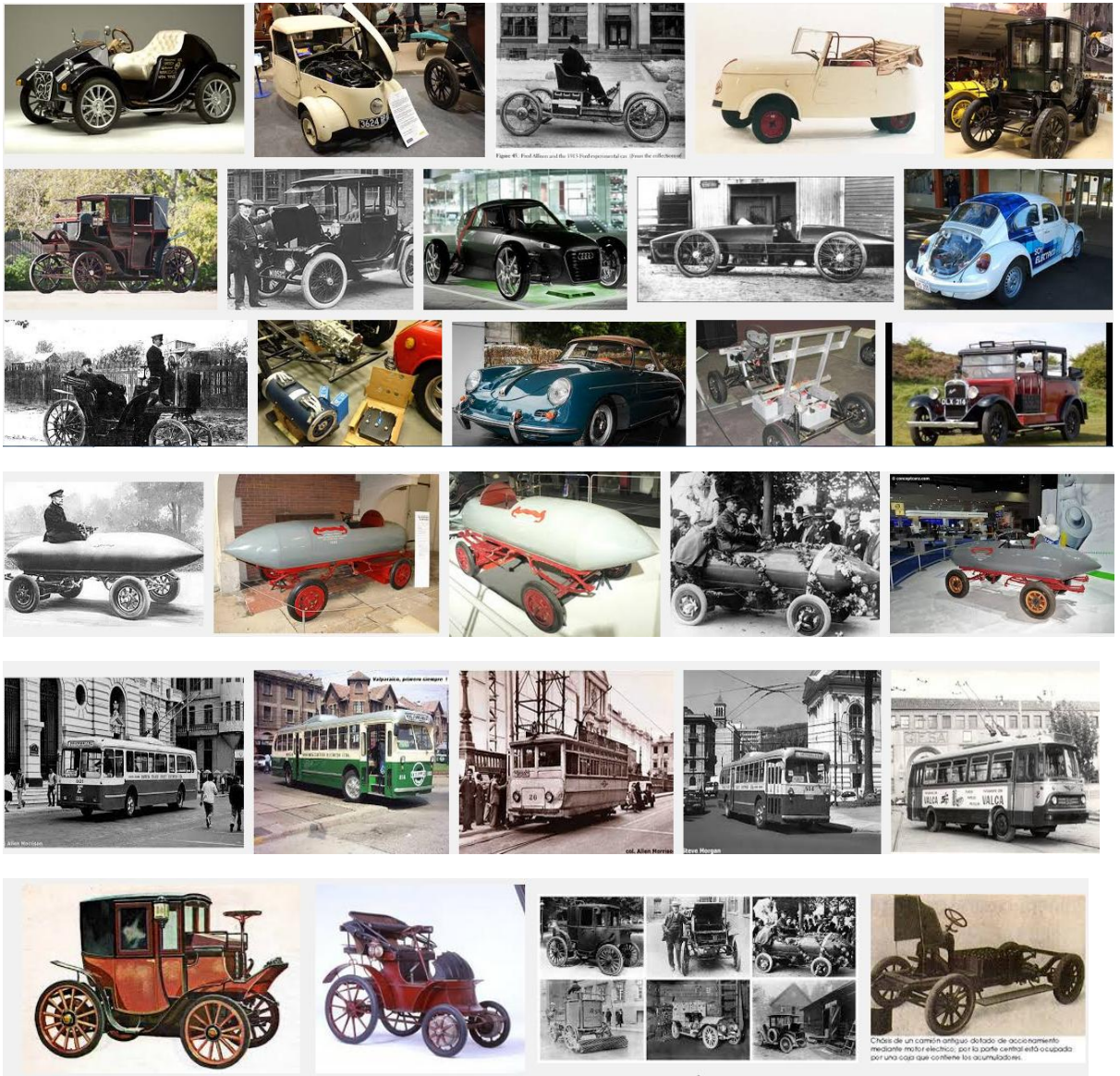
- En 1897 la compañía London Electric Cab ofrecía por primera vez un servicio de taxi con vehículos eléctricos. Estos rudimentarios vehículos, diseñados por Walter Bersey, estaban pensados para la clase alta de la sociedad acostumbrada a los carruajes de caballos.[1]
- El 1 de mayo de 1899 Camille Jenatzy estableció en Bélgica un record mundial de velocidad con el prototipo "La Jamáis Contenté" (La que nunca está satisfecha).[1]
- En 1911 la Detroit Electric Company empezó la producción de vehículos eléctricos con cierto éxito. Hasta 1916, se vendieron varios millares de unidades.[1]
- George Levy fundaba en 1925 la *Société des Véhicules Electriques* (Sociedad de Vehículos Eléctricos). Bajo las marcas Sovel y Vetra la compañía fabricó en Francia cientos de vehículos comerciales eléctricos anualmente. [1]
- En 1940 el artista Paul Arzens presentaba su Œuf (Huevo), un pequeño vehículo eléctrico hecho completamente de aluminio con un diseño futurista para la época. [1]
- Durante la ocupación francesa, en 1941, el CGE Tudor de Jean Albert Grégoire estableció un nuevo record de velocidad al recorrer la distancia que separa París y Tours a una velocidad media de 42 km/h. Esta distancia es de unos 250 km y lo hizo con una sola carga.[1]
- En 1941 se presentó el Peugeot VLV (VoitureLégère de Ville, vehículo Urbano Ligerero), Hasta 1945 se vendieron 337 unidades.[1]
- En 1947, con el fin de hacer frente a la escasez de recursos, Nissan y la *Tokyo Electric Cars Company* desarrollaron en Japón la furgoneta eléctrica Tama Electric. [1]
- Renault desarrolló el Henney Kilowatt en 1959 en colaboración con la compañía americana Eureka Williams. Basado en el Renault Dauphine, fue uno de los primeros vehículos eléctricos modernos. Se quedó en la fase de prototipo al ser demasiado caro de producir en serie.[1]
- En 1967 el *diminito* Ford Comuta (apenas 2,03 metros de largo) relanzaba el vehículo eléctrico en Estados Unidos como una solución viable para el tráfico en la ciudad. Tenía capacidad para transportar dos adultos y dos niños. [1]
- Después de la crisis del petróleo de 1974, la compañía Sebring-Vanguard, con sede en Florida, empezó la producción del que se considera el primer vehículo eléctrico producido en masa, el CitiCar, Se construyeron alrededor de 2.000 unidades entre 1974 y 1977.[1]
- En 1984 Peugeot desarrolló un prototipo del Peugeot 205 eléctrico.
- Como parte del programa VOLTA 4, Renault desarrolló en 1984 un vehículo comercial eléctrico denominado Renault Master. [1]
- Gracias al apoyo del estado de California, General Motors empezó en 1990 un ambicioso programa de desarrollo del vehículo eléctrico basado en el prototipo GM Impact, presentado ese mismo año en el Los Ángeles Auto Show. Este proyecto llevó a cabo la producción de alrededor de 1.000

unidades entre 1996 y 1998 del vehículo eléctrico General Motors EV1. En 1998 el proyecto se abandonó.[1]

- Renault presentaba en 1991 durante el Frankfurt Motor Show el prototipo Renault Elektro-Clio.[1]
- El grupo PSA empezó la comercialización de los Peugeot 106 y Citroën Saxo eléctricos. Hasta 2002, se vendieron únicamente 10.000 unidades, muy por debajo de las previsiones, que se cifraban en 1.000.000 unidades vendidas en el mismo periodo.[1]
- Tras varios años de pruebas, el grupo INRIA implementaba en 1997 su proyecto de desarrollo sostenible, la primera flota de vehículos eléctricos de alquiler en Sain-Quentin-en-Yvelines. Alrededor de 50 vehículos eléctricos (todos ellos Renault Clio) estaban disponibles para los clientes.[1]
- Toyota lanza en 1997 la primera generación del Toyota Prius, el primer vehículo híbrido de producción en serie.
- Renault comercializa en 2003 la Renault Kangoo Elec'Road, una versión híbrida de su furgoneta.[1]
- En 2005 Tesla Motors lanza al mercado el Tesla Roadster, el primer deportivo eléctrico y equipado con baterías de ión-litio.[1]
- En 2006 Bollaré desarrolla la primera generación del BlueCar, un pequeño utilitario eléctrico equipado con baterías de ión-litio polímero.
- En el Frankfurt Motor Show de 2009 Renault presenta su programa de vehículos eléctricos, compuesto por el Renault Fluenze Z.E., el Renault Kangoo Z.E., el Renault ZOE y el Renault Twizy.[1]
- En 2010 el grupo PSA lanza al mercado sus dos modelos eléctricos, el Citroën C-Zéro y el Peugeot iOn. Por otra parte, BMW electrifica al MINI con un motor eléctrico de 204 CV y una autonomía de 200 km, mientras que Nissan presenta el Nissan Leaf, votado vehículo del Año en Europa en 2011.[1]

3.2 RECOPIACIÓN DE FOTOGRAFÍAS DE LOS PRIMEROS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS





Fuente: Estas imágenes fueron tomadas de diferentes fuentes del buscador de imágenes de Google crome

3.3 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LOS PRIMEROS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Fecha	Nombre	Característica
1881	Tílbury	Estaba equipado con 21 baterías que hacían funcionar el motor
1894-1897	Electrobat	Tenía Llantas de acero para soportar el peso de la batería de plomo, con dos motores de 1,5 CV alcanzaba una velocidad máxima de 30 Km/h. Recorrerían 40 km con cada carga de batería. Peso de las baterías de plomo y acido: +700Kg y, su peso neto era superior a las dos toneladas.
1899	La Jamáis Contente	Tenía carrocería de aleación ligera de aluminio, tungsteno y magnesio, capaz de superar 100 kilómetros por hora. Estaba equipado con 2 motores eléctricos "Postel-Vinay" que giraban a 900 rpm en la parte posterior, que rendían una potencia de 67 caballos. Los motores actuaban directamente sobre las ruedas traseras motrices, las cuales equipaban neumáticos Michelin. Alimentados con baterías Fulmen y el peso del vehículo pasaba de una tonelada.
1940	Œuf (Huevo)	Este pesaba unos 350 kilos, tenía una velocidad máxima de 70 km/h y una autonomía que rondaba los 100 km.
1941	Peugeot VLV	Usa bacuatro baterías de 12 voltios que le garantizaban una autonomía de 80 km. Su velocidad máxima no superaba los 30 km/h el cargador, permitía recargar las baterías en cualquier enchufe disponible.

1947	Tama Electric	Tenía baterías de plomo y ácido intercambiables tenía una autonomía de 65 kilómetros y una velocidad máxima de 35 km/h.
1959	Henney Kilowatt	Primer automóvil eléctrico regulado por transistores equipado con 18 baterías de 2V, se anunciaba que tenía una velocidad máxima de 60 km/h
1967	Diminito Ford Comuta	Contaba con cuatro baterías de 12V que le aportaban una autonomía de 60 km a 40 km/h, aunque su velocidad máxima era de 59 km.
1974	CitiCar	Equipado con ocho baterías de plomo y ácido de 6v que tenía una autonomía de 60 km y una velocidad máxima de 50 km/h. 3 modelos: Los primeros coupé, SV-36, tenían un paquete de baterías de 2.5 HP motor y 36v.El segundo coupé, SV-48, tenían un motor y batería de 48v Pack 3.5 HP, el tercero tenía un tren de transmisión mejorado con un motor de 6 HP.
1984	Peugeot 205	Equipado con baterías de níquel-hierro y tenía una autonomía de 140 km. Su velocidad máxima era de 100 km/h.
1984	Renault Master.	Estaba equipado con baterías de níquel-hierro y tenía una autonomía de 120 km. Su velocidad máxima era de 80 km/h y tenía una capacidad de carga de hasta 1.000 kg.
1991	Renault Elektro-Clio.	Tenía un motor de 1,2 litros, árbol de levas, 4 unidad de cilindros que producían 55 CV (56 CV / 41 kW) de potencia a 6.000 rpm y un par máximo de 84 Nm (62 lb · ft / 8,6 kgm)a 3500 rpm. Se dice que es capaz de alcanzar una velocidad de 150 km/h (93 mph).

2003	Kangoo ElecRoad	Equipada con baterías recargables y con una autonomía de 140 km en modo exclusivamente eléctrico
-------------	------------------------	--

Nota: las características que se encuentran de los vehículos anteriormente mencionados son limitadas básicamente a su rendimiento, grupo de baterías y autonomía.

A continuación se presentan tres modelos relativamente “antiguos” de los cuales se tiene precedente:

3.3.1 TOYOTA PRIUS 1997

Motor Eléctrico

- Fabricante: Toyota Motor Corporación;
- Tipo: Corriente continua de imán permanente;
- Tensión nominal: 500 V;
- Potencia máxima: 82 CV (61 kW);
- Par motor máximo: 400 Nm entre 0 y 1200 rpm;
- Peso: 104 kg. [13]

Grupo de baterías

- Fabricante: Energía EV de Panasonic;
- Tipo: Batería de níquel e hidruro metálico;
- Tensión nominal: 201,6 v;
- Número de módulos: 28;
- Capacidad (Ah): 6,5 (3 h);
- Peso: 39 kg. [13]

Transmisión

- Tracción: delantera;
- Tipo de transmisión: controlada eléctricamente, continuamente variable (E-CVT). [13]

Rendimiento

- Velocidad máxima: 180 km/h (170 en versiones anteriores);
- 0 a 100 km/h: 10,4 s (10,9 en versiones anteriores);

- Coeficiente aerodinámico Cx: 0,25;
- Potencia conjunta: 136 CV desde 85 km/h (115 CV en versión 2G);
- Par máximo total: 478 Nm hasta 22 km/h;
- Par Motor eléctrico: 400Nm (207Nm en versión 2G);
- **Consumo de combustible:**
 - Combinado: 3,9 L/100 km;
 - Carretera: 3,7 l/100 km;
 - Ciudad: 3,9 l/100 km;
- Capacidad del depósito de combustible: 45 L;
- **Emisiones de CO₂:**
 - Combinado: 89 g/km;
 - Carretera: 86 g/km (versiones anteriores 99 g/km);
 - Ciudad: 90 g/km (versiones anteriores) 115 g/km. [13]

3.3.2 TESLA ROADSTER-2005

Motor

- Tipo: motor eléctrico de 3 fases y 4 polos;
- Potencia neta máxima: 248 CV (185 kW);
- Max RPM: 14 000;
- Par máximo, 200 lbf ft (270 Nm) se realiza desde 0-6000 rpm;
- Eficiencia: 90% promedio, el 80% en potencia pico. [13]

Transmisión

- Caja de cambios Magna de dos velocidades accionada eléctricamente (sin pedal de embrague) con secuencial manual;
- A partir de septiembre de 2008, todos con caja de cambios BorgWarner de una sola marcha fija de relación (8.2752:1) con bomba de lubricación mecánica y freno para aparcamiento accionado eléctricamente. [13]

Prestaciones

- Aceleración: de 0 a 100 km/h en 3,9 segundos. Algunos prototipos y Roadsters de producción inicial de 2008 se limitaron a 5,7 segundos de aceleración de 0 a 100 km/h;
- Velocidad máxima: limitada electrónicamente a 201 km/h;
- Autonomía: 360 km de ciclo combinado (carretera y ciudad);
- Peso y distribución: alrededor de 1220 kg, centrada en la parte delantera del eje trasero;
- Tracción trasera. [13]

Batería del sistema

- Tipo de batería: Batería de ion de litio, dimensiones: 18 mm de diámetro y 65 mm de longitud. La mayoría de las baterías en computadoras portátiles utilizan este tipo de celdas de iones de litio;
- Distribución de celdas: 6 831 celdas dispuestas en 11 módulos conectados en serie, cada módulo contiene 9 "ladrillos" conectados en serie, cada "ladrillo" contiene 69 celdas conectadas en paralelo (11S 9S 69P);
- Tiempo de carga completa: 3 horas y media;
- Estimación de la vida de la batería: más de 160 000 km;
- Energía eléctrica: alrededor de 53 kW h;
- Peso total: entre 400 y 450 kg;
- El pack está diseñado para prevenir fallos catastróficos de celdas y la propagación a las celdas adyacentes, incluso cuando el sistema de refrigeración está apagado;

El motor del Roadster tiene una eficiencia del 90% de media y el 80 % en potencia pico. Esto no considera la eficiencia de la fuente de la electricidad, sólo la eficiencia con la que el Roadster utiliza la energía. Por comparación, los motores de combustión interna tienen una eficiencia de alrededor del 20%

En junio de 2006, Tesla Motors informó una eficiencia de 110 Wh/km en un ciclo de conducción sin especificar y declaró una eficiencia de carga de 86%. Esto se traduce en una eficiencia de tomacorriente a rueda de 128 Wh/km.

En marzo de 2007, durante las pruebas de validación de un prototipo en la EPA de ciclo combinado, Tesla Motors hizo una serie de 356 km utilizando 149 Wh/km.

En febrero de 2008, Tesla Motors informó sobre una mejora de eficiencia después de las pruebas de validación de un prototipo de automóvil, para certificarlo por la EPA. [13]

3.3.3 BLUECAR -2006

Especificaciones

El Bluecar es una de tres puertas con portón trasero vehículo eléctrico con cuatro asientos. Tanto el comercio minorista y las versiones Autolib comparten la misma especificación de transmisión:

- El vehículo eléctrico tiene un 30 Kw/h batería de polímero de litio (LMP) situada debajo de los asientos de pasajeros, acoplado a un súper-condensador, que proporciona una autonomía eléctrica de 250 km (160 millas) de la ciudad ya 150 km (93 millas) en la carretera;

- La velocidad máxima es de 130 km / h (81 mph) y la batería pesa 300 kg (660 libras). Las baterías se realizan en las instalaciones de Bolloré propiedad en dos lugares, uno en Bretaña, Francia y el otro en Montreal, Canadá. [13]

Las baterías LMP constan de un laminado de cuatro materiales ultradelgadas:

- metálico de litio lámina de ánodo que actúa como una fuente de litio y un colector de corriente; [13]
- sólido polimérico electrolito creado por la disolución de una sal de litio en un solvatación co-polímero ;[13]
- cátodo compuesto de óxido de vanadio, de carbono;
- el polímero para formar un plástico de material compuesto de aluminio lámina de colector de corriente.[13]

3.3.4 CITROËN C-ZÉRO

- Es un vehículo 100% eléctrico de baterías;
- Tiene un motor síncrono de imanes permanentes de 49 kW de potencia pico (**casi 67 CV**) y 180 Nm de par motor;
- Su aceleración de 0 a 100 km/h es de 15,9 s y puede alcanzar una velocidad máxima de 130 km/h;
- Los **frenos** son de disco delantero y de tambor, equipado de serie ABS, con distribución electrónica de la fuerza de frenado;
- El **cambio** es “automático”, con una marcha hacia delante y la marcha hacia atrás (reversa). Tiene tres modos de funcionamiento Eco (para tener más autonomía), Normal y Retención (para cuando se baja un puerto). En las deceleraciones se recargan algo las baterías;
- Las **baterías** son de iones de litio, van colocadas bajo el piso del habitáculo para no restar espacio. Tienen 16 kWh de capacidad y le permiten tener una autonomía (NEDC) de unos **150 km**. No es mucha, pero es que el paquete de baterías es más bien pequeño. Según Mitsubishi el consumo es de 135 Wh/km;
- Admiten dos tipos de **recarga**, la normal (lenta) requiere unas seis horas en una toma de corriente convencional de 230 V y 16 A; la rápida permite recargar el 80% de las baterías en unos 30 minutos (o el 50%, o sea autonomía para unos 75 km, en 15 minutos) en una toma trifásica de 400 V y 32 A.
- Hay dos tomas de enchufe separado, una a cada lado de la carrocería.[14]

3.4 Vehículos eléctricos y actualidad

Los vehículos eléctricos están comenzando a ganar peso en la industria del automóvil, dada sus claras ventajas frente a los vehículos de combustible tradicionales en cuanto a ahorro en consumo, respeto al medio ambiente, y otro tipo de razones. A pesar de esto, el sector de los vehículos eléctricos todavía no es lo suficientemente importante. En parte es porque los gobiernos y las propias marcas no se han centrado en vender lo suficiente el producto para que el comprador quiera adquirirlo. Sin embargo esta tecnología pretende cambiar el sistema de transporte tanto público como privado por medio del concepto de movilidad sostenible, alrededor del cual existe una amplia gama de conceptos que deben tenerse en cuenta.[15]

3.5 Evolución de las baterías para vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos podrían parecer un lujo que no todas las personas se pueden permitir, pero un nuevo análisis sugiere que podrían estar cerca de competir con los vehículos de gasolina (o incluso superarlos) en cuanto a precio. [17]

El verdadero coste de las baterías de ión-litio en los vehículos eléctricos es un secreto muy bien guardado por los fabricantes y las estimaciones de los costos varían mucho, por lo que es difícil determinar hasta cuánto tienen que bajar antes de que los vehículos eléctricos de gran alcance puedan ser asequibles para la mayoría de los compradores. Sin embargo, un estudio revisado por expertos de más de 80 estimaciones reportadas entre 2007 y 2014 determinó que los costos de los paquetes de baterías son "mucho menores" de lo que generalmente asumen los analistas de política energética. [17]

Los autores del nuevo estudio llegaron a la conclusión de que los paquetes de baterías usados por los principales fabricantes de vehículos eléctricos en el mercado, como Tesla y Nissan, costaban en 2014 hasta 300 dólares (273 euros) por kilovatio-hora de energía. Esta cifra es más baja que las proyecciones publicadas más optimistas para el año 2015, y está incluso por debajo de la proyección media publicada para el año 2020. Los autores encontraron que las baterías podrían alcanzar los 230 dólares (210 euros) por kilovatio-hora en 2018.[17]

Si fuera verdad, esto haría que los vehículos eléctricos superaran un umbral significativo. En función del precio de la gasolina, se espera que el precio de venta de un vehículo eléctrico atraiga a muchas más personas si sus costes de batería son entre 125 y 300 dólares (114 y 273 euros) por kilovatio-hora. Puesto que la batería constituye quizá entre una cuarta parte y la mitad del coste del vehículo,

una batería sustancialmente más barata haría que el propio vehículo fuera significativamente más barato. Además, los fabricantes de automóviles podrían mantener los precios actuales pero ofrecer vehículos eléctricos con mucho más alcance.[17]

El alcance será probablemente algo crucial para muchos compradores puesto que resulta mucho más barato "llenar" un vehículo eléctrico con electricidad. Cargar un vehículo con un alcance 480 kilómetros podría costar menos de nueve euros. Dada la disparidad de precios de la gasolina y la electricidad, los autores del estudio, Björn Nykvist y Måns Nilsson, becarios de investigación en el Instituto Ambiental de Estocolmo (Suecia), aseguran que si las baterías bajan hasta los 137 euros por kilovatio-hora podrían llevar a "un potencial cambio de paradigma en la tecnología de los vehículos".

El análisis sugiere que el coste de los paquetes usados por los principales fabricantes de vehículos eléctricos está bajando alrededor del 8% al año. Aunque Nykvist reconoce que "hay grandes incertidumbres", señala que es realista pensar que este ritmo de bajada podría continuar en los próximos años, gracias a las economías de escala que se crearían si grandes fabricantes como Nissan y Tesla siguieran con su planes para aumentar enormemente la producción. La velocidad a la que parece estar cayendo el coste es similar a la tasa que se observó con la tecnología de las baterías de hidruro metálico de níquel utilizadas en híbridos como el Toyota Prius, afirma.

Nykvist y Nilsson se basaron en estimaciones de varias fuentes: declaraciones públicas de fabricantes de vehículos eléctricos, publicaciones revisadas por expertos, informes de noticias (incluyendo *MIT TechnologyReview*), y la llamada literatura gris, o trabajos de investigación publicados por gobiernos, empresas y académicos.[17]

El analista de energía de la Agencia Internacional de Energía, Luis Munuera, junto a un analista de política de transporte en la misma agencia, Pier Paolo Cazzola, advierten en un mail a *MIT* deben tomarse con cuidado", ya que las cifras de costes de batería de fuentes dispares no suelen poderse comparar directamente. Además, señalan que no está claro en qué grado se pueden extrapolar hacia el futuro las tendencias de reducción de costes de las tecnologías de energía. Aun así, admiten que "hemos visto que ciertas cosas han sucedido más rápido de lo esperado dentro de la tecnología de baterías de ión-litio".[17]

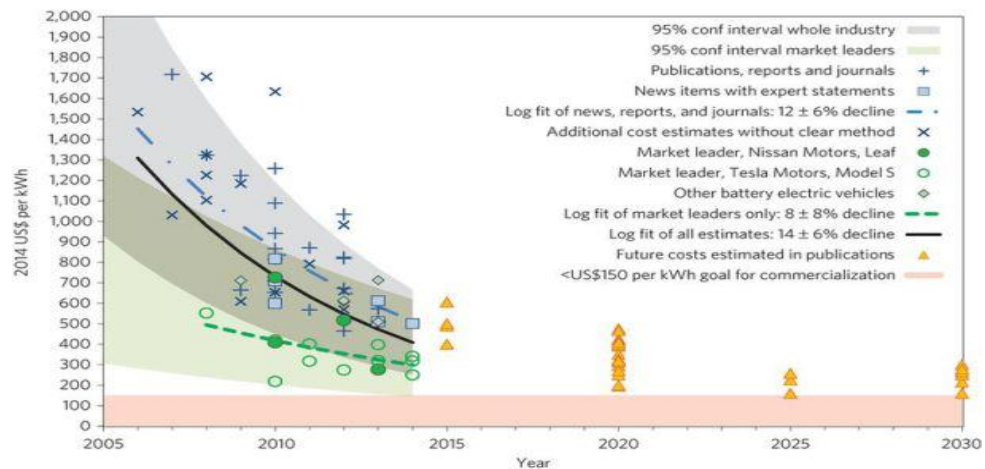


Figura 17. evolución del precio de las baterías. Fuente: Nykvist and Nilsson (2015)

En torno a la implantación masiva del vehículo eléctrico como alternativa real a la movilidad a menudo se mueven argumentos en contra. Su escasa autonomía y lenta recarga, capacidad de la red eléctrica para asumir picos masivos de carga, precio, etc.[17]

¿Son los vehículos eléctricos realmente menos contaminantes que los vehículos que se mueven con petróleo? Si al calcular el impacto ambiental de cada vehículo producido, tenemos en cuenta el impacto ambiental del proceso de fabricación, es decir un “análisis de ciclo de vida”, tenemos como resultado algo que no es tan evidente para una parte de la sociedad: que las emisiones que produce un vehículo no son solo los gases que salen por el escape. Un estudio de la universidad de Trondheim, alerta sobre los posibles riesgos medioambientales de la producción masiva de vehículos eléctricos, y da algunos datos muy reveladores. [17]

3.6 VOLTA, WATT Y EL AIRE FRESCO

El vehículo con motor de combustión interna contamina de forma directa a través de su tubo de escape mientras que el vehículo eléctrico no contamina su entorno inmediato. Al entrar a analizar en detalle las particularidades de estas afirmaciones es donde se encuentran resultados curiosos. El primer dato destacable es que la mayor parte de las emisiones del ciclo de vida de ambos vehículos corresponden a la fase de uso. Es decir, cuando más contamina el vehículo de combustión interna o el eléctrico es cuando lo usamos. Esto que es muy evidente en el caso de los vehículos de gasolina y diesel; quizá no sea tan evidente, en el caso de los eléctricos. De manera que mientras nos movemos en silencio, sin malos olores ni nubes de gases en nuestro vehículo impulsado por

electricidad, los kilowatios que lo mueven han contaminado en algún lugar del planeta. Por ello, por ejemplo, en Estados Unidos la Agencia de Protección Medioambiental les atribuye emisiones de CO₂ a los vehículos eléctricos dentro de su etiquetado energético.[18]

Entre el 50 y el 70% de las emisiones contaminantes de un vehículo eléctrico se producen durante su fase de uso. Dicho de otra manera, por mucho que el vehículo no emita gases por un tubo de escape, durante dos tercios de su ciclo de vida el vehículo eléctrico será tan limpio como lo sea el medio con el que se ha generado la electricidad que lo mueve, y en ese caso las variaciones en función del medio por el que se ha obtenido esa electricidad son enormes. Así, según el estudio, la energía necesaria para recorrer un kilómetro puede causar hasta 3,5 veces más emisiones si se ha generado mediante carbón que si ha sido mediante aerogeneradores. Dicho de otro modo, mientras que en un ciclo de uso de 150.000 km, de un vehículo eléctrico movido por el *mix* energético medio en la Unión Europea reduce en torno a un 24% las emisiones de un gasolina y un 14% las de un diesel, si esa electricidad se obtiene exclusivamente mediante el carbón, el mismo vehículo contaminará entre un 17% y un 27% más que las variantes gasolina y diesel.[18]

3.7 MINERALES CONTAMINANTES Y TÓXICOS

El estudio de Trondheim pone un especial acento en el proceso de fabricación de los vehículos eléctricos, y concretamente de sus baterías. Y no tanto en las emisiones de CO₂ que este proceso genera, sino en el uso de minerales altamente contaminantes en grandes cantidades, y los efectos que puede tener la manipulación de tales materiales a escala mundial. El estudio concluye que la fabricación de la batería de los eléctricos (que para el estudio se planteó en dos variantes posibles, de Niquel – Litio o Litio – Fosfato de Hierro) es responsable, en algunos casos, de casi la mitad de las emisiones globales del ciclo de vida del vehículo.[18].

Precisamente la fabricación y posterior reciclado de las baterías es uno de los aspectos más sensibles a la hora de analizar el impacto medioambiental de una implantación masiva de los vehículos eléctricos, y en eso pone el acento especialmente este estudio. El escenario de una próxima popularización de los vehículos eléctricos nos pone también ante la necesidad de un nuevo patrón por el que medir las emisiones contaminantes producidas por el transporte teniendo en cuenta sus ciclos de vida. En este caso, se trata de pasar de medir la contaminación en Kg de CO₂ emitidos, a tener en cuenta la proyección de partículas de metales altamente tóxicos a la atmósfera, y de amenazas concretas como la acidificación de las tierras o la contaminación de acuíferos. [18]

La incorporación de minerales como el Litio, Níquel o Cobre a la fabricación del vehículo eléctrico y sus componentes hacen que tales amenazas sobre los acuíferos y las tierras se multipliquen. Según afirma el estudio, las emisiones tóxicas del proceso de fabricación de los eléctricos se incrementan respecto a los motores de combustión interna entre un 180% y un 290% en función del tipo de batería con que se fabrique el eléctrico. Otros indicadores, como los de la emisión de metales se multiplican por tres respecto a las producidas en el proceso de fabricación de los vehículos de combustión interna. En cambio las emisiones y amenazas del proceso de destrucción y reciclaje apenas resultan destacadas dentro del análisis global de la eficiencia y emisiones de ciclo de vida de los vehículos [18].

La energía empleada para fabricar masivamente los vehículos eléctricos y los materiales necesarios para producir las baterías, pueden contribuir hasta el doble en el calentamiento global en comparación con los carros convencionales. Pero una única conclusión sería imprecisa, porque la misma investigación plantea que los resultados varían dependiendo del país y la manera en que cada uno genera su energía [18].

En China, por ejemplo, donde dos tercios de la energía eléctrica se producen a base de carbón –que es la forma más contaminante–, las ventajas de los autos eléctricos son radicalmente más bajas que un país como Noruega, la sexta productora de energía hidroeléctrica del mundo –una de las más limpias–. Mientras este estudio encontró que en el país asiático los autos eléctricos eran “mucho más contaminantes” que los convencionales; en la nación europea los eléctricos presentaron un menor impacto ambiental que aquellos que funcionan con gasolina.[18].

Gillaume Majeau-Bettez, uno de los autores de una investigación acerca del tema de contaminación ambiental proveniente de vehículos eléctricos, le explicó a BBC que “el auto eléctrico tiene un gran potencial para mejorar, pero lo que al final lo conducirá al éxito o al fracaso desde un punto de vista ambiental es cuán limpia es nuestra red eléctrica, tanto para la electricidad que usas para conducir tu auto como para la que se usa para producirlo”.

Así como esta investigación cuestiona la real contribución de los carros eléctricos al cuidado del ambiente, hay otras reconocidas publicaciones que arrojan resultados contundentes en favor de esta tecnología. [19]

Manuel Felipe Olivera, director regional para América Latina del C40 (red global que trabaja con iniciativas para mitigar los efectos del cambio climático), cita un estudio de la revista *Scientific American* en el que se compara el costo energético de diferentes medios de transporte. Los resultados: los vehículos de energía eléctrica tienen una eficiencia cercana al doble con respecto a los que se mueven con gasolina y cercana al triple en comparación con los que utilizan etanol.[19]

En Bogotá uno de los principales puntos del plan de Gobierno del alcalde Gustavo Petro es la adaptación de la ciudad frente al cambio climático. Susana Muhamad, secretaria Distrital de Ambiente, explica que el 40% del material particulado que se produce en Bogotá –el contaminante que genera más enfermedades respiratorias agudas– es producido por el transporte público, y el panorama es más preocupante si se tiene en cuenta que esos vehículos representan sólo 1,5% del total de carros que se movilizan en la ciudad.[19]

Sobre los cuestionamientos a los automóviles eléctricos, Muhamad sostiene que es necesario evaluar la realidad de cada país. “Por lo menos el 75% de nuestra energía es hidroeléctrica. El porcentaje de carbono en nuestra energía es de los más bajos del mundo. Sería un desperdicio que no lo aprovecháramos”, asegura. Muhamad señala además que si se hace el análisis del ciclo de vida del carbono de estos autos (que va desde la extracción de los materiales para su fabricación, hasta la producción, el transporte al lugar donde va a funcionar y la operación del vehículo), el balance sería más que positivo. “El cambio tecnológico está justificado en las condiciones específicas de Bogotá”. [19]

Un aspecto fundamental de cara a evaluar el valor ecológico de los vehículos eléctricos radica en el origen de la electricidad que consuma. No será una solución realmente ecológica si la electricidad que usan los vehículos se obtiene de centrales que queman combustibles fósiles tales como el carbón, el petróleo o el gas. En ese caso lo que se estaría haciendo es trasladar las emisiones de Co₂ y de otros contaminantes de las ciudades y carreteras a las centrales de producción eléctrica. Hay que admitir que este panorama presenta alguna ventaja como la de que se trataría de un foco de contaminación localizada frente a la dispersión de los millones de tubos de escapes de los vehículos. Esta concentración permitiría algunos tratamientos como la aplicación de los sistemas de secuestro de carbono, sin embargo no sería una auténtica solución al problema.[19]

Si por el contrario el origen de la electricidad es renovable (Ya sea solar, eólica, hidráulica de preferencia mini-hidráulica, bioenergía etc.) entonces si se podría hablar de vehículos realmente ecológicos.[19]

De hecho algunas opiniones encuentran en la relación vehículo eléctrico-energías renovables actualmente más difundidas una magnífica complementación. Esto se debe a que algunas de las energías renovables que actualmente están más desarrolladas, en concreto (el sol y sobretodo la eólica) son aleatorias y están disponibles en solo en momentos determinados de manera intermitente tanto si se necesitan como si no. Es decir son fuentes que no se pueden controlar en función de la demanda como si se puede hacer con las fuentes de origen fósil o con otras renovables como la biomasa, hidráulica ó termo solar.[19]

3.8 ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CON MIRAS A SU IMPACTO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO

3.8.1 Vehículo eléctrico de baterías (BEV)

El BEV impacta a la red eléctrica puesto que la energía de las baterías es recargada de la red. De esta manera, la red debe ser capaz de suministrar la energía y potencia demandada de todos los BEV existentes en el mercado.[20].

La tendencia apunta a que los BEV realizarán su recarga de energía principalmente durante la noche, que es el horario menos probable de uso del vehículo. Lo anterior implica que el consumo de energía de la noche tendería a subir y de esta manera equipararlo con el consumo del día. Esto permite una mejor utilización de la red eléctrica, sobretodo en sistemas eléctricos con clara variación de demanda de energía y potencia como es el Sistema Interconectado Central (SIC) en Chile. Sin embargo, impone importantes desafíos:

- La red de distribución debe ser capaz de abastecer la demanda de energía a través de la disposición de conexiones eléctricas apropiadas para la tensión de trabajo de los BEV. Idealmente los BEV serán recargados por los usuarios en sus propias casas, lo que implica que en ese caso el problema está resuelto al poseer conexión eléctrica con las características eléctricas apropiadas para el vehículo (tensión, frecuencia, etc.). En caso de edificios nuevos, éstos deberán incorporar en sus estacionamientos las conexiones apropiadas para abastecer a los BEV, hecho que encarecerá los costos de la propiedad e impone desafíos asociados al cobro de la electricidad haciendo que se planteen cuestionamientos como: ¿se requieren medidores separados para el edificio y el estacionamiento? ¿Cómo se asignará el pago de cada vehículo dentro del estacionamiento? Entre otros. En aquellos casos donde no sea posible realizar la recarga de energía en el domicilio particular ésta deberá ser hecha en centros ya sea públicos o privados de recarga, los cuales harán las veces de estaciones de servicio de combustible.[20]
- Relación con los centros de recarga. En este caso cabría la posibilidad de considerar que dicho servicio sea provisto por diferentes Comercializadores, los cuales abastecerían a los consumidores mediante la energía que adquieren de los Distribuidores, fomentando la competencia. En caso que el sistema eléctrico del país no considere al comercializador, será el distribuidor quién deberá prestar el servicio. Cabe destacar que, como el sector Distribución es un monopolio natural, es necesario regular la actividad de estos centros de recarga de energía eléctrica de modo que el cobro que

ejercen los distribuidores sea igual o equivalente al precio que paga un consumidor domiciliario. [20]

- El aumento de demanda energética en el sistema de distribución aumenta la densidad del consumo. Dicha densidad de consumo es clave en el sector Distribución, al ser este una economía de ámbito. Por ende, existen desafíos ligados a la necesidad de fijar nuevos valores de precios de distribución por zonas, debido a los cambios de densidad en cada una de ellas.[20]
- Los planes de rehabilitación de las líneas eléctricas deben considerar el incremento de consumo en zonas actualmente cubiertas por la red de distribución, pero que además deben abastecer las necesidades del transporte BEV. Por ende, deben visualizarse aquellas zonas donde podría ocurrir saturación de líneas, hecho que incrementaría los costos no sólo del consumo domiciliario sino también del transporte.[20]

3.8.2 VEHÍCULO ELÉCTRICO HÍBRIDO (HEV)

En HEV convencional no impacta al sistema eléctrico, puesto que la recarga de la batería no es hecha mediante una conexión a la red, sino en base a la energía generada con el combustible y con el frenado regenerativo. Sin embargo, la tecnología PHEV sí impacta a la red eléctrica puesto que en dicho caso efectivamente la carga de la batería proviene de la red eléctrica. Con respecto al impacto de la tecnología PHEV éste es conceptualmente equivalente al presentado para los BEV. Sin embargo la magnitud del impacto es menor puesto que aún existe un nivel de abastecimiento energético proveniente de combustible. El PHEV es considerado un vehículo de transición entre el convencional a combustible y el netamente eléctrico, con una eventual factibilidad de devolver energía a la red a través del concepto *Smart Grid*. [20]

3.8.3 VEHÍCULO ELÉCTRICO A CELDAS DE COMBUSTIBLES (FCV)

Dependiendo del combustible que utiliza la celda es el impacto que se ejerce sobre la red. En el caso de las celdas que funcionan con hidrocarburos como el metanol no se ejerce impacto sobre la red eléctrica. [20]

En el caso de las baterías de metal-aire, el vehículo no recarga su energía directamente de la red eléctrica, de forma tal que no se ejerce un impacto inmediato sobre dicha red. Sin embargo, el reciclaje de los electrodos de la batería requiere el consumo de energía eléctrica, razón por la cual sí existe un impacto desfasado, lo cual tiene la ventaja de poder recomponer los electrodos en horario fuera de punta.[20]

Las celdas de hidrógeno ejercen un impacto sobre la red, el cual es indirecto, dependiendo del método de obtención del hidrógeno. En particular, el hidrógeno puede obtenerse mediante un proceso de electrólisis del agua, el cual es intensivo en consumo de electricidad. Si se desarrollan plantas de producción de hidrógeno éstas podrían ser abastecidas por la red eléctrica, lo cual implica inversiones en capacidad, energía y transmisión. Por otra parte, puede darse el escenario de dimensionar centrales nucleares exclusivamente para la producción de hidrógeno, de forma tal de no requerir conectarse a la red eléctrica. La planificación del abastecimiento eléctrico de la generación de hidrógeno debe definir si éste será de la red existente (implica expansión), o mediante la creación de nuevas centrales aisladas o nuevas centrales conectadas al sistema. En caso de realizarse hidrólisis directa de la red eléctrica, esta se puede programar en horario fuera de punta, al igual que otros métodos de almacenaje químico de energía. [20]

Capítulo 4

Vehículos eléctricos con visión hacia el futuro

4.1 Introducción

Las reservas de petróleo son escasas, se encuentran concentradas en unos pocos países del mundo, y los efectos del cambio climático ya se están haciendo sentir. Los graves riesgos que plantea el problema del cambio climático exigen des-carbonizar la economía lo más rápido posible, por lo que no puede encontrarse una respuesta al problema en soluciones no convencionales que sean altamente intensivas en energía.[21]

En los últimos años, el costo y el rendimiento de las baterías más avanzadas han mejorado espectacularmente. Los vehículos híbridos con conexión a la red (PHEVs) pueden superar las limitaciones actualmente percibidas que dificultan una mayor aceptación de los vehículos eléctricos por parte del mercado. Se trata de una tecnología 7 que ya está demostrada y disponible comercialmente, y que no necesita mucha más infraestructura de la que ya hay. Los BEVs y PHEVs, complementados con agro combustibles de origen sostenible, son compatibles con un futuro en el que todos los servicios energéticos procedan de fuentes sostenibles de origen renovable. Y puesto que los vehículos eléctricos son mucho más eficientes que los vehículos convencionales a la hora de transformar la energía almacenada en kilómetros, la demanda global de energía - y las emisiones de CO₂ –conseguirán verse reducidos, ayudando de este modo a combatir el cambio climático.[21]

4.2 El futuro de los vehículos eléctricos

En la medida que el progreso técnico permita mejorar los puntos débiles de la propulsión eléctrica, esta tecnología irá desplazando a la convencional. A ello contribuirá la tendencia alcista en el mediano y largo plazo de los combustibles fósiles o sus sustitutos obtenidos a partir de cultivos industriales. De esta forma, se espera que en el futuro la ecuación económica para el usuario dé, cómo resultado, la conveniencia del automóvil eléctrico. [22]

Se espera que los automóviles eléctricos en sus diversas variantes superen en el número de unidades vendidas a los convencionales en el año 2030. Las iniciativas gubernamentales en los países de mayor industrialización, y a la vez más contaminantes, facilitarán en gran medida esta transición. En efecto, Estados Unidos, Canadá, los principales países de la Unión Europea, Japón, Israel, Corea del Sur, India, China y Australia han fijado metas en esta materia. Para el logro de éstas, los gobiernos de estos países instrumentan créditos e incentivos fiscales a

los usuarios para la adquisición de vehículos, a las industrias para el desarrollo y producción de vehículos, baterías y otras partes y adquieren sus propios vehículos para servicios públicos como el transporte urbano o la recolección de residuos. A su vez, planifican y promueven el desarrollo de la infraestructura necesaria. Ya existen cientos de estaciones de carga de energía eléctrica para vehículos eléctricos en las principales ciudades de estos países. [22]

4.3 Comparación de costos para el usuario de los vehículos convencionales y los eléctricos puros en el futuro.

	Automóviles con motor de combustión interna		Automóviles eléctricos puros	
	Valores	Unidades	Valores	Unidades
Precio inicial (sin batería para el automóvil eléctrico)	25.000	US\$	23.750	US\$
Costo de energía	1,50	US\$/l	0,07	US\$/kWh
Consumo energético	8	l nafta/100 km	160	Wh/km
Distancia recorrida anualmente	20.000	km	20.000	km
Costo anual de la energía	2.400	US\$	224	US\$
Costo de la batería			600	US\$/kWh
Vida de la batería (en ciclos de uso)			2.500	ciclos
Límite máximo de utilización de las batería			80	% de capacidad
Alcance			120	km
Carga de batería requerida			24	kWh
Costo inicial de la batería			14.400	US\$
Número de reabastecimientos anuales	53	cargas	250	cargas
Vida de las batería (de acuerdo a los ciclos de carga)			10	años
Periodo de tenencia por parte del usuario	8	años	8	años
Costo inicial total del vehículo	25.000	US\$	38.150	US\$
Costo total (capital y energía en el periodo de tenencia)	44.200	US\$	39.942	US\$

4.4 Entorno del futuro Colombiano

El desarrollo de propuestas “verdes”, vehículos que cada vez sean más amigables con el medio ambiente, es una tendencia que en los diferentes salones automotrices mundiales se ven con frecuencia.

El Salón de Bogotá, entró en esa tendencia en la que a lo largo de los pabellones se observan vehículos, bien con motores de combustión y atmosféricos más eficientes, o apuntando a los combustibles alternativos.

Vehículos eléctricos e híbridos son protagonistas. Pero no solo son carros que vienen para exhibición, ya algunos de ellos están, o con seguridad lo estarán próximamente en las vitrinas para que quienes apuestan por una movilidad limpia, sana con el ambiente, y también buscan diferenciarse y son aficionados a la innovación, accedan a estas propuestas que marcan vanguardia en el consumo de vehículos. Quizá la más esperada, por lo que la marca representa, era la develación del i3, el primer carro eléctrico de producción en serie desarrollado por BMW. Este es un modelo que puede generar una autonomía de 120 kilómetros y su potencia asciende a unos 170 caballos de fuerza. Ya es un hecho su comercialización en Colombia. Además, sostiene *Eugenio Grandío*, gerente del proyecto BMW i3 para Latinoamérica, que uno de los valores agregados del país es la producción de energía eléctrica limpia a partir de su riqueza hídrica. Factores como la conformación de las ciudades colombianas, con gran población pero pocas distancias de recorrido, sus estructuras geográficas y la misma apertura del consumidor a la innovación, impulsaron la elección de Colombia (entrando por Bogotá) como uno de los pocos países latinos para desarrollar el proyecto BMWi3. El verde también se extiende a los vehículos de carácter comercial. [23]

El fabricante japonés Hino aprovechó su espacio en la muestra automotriz para presentar el camión híbrido que operará en rango de 3 a 7 toneladas de capacidad de peso bruto de carga, y que ya está trabajando en alianza con algunas firmas distribuidoras de mercancías y productos de consumo masivo.

Una motorización diesel de 4 litros con inyección directa, más el apoyo eléctrico al iniciar marcha y cuando se requiere un alto torque son sus características. [23]

Otra marca que dio los primeros pasos para avanzar en una futura comercialización de un vehículo eléctrico en Colombia fue Kia. Una de sus estrellas en el Salón del Automóvil es el Kia Soul EV, el hermano eléctrico del Soul. Sus baterías de ion litio de 27 kilovatios que le confieren una autonomía de hasta 200 kilómetros. También en su construcción se pensó en más respeto por el ambiente, al incluir plásticos creados a partir de caña de azúcar y maíz en la consola, el equipamiento y la tapicería del techo. Según sondeos con diferentes empresas dedicadas a la producción de vehículos para el 2030, el porcentaje de vehículos eléctricos será del 7% al 8% en Colombia. [23]

4.4 Visiones a futuro

Hacia el futuro, se destacan algunos vehículos eléctricos como el Miray de Chevrolet con su propuesta deportiva y audaz. También el Captur de Renault, que ya incluso dio el paso a vehículo comercial en Europa y que muestra hacia dónde van las SUV compactas tipo crossover. Se espera su comercialización futura en Colombia. [23]

Por su parte Nissan tiene una propuesta de electrificación de su vehículo deportivo con el concepto Esflow dos motores eléctricos de tracción trasera. Su autonomía se estima en 240 kilómetros y puede alcanzar los 100 kilómetros por hora en unos 5 segundos. [23]

También se destaca el vehículo Evos de la americana Ford. Chery se convirtió en la única marca china que también apostó a mostrar más que solo lo que vende actualmente, y con el Beta, ya da pistas de lo que podría ser su incursión en el segmento de las SUV compactas no solo en Colombia sino en todo el mundo. Una mirada a estos conceptos refleja en algunos casos lo que las marcas quieren en diseño, tecnología e innovación. [23]

Capítulo 5

Conclusiones

- El vehículo eléctrico actualmente es una tecnología capaz de satisfacer las necesidades de la movilidad de gran parte de la población, y aunque se trata de la única tecnología cero emisiones en la propulsión, convivirá varias décadas con otras tecnologías alternativas como el gas licuado de petróleo y el gas natural comprimido entre otras.
- El vehículo eléctrico ya es una realidad que crece significativamente pero a un ritmo más lento al de las provisiones realizadas en tiempo anterior. Este crecimiento está ligado de forma general a incentivos fiscales que permiten salvar la diferencia del coste inicial equivalente al de motor de explosión. En función de estos incentivos esta tecnología del vehículo eléctrico, se está desarrollando a diferentes velocidades en los diferentes países del mundo.
- La industria del vehículo eléctrico tiene el reto de adaptarse a una nueva demanda, pero el sector eléctrico juega un papel fundamental en la transformación de este nuevo modelo de movilidad, puesto que es el protagonista en el despliegue de servicios de recarga teniendo en cuenta a la vez, la integración de este modelo en los sistemas de generación transporte y distribución.
- La industria de las baterías es la clave fundamental en el avance y desarrollo de los vehículos eléctricos en el futuro. Debido a que este ha sido el mayor inconveniente en el avance de esta tecnología, actualmente existen diversas investigaciones alrededor de este tema, cuyo fin es disminuir su costo y tiempo de recarga logrando a su vez una mayor eficiencia de las mismas.
- La movilidad 100% eléctrica, especialmente en los entornos urbanos y periurbanos, presenta ventajas y beneficios, tanto desde el punto de vista ambiental y energético como social y económico. De este modo, la movilidad cero emisiones ya no puede calificarse como una alternativa de futuro, sino como una realidad que convive con las tecnologías tradicionales.
- La continua mejora que está experimentando la tecnología de las baterías, junto con la electrónica que las gestiona, está llevando a la presentación de

vehículos eléctricos con unas prestaciones y autonomías impensables hace algunos años. Hasta el punto que ya existen modelos disponibles capaces de dar servicio de transporte colectivo en las ciudades. La posibilidad de emplearlos en el sector público urbano se presenta como una gran oportunidad para el desarrollo de una movilidad medioambientalmente sostenible.

- La necesidad del transporte sostenible en el interior de las grandes ciudades es un hecho innegable, como también lo es el hecho de que los vehículos eléctricos son una excelente alternativa para el medio ambiente siempre y cuando la energía utilizada para su producción y mantenimiento provenga de energías limpias, puesto que visto de otro modo serían más contaminantes que los vehículos de motor de explosión.
- 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 vehículos que no se impongan al resto del consumo.
- La tecnología de vehículos eléctricos representa uno de los factores potenciales de transformación del sector eléctrico en las próximas décadas.
- Los sistemas de recarga para vehículos eléctricos están conectados a las red eléctrica. El futuro será escenario de gran penetración de vehículos eléctricos, de esta manera las recargas ayudaran 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 su distribución, que se verían repercutidas en los servicios al cliente.

Bibliografía

- [1]. Historia del coche eléctrico: largo proceso de desarrollo. Disponible en: <http://www.diariomotor.com/tecmovia/2011/07/19/la-historia-del-coche-electrico-un-largo-proceso-de-desarrollo/>.
- [2]. Mapa Tecnológico: Movilidad eléctrica. Disponible en: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Movilidad_Electrica_ACC_c603f868.pdf
- [3]. Tecnología de las Baterías. Disponible en: <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/2014PresentacionBaterias.pdf>
- [4]. Tipos de Baterías. Disponible en: <http://www.tiposde.org/cotidianos/420-tipos-de-baterias/>
- [5]. Funcionamiento y características de las baterías. Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Baterias.pdf>
- [6]. Motor eléctrico. Disponible en: <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>
- [7]. Funcionamiento del motor de inducción. Disponible en: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/indmot.html>
- [8]. Motor de reluctancia conmutada. Disponible en: <http://www.dynapubli.com/noticias-PD/la-tecnologia-de-motores-de-iman-permanentes>
- [9]. Motor de flujo axial. Disponible en: <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6288/10CAPITOL6.pdf?sequence=10>
- [10]. Componentes de un vehículo eléctrico. Disponible en: <http://www.eve.es/Proyectos-energeticos/Proyectos-en-desarrollo/Vehiculo-electrico/Componentes-principales-de-un-vehiculo-electrico.aspx>
- [11]. Vehículos eléctricos. Disponible en: <http://www.endesavehiculoelectrico.com/vehiculo-electrico/el-vehiculo/tipos>
- [12]. Ventajas y desventajas de vehículos eléctricos. Disponible en: <http://frenomotor.com/opinion/ventajas-inconvenientes-vehiculos-electricos/2015>

- [13]. Guía del vehículo eléctrico. Disponible en:
<http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-del-Vehiculo-Elctrico-II-fenercom-2015.pdf>
- [14]. Vehículo eléctrico: CITROËN C-ZÉRO. Disponible en:
<http://www.electromaps.com/coches-electricos/citroen/c-zero>
- [15]. Actualidad: Vehículos eléctricos. Disponible en:
<http://www.electromaps.com/hibridos-enchufables>
- [17]. Precio de las Baterías. Disponible en:
<http://blogs.20minutos.es/coches-electricos-hibridos/2015/04/24/el-precio-de-las-baterias-para-coches-electricos-cae-un-60/>
- [18]. Contaminación y movilidad. Disponible en:
<http://www.motorpasionfuturo.com/coches-electricos/un-estudio-asegura-que-los-coches-electricos-son-mas-contaminantes-que-los-de-combustion>
- [19]. Vehículos eléctricos-Colombia Disponible en:
<http://www.portafolio.co/negocios/carros-electricos-colombia>
- [20]. Evaluación del impacto de los VE en el S.I Disponible en:
<http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/2014c19f52f00697.pdf>
- [21]. Futuro de la movilidad eléctrica. Disponible en:
<http://www.hibridosyelectricos.com/articulo/eventos/futuro-movilidad-sera-electrico/20150625221651009683.html>
- [22]. Futuro Eléctrico. Disponible en:
http://www.eldiario.es/norte/vientodelnorte/futuro-coche-electrico_6_193940620.html
- [23]. Vehículos eléctricos avanzan en Bogotá. Disponible en:
<http://www.elspectador.com/vivir/autos/los-vehiculos-electricos-avanzan-bogota-y-medellin-articulo-560888>
- [24]. Puentes García Camila Andrea 2014. Disponible en: Programación óptima para la recarga de vehículos eléctricos enchufables y su impacto en las redes eléctricas inteligentes.
- [25]. Gerardo Gutiérrez y Germán Antonio 2015. Disponible en: Estudio de los vehículos eléctricos en las redes de distribución de energía eléctrica

